

ISSN 0016-7894 (print)
ISSN 2587-8263 (online)



ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА 5 2020

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1957 ГОДА



Состояние сырьевой базы углеводородов Северо-Западного федерального округа (стр. 7)

Нефтегазоносность акчагыльско-апшеронских отложений Северного Каспия (стр. 39)

Повышение возможностей наземной сейсморазведки (стр. 75)

RUSSIAN

OIL AND GAS GEOLOGY

Geologiya nefiti i gaza

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

SINCE 1957

УДК 550.834+550.34.038

DOI 10.31087/0016-7894-2020-5-75-82

Повышение информативности и достоверности наземной сейсморазведки с нодальными бескабельными системами

© 2020 г. | М.Т. Абдулвалиев, А.П. Тиссен, В.М. Толкачев, А.В. Череповский

ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка», Москва, Россия; mabdulvaliev@gseis.ru; atissen@gseis.ru; v.tolkachev@gseis.ru; a.cherepovskiy@gseis.ru

Поступила 03.08.2020 г.

Доработана 05.08.2020 г.

Принята к печати 07.08.2020 г.

Ключевые слова: наземная сейсморазведка; бескабельная и нодальная системы; автономная регистрация; одиночный приемник; широкий диапазон частот; плотность наблюдений; молекулярная электроника; молекулярно-электронный датчик.

Аннотация: Проанализирована современная ситуация в наземной сейсморазведке, в которой уже около 20 лет конкурируют традиционные кабельные регистрирующие системы и бескабельные системы разной конструкции. Рассмотрены факторы, позволившие разработать и внедрить бескабельные системы с автономной регистрацией сейсмических данных. Такие регистрирующие системы расширяют возможности сейсморазведчиков при выполнении исследований в сложных климатических условиях и с высокой плотностью наблюдений. Описаны типы одиночных встроенных сейсмоприемников, используемых в нодальных бескабельных системах. Поскольку одиночные приемники не ослабляют ни волны-помехи, ни случайные помехи (микросейсм), то записанные нодами сейсмограммы обычно характеризуются довольно низким отношением сигнал/помеха. Следовательно, нодальные регистрирующие системы в первую очередь применимы на сейсмических проектах с высокой плотностью наблюдений, т. е. с сокращенным шагом пунктов приема. Показаны преимущества и перспективы инновационной отечественной нодальной бескабельной системы «Открытие», разработанной по инициативе научно-технического центра компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка». По мнению авторов статьи, важнейшим конкурентным преимуществом бескабельной системы «Открытие» является уникальный молекулярно-электронный датчик, обладающий тремя особенностями: очень высокой чувствительностью (250 В/(м/с)), беспрецедентно широкой полосой регистрируемых частот (от 1 до 300 Гц) и низким уровнем собственных шумов. При этом размеры молекулярно-электронного датчика не отличаются от размеров одиночного высокочувствительного геофона. Нодальная система «Открытие», успешно протестированная весной 2020 г. в Западной Сибири, имеет все шансы на широкое применение не только в России, но и за рубежом. В настоящее время компания «ГЕОТЕК Сейсморазведка» планирует изготовить серию нодов бескабельной системы «Открытие» для проведения работ 2D или 3D в производственном режиме.

Для цитирования: Абдулвалиев М.Т., Тиссен А.П., А.П., Толкачев В.М., Череповский А.В. Повышение информативности и достоверности наземной сейсморазведки с нодальными бескабельными системами // Геология нефти и газа. – 2020. – № 5. – С. 75–82. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-5-75-82.

Increasing data resolution and fidelity in the land seismic data using nodal cableless systems

© 2020 | M.T. Abdulvaliev, A.P. Tissen, V.M. Tolkachev, A.V. Cherepovskiy

GEOTEK Seismorazvedka, Moscow, Russia; mabdulvaliev@gseis.ru; atissen@gseis.ru; v.tolkachev@gseis.ru; a.cherepovskiy@gseis.ru

Received 03.08.2020

Revised 05.08.2020

Accepted for publication 07.08.2020

Key words: land seismic; cableless system; nodal system; autonomous recording; single geophone; broad band; high-density projects; molecular electronics; molecular-electronic sensor.

