

А.О. Навроцкий, О.С. Аккуратов, М.Т. Абдулвалиев

ИННОВАЦИОННАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКАБЕЛЬНОЙ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СБОРА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ОСНОВАННОЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОЛЕКУЛЯРНО- ЭЛЕКТРОННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Состояние проблемы

В наше время объектами поиска все чаще становятся малоразмерные и сложно построенные геологические тела, в связи с чем повышаются требования к достоверности данных сейсморазведки на всех этапах и стадиях геолого-разведочных работ. На практике с этой целью раз за разом увеличивают плотность наблюдений без учета существующих ограничений разрешающей способности методов сейсморазведки. Игнорирование значимости этого обстоятельства стало приводить к возникновению ситуаций, когда наращивание объемов сейсморазведки уже ни при какой плотности сейсмических наблюдений не позволяет подготавливать под глубокое бурение особенно сложные геологические объекты.

Актуальность существования подобной проблемы можно продемонстрировать на примерах.

Особенно наглядно это видно на примере Западной Сибири, где в 1976-2004 гг. за счет внедрения новых технических средств и приемов работы во многих случаях удалось вдвое-втрое (с 25 м до 7-8 м) снизить ошибки структурных построений. В то же время в районах с прерывистым развитием толщ многолетнемерзлых пород и при опосредованном все более и более мелких и сложных объектов усложнение методики полевых работ и обработки данных не привело к столь разительным результатам. Более того, коэффициент успешности геолого-разведочных работ за указанный период снизился с 0,7 до 0,42 [2].

В Саратовской части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции за период с 1973-2005 гг. средние линейные размеры выявленных здесь структур уменьшились почти в два раза (с $4,2 \times 1,6$ до $1,9 \times 0,8$ км),

плотность сети профилей увеличилась более, чем в два раза (с 1,3 до 3,0 пог. км), а эффективность сейсморазведочных работ по данным бурения все равно уменьшилась пропорционально размеру выявляемых объектов, то есть вдвое [4].

Похожая ситуация отмечается и во многих других регионах России.

Современные технологии сейсморазведки позволили существенно увеличить плотность сети наблюдений, улучшить коэффициент прослеживаемости целевых отражающих горизонтов, несколько снизить среднеквадратичную погрешность сейсмических построений, и тем не менее в сложных случаях оказались не в состоянии повысить достоверность объектов, предлагаемых сейсморазведкой для проведения дальнейших ГРП.

Решение этих проблем может стать возможным, если использовать технические средства и системы наблюдений, позволяющие расширить и согласовать между собой динамические диапазоны элементов сейсмического канала в целом и представлять для обработки не отдельные сейсмограммы, а данные непрерывной сейсмической записи.

Пока только можно говорить о степени несовпадения динамических диапазонов элементов сейсмического канала:

- динамический диапазон современных сейсмических станций составляет 120-140 дБ;
- динамический диапазон серийно выпускаемых геофонов не превышает 50-60 дБ;
- динамический диапазон излучения сейсмических сигналов вибратором составляет примерно 60 дБ с использованием ЛЧМ-сигналов (линейная частотная модуляция), и еще меньше –

с использованием НЛЧМ-сигналов (нелинейные частотно-модулируемые).

Расширение и согласование между собой динамических диапазонов элементов сквозного сейсмического канала позволит рассчитывать на существенное расширение круга геологических задач, решаемых с помощью сейсморазведки. Расширение спектра сейсмического сигнала приведет при обработке к повышению разрешенности сейсмических построений, а высокая чувствительность сейсмических датчиков позволит обеспечить регистрацию отражений от глубоко залегающих и акустически слабоконтрастных в сейсмическом волновом поле продуктивных горизонтов разреза.

Зарубежные разработки

Наиболее заметной зарубежной инновацией последних лет стало внедрение в практику сейсморазведочных работ сейсмических датчиков, объединяющих в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты (МЭМС) геофонов-акселерометров. Ведущие иностранные производители геофизического оборудования – компании Sercel (Франция) и ION (США) – вложили значительные финансовые средства (более 50 млн долларов каждая) в создание трехкомпонентных микроэлектромеханических сейсмодатчиков [3]. При их создании широко использовались самые современные микро- и нанотехнологии.

Новые датчики характеризуются достаточно низким уровнем шумов, значительно более широкой по сравнению с традиционными геофонами полосой частот, исключительно высокой линейностью отклика, стабильностью и идентичностью характеристик.

На их основе были созданы новые модификации бескабельных сейсморегирующихся комплексов – «Unite» (Sercel, Франция) и «FireFly» (ION, США). По аналогичному пути пошли компании Shell и Hewlett-Packard, объявившие об успешных испытаниях широкополосного МЭМС акселерометра с рекордно низкими шумами на уровне 10 ng/rtHz [11].