Abstract: The authors analyse the current state of onshore seismic, where conventional cable recording systems and cableless systems of various designs have been competing for about 20 years. Consideration is given to the factors that enabled development and implementation of cableless systems with autonomous seismic data recording. These recording systems enhance the capabilities of seismologists in carrying out studies in complicated surface conditions and with the use of dense survey grid. Types of single built-in receivers used in nodal cableless systems are described. Since single receivers do not attenuate both coherent and incoherent noise (microseisms), rather low signal-to-noise ratio is typical of seismic records acquired by nodes. Therefore, nodal recording systems are primarily applicable in high-density seismic projects with dense survey grids, i.e. with reduced receiver point spacing. Advantages and prospects of the innovative Russian nodal cableless system “Otkrytie” developed at the initiative of the GEOTECH Seismic Services Scientific and Technical Center are demonstrated. The authors believe that revolutionary molecular-electronic sensor is a major competitive advantage of the cableless system “Otkrytie” having the following three key features: very high sensitivity (250 V per m/s), unique broad band of recording (1 to 300 Hz), and low level of the instrument noise. At the same time, the size of the molecular-electronic sensor does not differ from the size of a high-sensitivity single geophone. “Otkrytie” nodal system was successfully tested in the past spring and has every chance to be widely used both in Russia

and abroad. GEOTECH Seismic Services Company is currently planning to manufacture a series of nodes of cableless system "Otkrytie" to use in 2D or 3D survey in production mode.

For citation: Abdulvaliev M.T., Tissen A.P., Tolkachev V.M., Cherepovskiy A.V. Increasing data resolution and fidelity in the land seismic data using nodal cableless systems. *Geologiya nefti i gaza*. 2020;(5):75–82. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-5-75-82. In Russ.

Конкуренция кабельных и бескабельных систем

В последние годы на различных международных геофизических конференциях и форумах активно обсуждаются бескабельные регистрирующие системы, за которыми будущее наземной сейсморазведки [1]. Действительно, в Западном полушарии бескабельные системы почти полностью вытеснили традиционные кабельные системы, в первую очередь при выполнении съемок 3D на сланцевую нефть и сланцевый газ на небольших площадях.

Однако ни в условиях Ближнего Востока (пустыни и полупустыни и высокие температуры воздуха), ни в условиях России (главным образом покрытые лесом территории или заснеженная тундра и очень низкие температуры воздуха) преимущества целого ряда предлагаемых в настоящее время бескабельных систем, разработанных как иностранными, так и отечественными производителями, пока доказать не удалось, особенно при проведении съемки 3D на больших площадях.

Необходимо отметить, что кабельные системы продолжают совершенствоваться и их возможности все время расширяются. Сейсмопартии с кабельным оборудованием способны обеспечивать высокую производительность полевых работ с приемными расстановками, площадь которых нередко достигает 350–400 км² при работах 3D на открытой местности в северной части Африки и на Ближнем Востоке. В настоящее время кабельные регистрирующие системы способны записывать в реальном времени более 100 000 каналов с шагом дискретизации 1 или 2 мс. И скорее всего, кабельные системы пока не достигли своего технологического предела.

В то же время размотка десятков километров соединительных кабелей на площадях с развитой инфраструктурой (нефтепромысловые сооружения, трубопроводы, шоссе, промышленная и жилая застройка) или с изрезанным рельефом и густой речной сетью представляет собой трудноразрешимую задачу и предполагает повышенные трудозатраты. Кроме того, в некоторых регионах частые повреждения кабелей, вызывающие снижение производительности полевых работ и увеличение их сроков, происходят из-за диких животных или недружественного местного населения. Этим объясняется растущий интерес заказчиков сейсморазведочных работ к бескабельным регистрирующим системам.

Исходя из современного уровня развития кабельных и бескабельных систем, в некоторых ситуациях целесообразно их совместное использование в гибридных (комбинированных) приемных расстанов-

ках [2]. Бескабельные системы сбора сейсмических данных расширяют возможности сейсморазведчиков при выполнении исследований любой сложности и с любой плотностью сети наблюдений. Но основным мотивом внедрения новых типов регистрирующих систем, конечно, является их экономическая целесообразность. Также немалую роль при выборе полевого оборудования играют вопросы охраны труда и защиты окружающей среды.

Переход на автономную регистрацию сейсмических данных

Если вспомнить 20-летнюю историю внедрения бескабельных систем в практику производственных сейсморазведочных работ, то ранее основными препятствиями на пути к завоеванию бескабельными системами ведущей роли при наземной сейсморазведке 3D были громоздкость, большая масса и высокая стоимость одноканальных модулей. К тому же они были снабжены разъемами для подключения внешних аккумуляторов, необходимых для обеспечения продолжительной работы, и групп сейсмоприемников, из-за чего масса бескабельной системы в расчете на один канал была больше, чем у традиционных кабельных систем. Поэтому для перевозки и установки бескабельных модулей требовалось много транспортных средств и ручного труда.

Технологичность бескабельных систем резко повысилась при появлении компактных и морозостойких литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов, благодаря которым автономность бескабельных модулей со встроенными аккумуляторами удалось увеличить от 1–2 дней до 1–2 месяцев в зависимости от температуры окружающей среды.

Другим важнейшим моментом для разработки эффективных бескабельных систем нового поколения стали дешевые и высокочувствительные приемники сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), среди которых наиболее популярны американская система GPS, российская система ГЛОНАСС и китайская система Бэйдоу (в Южной Сибири и на Дальнем Востоке). ГНСС-приемники в автономных модулях бескабельных систем в первую очередь предназначены не для определения их координат, а для синхронизации (хронирования) записываемых отсчетов сейсмических трасс. Использование ГНСС стало ключевым моментом, который открыл дорогу автономной регистрации сейсмических данных с использованием неограниченного числа бескабельных модулей [3].

Кроме того, кажущееся логичным желание заменить кабели на радиосвязь для передачи регистрируе-

мых сейсмических данных в реальном времени из полевых модулей на центральную электронику оказалось труднореализуемым, поскольку для высокоскоростной передачи больших объемов информации требуются очень высокие радиочастоты. Конструкторы и производители бескабельных систем столкнулись с юридическими ограничениями на использование гигагерцовых частот (2,4 или 5,8 ГГц) во многих странах и с техническими трудностями установки сети высоких антенн для обеспечения устойчивой радиосвязи, особенно в условиях пересеченного рельефа местности и густого и высокого леса.

По этим причинам абсолютное большинство производителей бескабельных систем решили отказаться от радиосвязи, предназначенной для централизованной передачи данных в реальном времени. Дело в том, что высокая надежность современных бескабельных систем позволяет выполнять «слепые» сейсмические съемки 3D, при которых подрядчик и заказчик ничего не знают о состоянии вынесенных на профиль автономных модулей и не получают сейсмических данных для контроля качества в реальном времени. Многолетний опыт эксплуатации «слепых» бескабельных систем показал, что за время выполнения одной съемки 3D доля вышедших из строя бескабельных модулей обычно не превышает 0,2 %.

При этом надо иметь в виду, что в автономных бескабельных системах полностью меняется статус центральной сейсмостанции и ее оператора, так как самой сейсмостанции нет в том виде, как это мы себе ранее представляли. Каждый модуль на площади работ фактически является самостоятельной сейсмостанцией, а центрального пункта сбора информации нет. Оператора сейсмостанции заменяет геофизик-обработчик полевого центра экспресс-обработки данных, который получает материалы с задержкой в несколько дней.

Особенность современной наземной сейсморазведки в США и некоторых других странах Северной и Южной Америки заключается в том, что там выполняется много «спекулятивных» сейсмических съемок, при которых геофизические компании по своей инициативе отрабатывают те или иные перспективные территории для продажи обработанных массивов данных заинтересованным нефтегазовым компаниям. В модели «спекулятивной» съемки нет места супервайзеру, поэтому ни оперативный, ни периодический контроль уровня шума окружающей среды и качества полевых данных не обязательны или, по крайней мере, не критичны. Этим объясняется тот факт, что в последние 5–7 лет наиболее продаваемыми и используемыми в Западном полушарии и Австралии стали именно «слепые» бескабельные системы, такие как GSR/GSX компании Geospace Technologies, ZLand компании FairfieldNodal и SmartSolo компании DTCC.

На 81-й ежегодной конференции и выставке EAGE в Лондоне, состоявшейся в июне 2019 г., представители компании BP (British Petroleum) выступили с докладом, в котором декларировалось, что при высокой плотности наблюдений 3D нет необходимости контроля качества сейсмических данных в реальном времени [4]. Но в то же время было отмечено, что «слепая» регистрация данных не подходит для маленьких сейсмопартий, в которых «параноя контроля качества объясняется использованием небольшого числа каналов и низкой плотностью наблюдений», что предопределяет необходимость получения достаточно высококачественных исходных данных. В случае наблюдений высокой плотности не обязательно стремиться к высокому соотношению сигнал/помеха в исходных данных, поскольку в этом случае можно рассчитывать на применение разнообразных статистических методов подавления помех, эффективно применяемых на этапе обработки высокоплотных данных 2D или 3D.