Разработчики новой аппаратуры фактически отказались от группирования сейсмодатчиков при проведении сейсморазведочных работ, а задачу фильтрации шумов решают методами, связанными с многокомпонентной регистрацией сигнала и анализом характера его поляризации [12].

Принципиальный отказ от кабелей при создании таких систем способствовал уменьшению их веса и, соответственно, расходов, связанных с доставкой аппаратуры к месту проведения работ и обратно; снижению доли ручного труда при выполнении смоточно-размоточных операций

и необходимостью следить за степенью вертикальности установки сейсмодатчиков [13].

Отечественные разработки

Обращаясь к разработкам отечественного приборостроения, следует остановиться на возможностях, предоставляемых сейсморазведке датчиками, созданными в последние годы ООО «Р-сенсорс» [17] в сотрудничестве с Центром молекулярной электроники МФТИ на основе использования физических принципов молекулярно-электронного (М-Е) преобразования сигнала и жидкости в качестве инерционной массы и бескабельной телеметрической сейсморегирующей системы (БТСС) «SCOUT», разрабатываемой ОАО «СКБ СП» [18].

М-Е датчики. Отличительными особенностями этих М-Е геофонов являются более высокий коэффициент преобразования (динамический диапазон соизмерим с динамическим диапазоном сейсморазведочных станций), заметное расширение частотного рабочего диапазона по сравнению с электродинамическими геофонами стандартного вида и теми, что изготавливаются по технологии MEMS. Для М-Е геофонов характерны нечувствительность к наклонам при установке, а также возможность регистрации крутильных колебаний, возникающих при определенных условиях в геологической среде.

Новые М-Е геофоны позволяют качественно повысить эффективность сейсморазведочных работ, в частности,

- Более высокий коэффициент преобразования в сочетании с низкими собственными шумами позволяет регистрировать относительно более слабые и сильные сигналы; использовать меньше датчиков в расчете на один канал регистрации, уменьшить расходы на проведение сейсморазведочных работ как за счет суммарной стоимости датчиков, так и расходов, связанных с доставкой и расстановкой датчиков в местах проведения полевых работ.
- Расширение частотного диапазона позволяет улучшить разрешающую способность измерений, определяемую отношением F_{max}/F_{min} (верхней и нижней частот регистрируемых сигналов), и улучшить соотношение сигнал/шум для отражений от более глубоких горизонтов разреза, что связано с меньшим затуханием низких частот при распространении сигнала.
- Нечувствительность датчиков к углам наклона при установке позволит дополнительно ускорить сейсморазведочные работы за счет уменьшения времени, необходимого для их расстановки.

- Измерение крутильных колебаний грунта позволяет напрямую регистрировать поверхностные Рэлеевские волны, являющиеся одним из преобладающих источников помех при проведении сейморазведочных исследований, и проводить их фильтрацию при обработке данных. Данный подход может стать альтернативой традиционным методам группирования геофонов, поскольку позволит использовать меньшее количество датчиков на косах и снизить финансовые и временные расходы.
- В рамках разработки технологии изготовления М-Е геофонов уже сегодня удалось получить достаточно высокие выходные параметры. По уровню шумов и динамическому диапазону (поданным ООО «Р-сенсорс») параметры М-Е геофонов оказались лучше, чем у датчиков МЭМС зарубежных производителей (табл. 1 и 2).

Внешний вид и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) М-Е сейсмодатчика представлены на рис. 1, 2.

Сейсморегистрирующая система «SCOUT». Кроме М-Е датчиков в России была разработана соответствующая мировому уровню бескабельная телеметрическая сейсморегистрирующая система (БТСС) (АО «СКБ Сейсмического приборостроения», г. Саратов) – рис. 3.

Технические характеристики бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы позволяют вести непрерывную запись волнового поля на протяжении длительного времени. Длительность записи ограничена только емкостью аккумуляторной батареи и размером FLASH-памяти. Это условие, наряду с наличием достаточного количества блоков БТСС, позволяет реализовать методические приемы, недоступные при работах с кабельными системами регистрации. Как оказалось, систему

Таблица 1

Сравнение параметров сейсмических датчиков, отличающихся по принципу действия
Comparison of the parameters of seismic sensors, different in principle