В тех случаях, когда заказчик разрешает применение «слепых» регистрирующих систем и не требует контроля качества исходных записей и оценки уровня микросейсм на исходных сейсмограммах, для обеспечения бесперебойных и высокопроизводительных полевых работ самим подрядчикам полезно знать, как функционируют автономные модули, установленные на площади работ, и находятся ли они на положенном месте. Именно поэтому некоторые производители современных бескабельных систем снабдили свои автономные модули той или иной возможностью периодического или непрерывного контроля «статусов», т. е. параметров регистрации сейсмических данных и функционирования полевых модулей. Чаще всего для беспроводного контроля «статусов» используются хорошо известные технологии Wi-Fi и Bluetooth, а иногда Zigbee.

Нодальные бескабельные системы

Дальнейшее повышение компактности и технологичности бескабельных регистрирующих систем было достигнуто при переходе на «истинно бескабельные» системы, в модулях которых расположены одиночные встроенные сейсмоприемники. Такие бескабельные системы стали называть «нодальными». Поскольку одиночные приемники не ослабляют ни волны-помехи, ни микросейсм, записанные нодами сейсмограммы обычно характеризуются довольно низким отношением сигнал/помеха. Следовательно, нодальные регистрирующие системы в первую очередь применимы на сейсмических проектах с высокой плотностью наблюдений, т. е. с сокращенным шагом пунктов приема (не более 20–25 м).

В невзрывной сейсморазведке 3D высокую плотность наблюдений в условиях открытой местности можно также обеспечить за счет сокращенного интервала между линиями и пунктами возбуждения –

например, за счет применения высокопроизводительной технологии «Glide», когда импульсные источники «Енисей» работают в движении с шагом от 5 до 10 м, обеспечивая повышение производительности сейсморазведочных работ в 3–4 раза. В таких случаях для регистрации данных могут быть особенно эффективно использованы ноды, установленные по разреженной сети наблюдений — например, 100×100 м по обеим координатам площади работ.

Вначале в нодах использовались стандартные электродинамические сейсмоприемники (или геофоны) с собственной частотой 10 Гц. Но в последние годы большинство производителей нодальных регистрирующих систем перешли на высокочувствительные геофоны (от 80 до 100 В/(м/с)) с собственной частотой 5 Гц, что позволяет получать более широкополосные данные, требуемые для корректной интерпретации и полномасштабной инверсии сейсмических данных. В отдельных случаях в нодах используются акселерометры (датчики, измеряющие не скорость, а ускорения упругих колебаний), но даже лучшие приборы такого рода — хорошо известные в отрасли микроэлектромеханические системы (МЭМС) — характеризуются высоким уровнем собственных шумов на частотах ниже 10 Гц. Конструкторам еще предстоит добиться выравнивания плотности аппаратного шума этих датчиков и всего регистрирующего канала в низкочастотной части спектра [5].

По мнению авторов статьи, наиболее перспективным одиночным приемником для нодальных бескабельных систем является молекулярно-электронный датчик (МЭД). Такие датчики длительное время конструируются и выпускаются российской компанией «Р-сенсорс», основанной выпускниками МФТИ и сотрудничающей с центром молекулярной электроники этого института. Датчики МЭД успешно работают в сейсмических сетях Единой геофизической службы РАН — на территории Якутии, в Магадане, на Сахалине и Курильских островах, применяются для круглосуточного сейсмического мониторинга стадионов и высотных зданий, но пока не нашли широкого применения в нефтегазовой сейсморазведке.

Датчики МЭД обладают тремя важнейшими преимуществами (рис. 1): очень высокой чувствительностью (250 В/(м/с)), беспрецедентно широкой полосой регистрируемых частот (от 1 до 300 Гц) и низким уровнем собственных шумов. При этом размеры МЭД (рис. 2) не отличаются от размеров одиночного высокочувствительного геофона.

Датчик устроен таким образом, что при наличии внешнего сигнала электролит в канале приходит в движение благодаря гибким торцевым мембранам, и поток жидкости преобразуется в электрический ток (рис. 3). Изменения тока между электродами чувствительного элемента являются выходным сигналом датчика, который, благодаря электронике, может быть пропорционален как скорости колебаний, так и

их ускорению, т. е. МЭД может работать как велосометр или акселерометр.

Чувствительный элемент МЭД помещается поперек диэлектрического канала, заполненного высокопроводящей рабочей жидкостью. Как правило, в преобразующем элементе используется йод-йодидный электролит, представляющий собой высококонцентрированный раствор йодида калия или лития с небольшой добавкой молекулярного йода.

К недостаткам МЭД раньше относилось высокое энергопотребление, что делало нецелесообразным применение таких датчиков в нодальных бескабельных системах. Однако, благодаря совместным усилиям НТЦ компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка» и специалистов компании «Р-сенсорс», в короткие сроки удалось адаптировать конструкцию МЭД и многократно снизить энергопотребление этого датчика. Обновленный МЭД стал главной «изюминкой» разработанной по инициативе компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка» бескабельной системы «Открытие» [6], которая стала первой и пока единственной нодальной отечественной регистрирующей системой. По заказу компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка» на крупнейшем в России предприятии по производству сейсморазведочного оборудования — СКБ СП в Саратове — в начале 2020 г. была сконструирована и выпущена первая серия нодов «Открытие» (рис. 4).

В марте 2020 г. в Западной Сибири были проведены опытно-методические работы 2D с применением нодальной системы «Открытие» (рис. 5). Опытные работы проводились для решения следующих задач: определить технологичность новой регистрирующей системы в зимних условиях, проверить влияние низких температур на чувствительность МЭД и длительность работы аккумуляторов, доказать механическую надежность конструкции нодов «Открытие» и, наконец, сравнить данные, зарегистрированные МЭДами и электродинамическими геофонами, установленными на тех же линиях приема.

Считывание сейсмической информации, накопленной нодами «Открытие» на трех линиях приема в течение 10 дней, было выполнено в полевых условиях после завершения этапа регистрации данных. Операции считывания сейсмической информации и зарядки встроенных аккумуляторов происходили одновременно на специальных стойках, рассчитанных на 64 нода «Открытие» (рис. 6). В течение нескольких часов на сервере по отметкам момента было сформировано (вырезано из непрерывной записи) около 2500 исходных сейсмограмм.

На рис. 7 представлены исходные сейсмограммы (на открытом канале) с одинаковым усилением. Видно, что запись, полученная с помощью стандартной кабельной системы с группами из трех 5-Гц сейсмоприемников YF-SOLO, несколько слабее по амплитуде, чем запись, полученная нодами бескабельной

Рис. 1. Сравнение амплитудно-частотных характеристик сейсмоприемников различного типа: молекулярно-электронный датчик (МЭД), высокочувствительный геофон (YF-SOLO) с собственной частотой 5 Гц и стандартный геофон (GS-20DX) с собственной частотой 10 Гц

Fig. 1. Comparison of amplitude-frequency characteristic of different type receivers: molecular-electronic sensor (MES), high-sensitivity geophone (YF-SOLO) having natural frequency of 5 Hz, and conventional geophone (GS-20DX) having natural frequency of 10 Hz

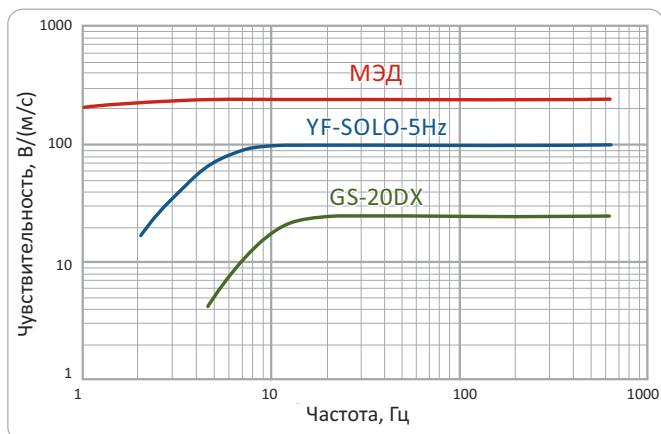


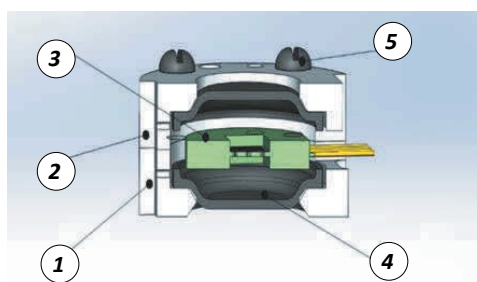
Рис. 2. Молекулярно-электронный датчик, выпускаемый российской компанией «Р-сенсорс»