№ пп	Модель, производитель	Принцип действия	Уровень собственного шума в сейсмическом частотном диапазоне 5-100 Гц	Макс. измеряемый сигнал	Динамический диапазон	Цена за компоненту, долл.
1	STIM-210, Sensor Technologies	Смещения вибрирующей инерциальной массы под действием силы Кориолиса. МЭМС технология	$5 \cdot 10^{-4}$ рад/с	6,5 рад/с	84 дБ	> 1000
2	SR-100FR, Columbia Research Laboratories	Тороидальный канал, заполненный жидкостью и пьезоэлектрический преобразователь перепада давления и жидкости	$3 \cdot 10^{-3}$ рад/с	5 рад/с	64 дБ	> 1000
3	EMP-1.2K, Emcore	Волоконно-оптический гироскоп	$5 \cdot 10^{-6}$ рад/с	14 рад/с	128 дБ	> 10000
4	VG 910, Физоптика	Волоконно-оптический гироскоп	$1.5 \cdot 10^{-4}$ рад/с	2,5 рад/с	84 дБ	> 2000
5	ARS-14, компании Applied Technology Association	Тороидальный канал, заполненный электролитом и преобразователь в электрический сигнал, основанный на магнитогидродинамическом эффекте	$5 \cdot 10^{-6}$ рад/с	0,5 рад/с	100 дБ	> 2000
6	MTSS-1001, Р-сенсорс	Тороидальный канал, заполненный электролитом и преобразователь в электрический сигнал, основанный на молекулярно-электронном переносе	10^{-7} рад/с	0,1 рад/с	120 дБ	~ 600, перспектива снижения до 20

Таблица 2

Оценочные характеристики сейсмических датчиков MTSS-1001
Estimated characteristics of seismic sensors MTSS-1001

Стандартная полоса частот	1 – 300 Гц
Коэфф. преобразования	250 В/(м/с) – не дифф. выход
Макс. выходной сигнал	± 7,5 В
Интегральный шум в рабочей полосе	100 нм/сек
Динамический диапазон	120 дБ
Питание	12 В DC / 8 мА
Температурный диапазон работы	-40 ... +55 °С
Допустимый угол установки	Любой



Рис. 1. Однокомпонентный автономный сейсмический датчик MTSS-1001

Fig. 1. Autonomous single-component seismic sensor MTSS-1001

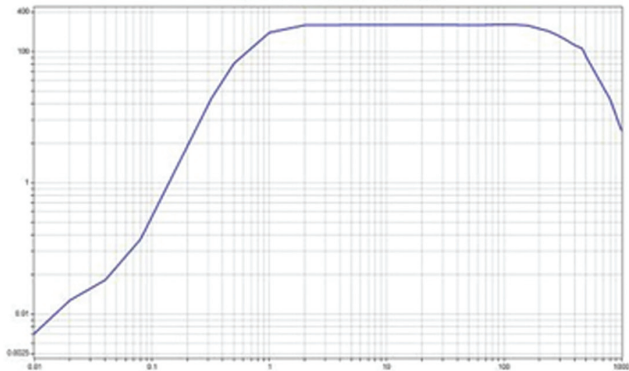


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика датчика MTSS-1001 (В/м/с)

Fig. 2. Amplitude-frequency characteristic of the sensor MTSS-1001 (V/M/s)



Рис. 3. Внешний вид полевого блока бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы «SCOUT»

Fig. 3. Appearance of the field unit of the cable-free telemetric seismic recording system «SCOUT»

«SCOUT» вполне успешно можно применять при проведении геолого-разведочных работ с датчиками различного типа, а также использовать в качестве дополнения к кабельной системе в зонах, где невозможно проведение «смотки–размотки» кабельной продукции, при условии совпадения параметров записи обеих систем. Кроме того, в программном комплексе системы «SCOUT» присутствует модуль предварительной оценки качества полевого материала, с помощью которого возможно оперативно получать информацию о ходе работ и качестве зарегистрированного материала.

Новая система обеспечивает:

- возможность работы с неограниченным числом каналов;
- проведение широкоазимутальных и с большими выносами наблюдений;
- формирование сейсмограмм с изменяющейся длиной годографа;
- выполнение «опережающей» оценки сейсмогеологических условий за пределами активной расстановки приборов;
- выполнение работ методами активной и пассивной сейсморазведки одновременно;
- снижение количества и массы необходимого оборудования;
- сокращение численности персонала;
- сокращение затрат времени, необходимого на проведение организации и ликвидации работ;
- возможность проведения работ в ранее недоступных зонах;
- обеспечение режима непрерывной регистрации данных (на протяжении 2-3 недель);
- снижение нагрузки на окружающую среду, более полное удовлетворение требований техники безопасности и охраны труда при проведении полевых работ.

Новая система предназначена для использования:

- при проведении инженерных изысканий (с интервалом квантования регистрируемых сигналов до 0,25 мс);
- изучении строения верхней части разреза;
- реализации 2D-проектов (на сети профилей);
- 3D-проектов (с использованием неограниченного числа каналов);
- 3С-проектов (при выполнении работ с 3-компонентными датчиками);
- 4D-проектов (при мониторинге разработки месторождений, мониторинге процесса бурения скважин).

Результаты работ

Появление в нашей стране вышеуказанного инновационного геофизического оборудования [1, 5]

стало возможным благодаря тому, что Роснедра смогли организовать и профинансировать такие серьезные научно-исследовательские работы, как «Разработка и испытание информационно-измерительного сейсморазведочного комплекса, основанного на использовании молекулярно-электронных сейсмических датчиков (ИИСК-МЭСД)» [6] и «Разработка методики и технологии применения сейсмических приемно-регистрирующих телеметрических систем бескабельного типа при проведении геолого-разведочных работ на нефть и газ на объектах Роснедр» [9].