Fig. 2. Molecular-electronic sensor manufactured by the R-sensors Company, Russia



Рис. 3. Конструкция молекулярно-электронного датчика

Fig. 3. Design of molecular-electronic sensor



Фланец (1–2): 1 — нижний, 2 — верхний; 3 — чувствительный элемент с выводами; 4 — резиновая мембрана; 5 — винт
Flange (1–2): 1 — lower, 2 — upper; 3 — sensor element with leads; 4 — rubber membrane; 5 — screw

Рис. 4. Одноканальный модуль (нод) бескабельной системы «Открытие»

Fig. 4. Single-channel module (node) of the cable-free system "Otkrytie"



Модуль снабжен веревочной ручкой для переноски и выдергивания из грунта

The module has a cord handle to carry and pull out of the ground

Рис. 5. Проверка функционирования нодов бескабельной системы «Открытие» при опытных работах в Западной Сибири в марте 2020 г.

Fig. 5. Checking the nodes operation of the "Otkrytie" cable-free system during the pilot works in Western Siberia, March 2020



Рис. 6. Считывание сейсмической информации и одновременная зарядка встроенных аккумуляторов на стойках

Fig. 6. Reading of seismic information and charging the built-in batteries on racks





ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рис. 7. Сравнение исходных сейсмограмм, зарегистрированных кабельной системой 428XL с группами по три высокочувствительных электродинамических сейсмоприемника YF-SOLO (А) и нодами бескабельной системы «Открытие» со встроенными одиночными датчиками МЭД (В)

Fig. 7. Comparison of raw seismograms recorded by 428XL cable system with groups of three highly sensitive electrodynamic geophones YF-SOLO (A) and nodes of the "Otkrytie" cable-free system with built-in molecular-electronic sensors (B)

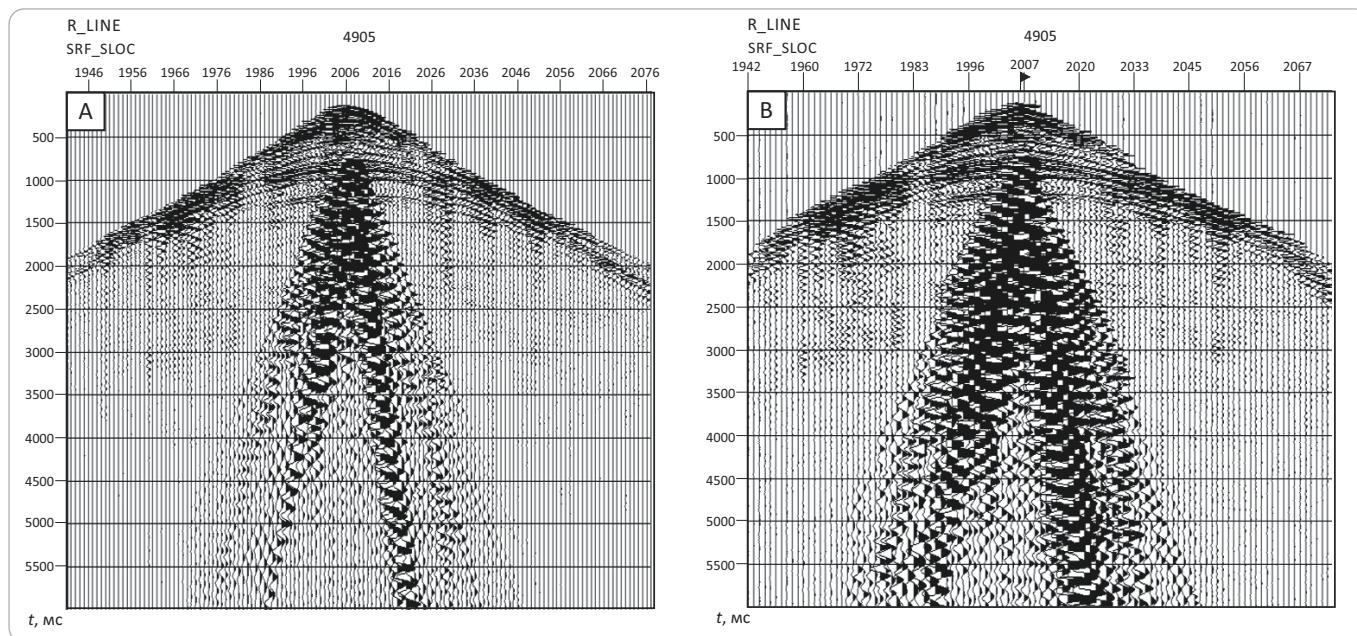
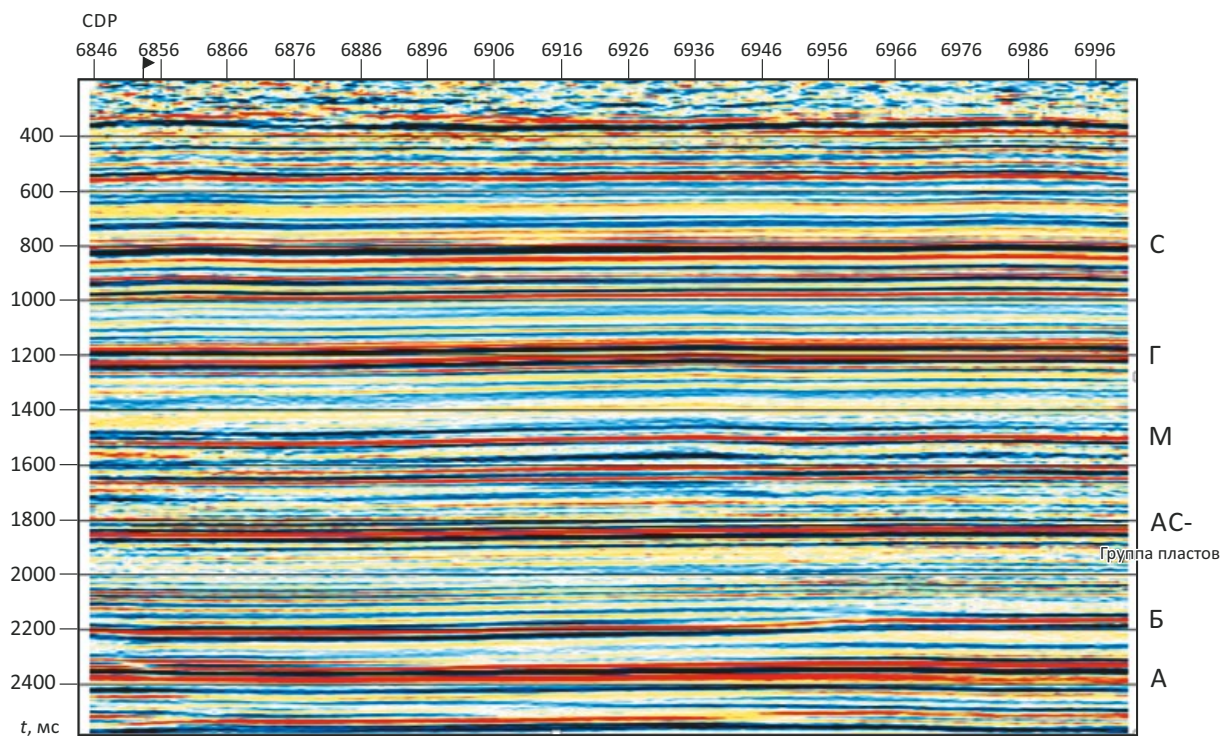


Рис. 8. Временной разрез, полученный после экспресс-обработки данных, зарегистрированных в Западной Сибири нодальной регистрирующей системой «Открытие» со встроенными молекулярно-электронными датчиками

Fig. 8. Time section obtained after on-line processing of data recorded in Western Siberia using the "Otkrytie" cable-free nodal system with built-in molecular-electronic sensors



На разрезе прослеживаются все опорные горизонты
All the reference horizons can be tracked in the section

системы «Открытие» со встроенными одиночными датчиками МЭД. Благодаря более широкополосной амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) этого датчика, амплитудные различия особенно заметны в конусе поверхностной волны, которая обладает наиболее низкими частотами. Детальный анализ АЧХ показал, что бескабельная система «Открытие» со встроенными датчиками МЭД обеспечила более широкий спектр сигнала как в сторону низких, так и высоких частот.

В результате экспресс-обработки данных по трем линиям приема были получены временные разрезы высокого качества (рис. 8). Несмотря на то, что кратность наблюдений в случае регистрации данных стандартной кабельной системой с группами из трех 5-Гц сейсмоприемников YF-SOLO более чем на порядок превышала кратность наблюдений с тестируемой нодальной бескабельной системой «Открытие», временные разрезы для двух типов регистрирующих систем оказались сопоставимы по информативности.