Уже первые полевые испытания разработанного геофизического оборудования показали геологическую эффективность реализованных технических решений при проведении опытно-методических сейсмических работ на объектах госзаказа: «Геофизическое обоснование прогноза строения отложений осадочного чехла в районах с проявлением солянокупольной тектоники средствами полномасштабного компьютерного 3D-моделирования сейсмического и гравитационного полей и проведения специальных полевых работ» [7], «Сейсморазведочные работы на доманикоидные отложения Бузулукской впадины» [10], «Сейсморазведочные работы по подсольевым верхнеюрским отложениям на территории Терско-Каспийского краевого прогиба» [8].

Всего на этих объектах с использованием нового информационно-измерительного сейсморазведочного комплекса было отработано около 600 пог. км сейсмических профилей и выполнено сравнение работы инновационных М-Е датчиков и двух видов датчиков стандартного типа: GS-20DX и GS-ONE.

Как следует из приведенных здесь временных разрезов (рис. 4), результаты работ, полученные на объекте «Сейсморазведочные работы по подсольевым верхнеюрским отложениям на территории Терско-Каспийского краевого прогиба» с использованием сейсморегирующих систем «SCOUT» (с одиночными датчиками MTSS 1001) и Sercel 428 (с группированием датчиков GS-20DX), уже сейчас можно рассматривать практически «на равных».

Полевое сравнение параметров различных типов сейсмодатчиков показало, что чувствительность и идентичность М-Е геофонов существенно превосходят возможности серийно выпускаемых сейсмодатчиков GS-20DX, а по чувствительности – даже группу сейсмодатчиков GS-20DX (рис. 5).

Сравнительный анализ трасс ФБК с М-Е датчиками MTSS-1001 и геофонами GS-20DX [9] показывает, что идентичность сейсмических трасс с М-Е датчиками несколько выше, чем идентичность трасс с одиночным геофоном GS-20DX и группой геофонов GS-20DX (рис. 6).

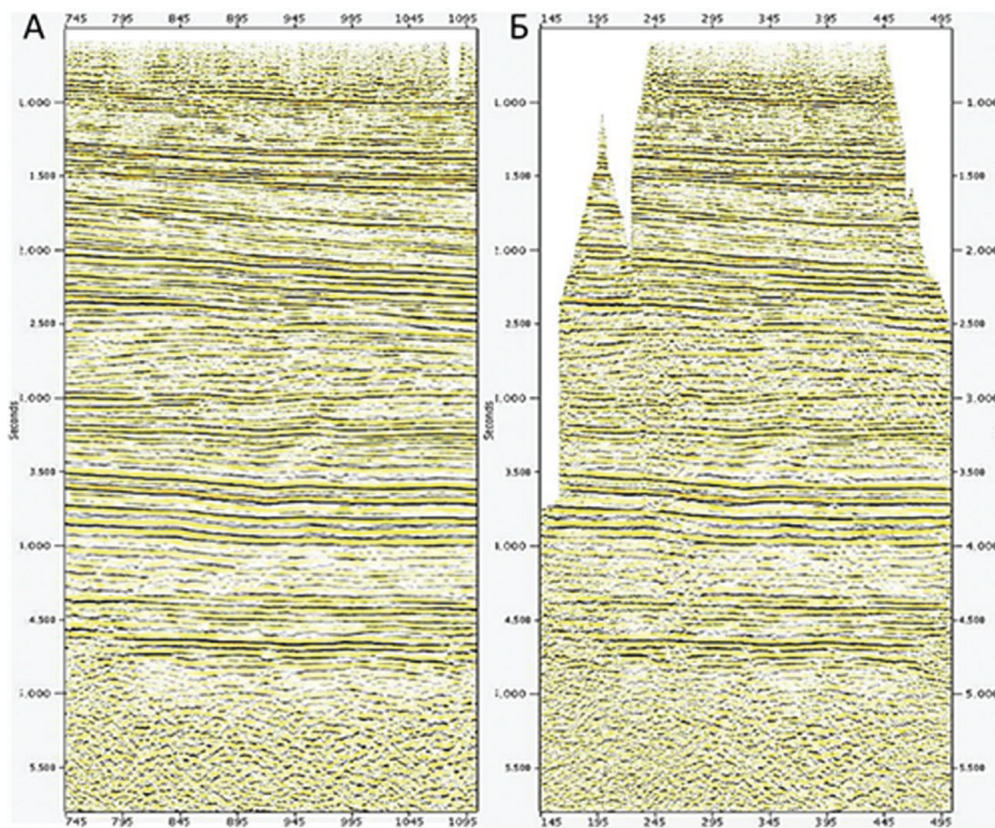


Рис. 4. Временные сейсмические разрезы после коррекции статики и кинематики и подавления различного рода помех. А – станция Sercel 428, геофон GS-20 DX. Б – станция SCOUT, геофон MTSS-1001

Fig. 4. Time seismic sections after correction of statics and kinematics and suppression of various kinds of noise. A-station Sercel 428, geophone GS-20 DX. B – station SCOUT, geophone MTSS-1001

Были выявлены также и некоторые недостатки в работе новых датчиков, затрудняющие в настоящее время их массовое внедрение в практику сейсморазведочных работ, которые можно устранить при переходе на планарные технологии при изготовлении геофона. К таким недостаткам можно отнести:

- высокую стоимость геофона MTSS-1001 (из-за ручной сборки порядка 600 долларов за единицу продукции);
- необходимость доработки схемы питания встроенной электронной схемы;
- слабую гидроизоляцию корпуса геофона;
- недостаточную чувствительность мембран; расположенных в рабочем теле датчика.

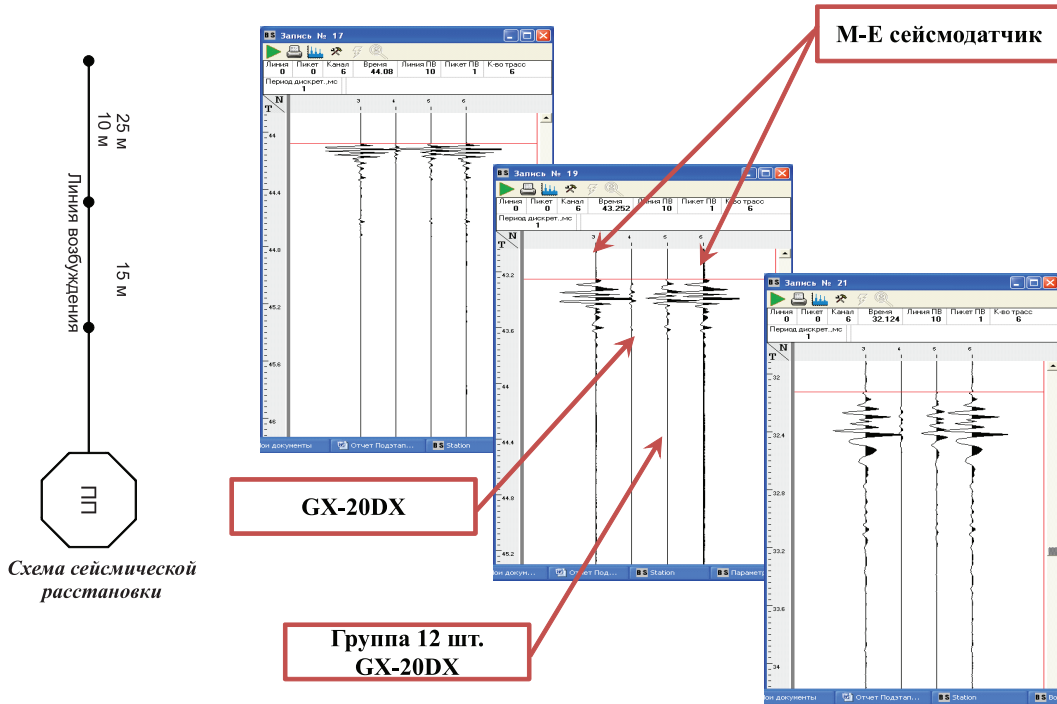
В целом же вышеуказанные особенности разрабатываемых молекулярно-электронных М-Е датчиков в дальнейшем должны позволить на принципиально другом уровне решать геологические задачи, связанные с регистрацией отражений от пластов-коллекторов продуктивных интервалов разреза, совмещать работы методами активной и пассивной сейсморазведки, а также повысить

экономическую эффективность проведения полевых сейсморазведочных работ.

Можно также ожидать, что создание современных широкополосных высокочувствительных молекулярно-электронных М-Е сейсмических датчиков окажет не меньшее влияние на методы обработки данных, чем в свое время это произошло в связи с появлением разработки МЭМС геофонов-акселерометров. Часть этих методов будет лежать в русле основных тенденций развития алгоритмов обработки сейсмических данных в части более точного учета геологии верхней части разреза, эффективного использования многоканальности и многокомпонентности регистрируемого сигнала [14, 15, 16].

Выводы и рекомендации

Цикл научно-исследовательских работ по разработке сейсмостанции «SCOUT» и М-Е датчиков завершен. Выполненные разработки в смысле оценки перспектив их дальнейшего использования оказались достаточно продуктивными и интересными. Опытные-методические работы, выполненные



Записи первых вступлений сейсмограмм, полученных на различных удалениях от ПВ

Рис. 5. Результаты сравнительных испытаний геофонов «MTSS-1001» и «GX-20DX» с использованием в качестве сейсморегистрирующего канала блока станции «SCOUT»

Fig. 5. The results of comparative tests of geophones «MTSS-1001» and «GX-20DX» using as a seismic recording channel unit station «SCOUT»

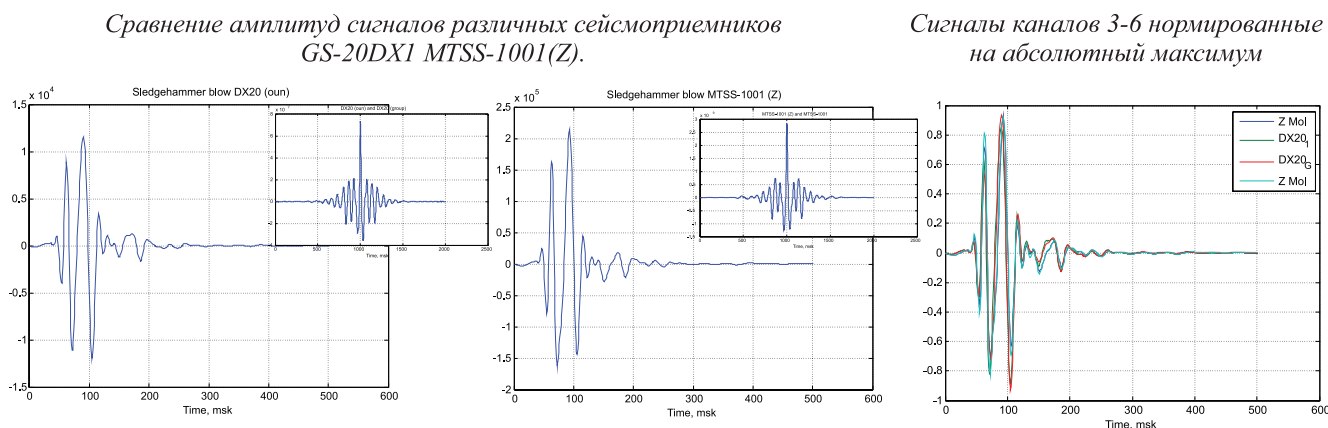


Рис. 6. Сравнительный анализ трасс ФВК, соответствующих геофонам «MTSS-1001» и «GS-20DX»

Fig 6. Comparative analysis cross-correlation function routes corresponding to geophones «MTSS-1001» and «GS-20DX»

на 3 объектах проведения геолого-разведочных работ, только подтвердили эти ожидания. Логично было бы ожидать продолжение работ по данной тематике в части:

- более широкой апробации существующих макетных образцов в лабораторных и полевых условиях;
- доведения макетных образцов в рамках ОКР до возможности их выпуска в варианте мелкосерийного производства;

- доработки методов и компьютерных программ обработки получаемой информации, использующих все возможности новой аппаратуры. Фактически из-за отсутствия механизма доработки геолого-геофизической продукции НИОКР, созданной за счет средств федерального бюджета, дальнейшие работы были остановлены; макетные образцы блоков станции «SCOUT» и изготовленные М-Е датчики переданы в Роснедра (Заказчику работ) и находятся на ответственном хранении в ФГБУ «ВНИГНИ».

Следует также отметить, что на текущий момент в России практически отсутствуют идеологические центры разработки новых методик и технологий проведения геофизических (сейсмических) исследований. Новые методики и технологии в основном привносятся из-за рубежа и преследуют только одну цель – обеспечить закупку нового западного оборудования.

В этой связи очевидна необходимость воссоздания под эгидой НИИ и КБ специализированных подразделений (опытно-методических партий), обеспечивающих опробование и оценку возможностей использования новых образцов отечественной и зарубежной геолого-геофизической продукции на объектах ГРП, подготовку предложений по их доработке и использованию, а также разработку и внедрение в практику геолого-разведочных работ новых приемов работы с современной аппаратурой и оборудованием.

Существующий механизм проведения ГРП за счет средств федерального бюджета по Государственным контрактам Роснедра позволяет иметь такие подразделения только в составе федеральных бюджетных учреждений, таких, как ФГБУ «ВНИГНИ».

Ключевые слова: сейсморазведка, сейсмограмма, геофон, бескабельная телеметрическая сейсморегистрирующая система, динамический диапазон, методика, инновация.

ЛИТЕРАТУРА

Опубликованные источники

1. Аккуратов О.С., Селезнев В.А., Матвеев В.В., Гнатюк А.И., Абдулвалиев М.Т., Навроцкий А.О. Опробование технологии бескабельного сбора полевой геофизической информации отечественной сейсморегистрирующей системы «SCOUT» // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – № 02 (апрель-июнь). – С. 22-26.
2. Бевзенко Ю.П. Актуальная проблема нефтегазописковых работ и современная сейсморазведка // Возможности и проблемы обработки и интерпретации результатов сейсморазведочных работ. – Тюмень : ЕАГО, 2006. – С. 14-15.
3. Гнатюк А.И. и др. Анализ технических решений, существующих сейсморегистрирующих систем : Промежуточный отчет по Этапу I базового проекта 7.4-14/09 Федерального агентства по недропользованию, 2009.
4. Михеев С.И., Малышев В.В., Михеев Д.С. Определение плотности сети сейсмических наблюдений и размеров кондиционно-картируемых структур на основе анализа первой зоны Френеля // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2002. – № 7. – С. 48-50.

5. Хлебников П.А., Аккуратов О.С., Абдулвалиев М.Т., Навроцкий А.О., Тарасов Н.В., Воробьев В.Я. Сейсморазведка без кос и кабелей // Геология нефти и газа. – 2011. – № 3. – С. 49-54.

Фондовые источники

6. Абдулвалиев М.Т., Навроцкий А.О., Шнерерсон М.Б. и др. Окончательный отчет о НИР по базовому проекту 7.2-02/13 (Гос. контракт № ОК-03-34/44 от 27.11.13 «Разработка и испытание информационно-измерительного сейсморазведочного комплекса, основанного на использовании молекулярно-электронных сейсмических датчиков (ИИСК-МЭСД)» / ООО «СИБГЕОТЕХСЕРВИС» ; Росгеолфонд, № 519544. – Москва, 2015.
7. Каплан С.А., Рок В.Е., Веденяпин О.А. и др. Отчет по Гос. контракту № ОК-03-34/04 от 03.02.14 «Геофизическое обоснование прогноза строения отложений осадочного чехла в районах с проявлением солянокупольной тектоники средствами полноволнового компьютерного 3Д-моделирования сейсмического и гравитационного полей и проведение специальных полевых работ» / Московский филиал ФГБОУ ВО «Росгеолфонд» «ВНИИГеосистем» ; Росгеолфонд, № 522749. – Москва, 2016.
8. Козуб А.П., Рыжков В.И., Золоева Г.М. и др. Геологический отчет по Гос. контракту № 4/14-ГК от 30.10.14 «Сейсморазведочные работы по подсольевым верхнеюрским отложениям на территории Терско-Каспийского краевого прогиба» / ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина» ; Росгеолфонд, № 525726. – Москва, 2016.
9. Навроцкий А.О., Абдулвалиев М.Т., Бандов В.П. и др. Окончательный отчет о НИР по базовому проекту 7.2-04/12 (Гос. контракт ПС-03-34/19 «Разработка методики и технологии применения сейсмических приемно-регистрирующих телеметрических систем бескабельного типа при проведении геологоразведочных работ на нефть и газ на объектах Роснедр») / ООО «СИБГЕОТЕХСЕРВИС»; Росгеолфонд, № 511513. – Москва, 2013.
10. Навроцкий А.О., Аккуратов О.С., Каплан С.А. и др. Отчет по Гос. контракту № 176 от 01.09.14 «Сейсморазведочные работы на доманикоидные отложения Бузулукской впадины» / Московский филиал ФГБУ «Росгеолфонд» «ВНИИГеосистем» ; Росгеолфонд, № 525800. – Москва, 2016.

Иностранные источники

11. Homeijer B., Lazaroff D., Milligan D., Alley R., Wu J., Szepesi M., Bicknell B., Zhang Z., Walmsley R. Hewlett Packard's seismic grade MEMS accelerometer // IEEE MEMS, 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems. – Mexico : Cancun, 2011. – P. 385-388.

12. Burch D., Kappius R., Tessman J. Successful noise attenuation using point receivers in the presence of aliased noise // SEG Annual meeting, 10-15 October, 2004, Colorado : Abstracts. – 2004. – P. 13-16
 13. Lansley M., Laurin M., Ronen S. Modern land recording systems: How do they weigh up? // The Leading Edge. – 2008. – V. 27, Issue 7. – P. 888-894.
 14. Orza R.L., Panea I. Single sensors versus hard-wired arrays in amplitude analysis // SEG Annual meeting, Las Vegas : Abstracts. – 2008. – P. 528-532.
 15. Panea I. Array forming in the presence of phase variations. The Leading Edge. – 2009. – February. – P. 216-221.
 16. Mougénot D., Thorburn N. MEMS-based 3C accelerometers for land seismic acquisition: Is it time? // The Leading Edge. – 2004. – 23, No. 3 (March). – P. 246-250.

Электронные источники

17. http://r-sensors.ru/9_prod_compact_ru.shtml (дата обращения: 12.08.2018).
 18. <http://skbsp.ru/index.php/ru/sejsmosistemy/beskabelnaya-sejsmosistema-scout> (дата обращения: 12.08.2018).

PUBLICATIONS

1. Akkuratov O.S., Seleznev V.A., Matveev V.V., Gnatyuk A.I., Abdulvaliev M.T., Navrotsky A.O. Testing of technology of cableless collection of field geophysical information of the domestic seismic-recording system «SCOUT» // Devices and systems of exploration Geophysics / ed. Saratov otd. EAGO. 2011. No. 02 (April-June). P. 22-26.
 2. Bevzenko Yu.P. Actual problem of oil and gas exploration and modern seismic exploration. // Possibilities and problems of processing and interpretation of seismic survey results : collection of articles. Tyumen : EAGO. 2006. P. 14-15.
 3. Gnatyuk A.I. et al. Analysis of technical solutions, existing seismic registration system : Interim report on phase I of the basic project 7.4-14/09 of the Federal Agency for Subsoil Use, 2009.
 4. Mikheev S.I., Malyshev V.V., Mikheev D.S. Determination of the density of the network of seismic observations and the size of certified-mapped structures based on the analysis of the first Fresnel zone // Geology, Geophysics and development of oil and gas fields. 2011. № 3. P. 49-54.
 5. Khlebnikov P.A., Akkuratov O.S., Abdulvaliev M.T., Navrotsky A.A., Tarasov N.V. Vorob'ev V.Y. Seismic without cables // Geology of oil and gas. 2011. No. 3. P. 49-54.

Geological funds

6. Abdulvaliev M.T., Navrotsky A.O., Shneerson M.B. et al. Final report on R & d on the basic project 7.2-02/13 (State contract No. OK-03-34/44 from 27.11.13 «Design and testing information-measuring complex of seismic based on the use of molecular-electronic seismic sensors (ISK-MESD)» /

«SIBGEOTECHSERVICE» Ltd. ; Rosgeolfond, No. 519544. Moscow, 2015.
 7. Kaplan S.A., RoK V.E., Vedenyapin O.A. et al. Geological report on the State Contract No. OK-03-34/04 from 03.02.14 «Geophysical substantiation of structure of deposits of the sedimentary cover in areas with manifestation of salt dome tectonics means full wave 3D computer simulation of seismic and gravitational fields, and special field exploration» / The Moscow branch of the FGBU «Rosgeolfond» «VNIIGeosystem» ; Rosgeolfond, № 522749. Moscow, 2016.
 8. Kozub A.P., Ryzhkov V.I., Zoloeva G.M. et al. Geological report on the State Contract No. 4/14-ГК from 30.10.14 «Seismic Exploration of subsalt upper Jurassic deposits in the territory of the Terek-Caspian regional trough» / Gubkin Russian state University of oil and gas (national research UNIVERSITY) I.M. Gubkina, Rosgeolfond, No. 525726. Moscow, 2016.
 9. Navrotsky, A.O., Abdulvaliev M.T., Bandov V.P. et al. Final research report on the basic project 7.2-04/12 (State. contract ПС-03-34/19 «Development of methods and technologies of application of seismic receiving and recording telemetry systems cable-free type when conducting exploration for oil and gas on the objects of the Rosnedr» / «SIBGEOTECHSERVICE» Ltd. ; Rosgeolfond, No. 511513. Moscow, 2013.
 10. Navrotsky A.O., Akkuratov O.S., Kaplan S.A. et al. Report on State Contract No. 176 from 01.09.14 «Seismic survey of the domanic deposits of the basin Buzuluk» / The Moscow branch of the FGBU «Rosgeolfond» «VNIIGeosystem» ; Rosgeolfond, No. 525800. Moscow, 2016.

Foreign publications

11. Homeijer B., Lazaroff D., Milligan D., Alley R., Wu J., Szepesi M., Bicknell B., Zhang Z., Walmsley R. Hartwell P. Hewlett Packard's seismic grade MEMS accelerometer // IEEE MEMS, 24th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems. Mexico : Cancun, 2011. P. 385-388.
 12. Burch D., Kappius R., Tessman J. Successful noise attenuation using point receivers in the presence of aliased noise // SEG Annual meeting, 10-15 October, 2004, Colorado : Abstracts. 2004. P. 13-16.
 13. Lansley M., Laurin M., Ronen S. Modern land recording systems: How do they weigh up? // The Leading Edge. 2008. V. 27, Issue 7. P. 888-894.
 14. Orza R.L., Panea I. Single sensors versus hard-wired arrays in amplitude analysis // SEG Annual meeting, Las Vegas : Abstracts. – 2008. – P. 528-532.
 15. Panea I. Array forming in the presence of phase variations. The Leading Edge. – 2009. – February. – P. 216-221.
 16. Mougénot D., Thorburn N. MEMS-based 3C accelerometers for land seismic acquisition: Is it time? // The Leading Edge. – 2004. – 23, No. 3 (March). – P. 246-250.

E-publications

17. http://r-sensors.ru/9_prod_compact_ru.shtml (date of access: 12.08.2018).
 18. <http://skbsp.ru/index.php/ru/sejsmosistemy/beskabelnaya-sejsmosistema-scout> (date of access: 12.08.2018).