Заключение

Бескабельные регистрирующие системы, особенно нодального типа, уже имеют большую популярность за рубежом благодаря тому, что концепция «слепой» сейсморазведки там не встретила оттор-

жения со стороны заказчиков сейсморазведочных работ.

Высокая плотность наблюдений позволяет смягчить требования к допустимому уровню шума окружающей среды (микросейсмам) и к отношению сигнал/помеха на исходных записях. Если эта концепция будет принята российскими заказчиками, то относительно дешевые нодальные бескабельные системы получат распространение и в России, как это уже произошло в Северной и Южной Америке, а также в Австралии и Китае.

Инновационная отечественная нодальная система «Открытие», разработанная по инициативе НТЦ компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка» и успешно протестированная весной 2020 г., имеет все шансы на широкое применение в нефтегазовой сейсморазведке не только в России, но и за рубежом из-за важного конкурентного преимущества, а именно благодаря уникальному высокочувствительному и широкополосному датчику МЭД.

В настоящее время компания «ГЕОТЕК Сейсморазведка» планирует изготовить серию нодов бескабельной системы «Открытие» для проведения масштабных работ 2D или 3D в производственном режиме в зимнем полевом сезоне 2020–2021 гг.

Литература

1. *Durham L.S.* Nodal Seismic Passes Frigid Siberia Tests // *AAPG Explorer*. – 2011. – Sept.
2. *Munoz P.A., Rodriguez L., Parrado R., Uribe J.* Operational challenges of nodal 3D seismic acquisition in the sub-Andean environments // 77th EAGE Conference & Exhibition, Madrid, 1–4 June 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412602.
3. *Абдулвалиев М.Т., Тиссен А.П., Череповский А.В.* Контроль качества в современных бескабельных регистрирующих системах // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2020. – Т. 64. – № 1. – С. 31–40.
4. *Manning T., Stone J., Ourabah D., Ablyazina A.D., Quigley J.* Could you use one million nimble channels? // Conference Proceedings, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019. – Jun 2019. – Т. 2019. – С. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901137>.
5. *Campman X., Behn Ph., Faber K.* Sensor density or sensor sensitivity? // *The Leading Edge*. – 2016. – Т. 35. – № 7. – С. 578–585. DOI: 10.1190/tle35070578.1.
6. *Тиссен А.П.* Результаты ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» в развитии новых сейсморазведочных технологий // Материалы геолого-геофизической конференции и выставки «ГеоЕвразия-2020», Москва, 3–6 февраля 2020 г.

References

1. *Durham L.S.* Nodal Seismic Passes Frigid Siberia Tests. *AAPG Explorer*. Sept. 2011.
2. *Munoz P.A., Rodriguez L., Parrado R., Uribe J.* Operational challenges of nodal 3D seismic acquisition in the sub-Andean environments In: 77th EAGE Conference & Exhibition, Madrid, 1–4 June 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412602.
3. *Abdulvaliev M.T., Tissen A.P., Cherepovskii A.V.* Kontrol' kachestva v sovremennykh beskabel'nykh registriruyushchikh sistemakh [Quality control in modern cableless recording systems]. *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*. 2020;64(1):31–40. In Russ.
4. *Manning T., Stone J., Ourabah D., Ablyazina A.D., Quigley J.* Could you use one million nimble channels? In: Conference Proceedings, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019. Vol. 2019. pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901137>.
5. *Campman X., Behn Ph., Faber K.* Sensor density or sensor sensitivity? *The Leading Edge*. 2016;35(7):578–585. DOI: 10.1190/tle35070578.1.
6. *Tissen A.P.* Rezul'taty PAO «GEOTEK Seismorazvedka» v razvitiy novykh seismorazvedochnykh tekhnologii [The results of PJSC GEOTECH Seismic Services in the development of innovative seismic exploration technologies]. In: «Goevraziya-2020», mat-ly geologo-geofizicheskoi konferentsii i vystavki. Moscow, 3–6 February, 2020. In Russ.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информация об авторах

Абдулвалиев Марат Талгатович

Кандидат технических наук,
технический директор НТЦ
ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»,
119435 Москва, Б. Саввинский пер., д. 12, стр. 16
e-mail: mabdulvaliev@gseis.ru

Тиссен Артур Петрович

Кандидат технических наук,
вице-президент по науке
ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»,
119435 Москва, Б. Саввинский пер., д. 12, стр. 16
e-mail: atissen@gseis.ru

Толкачев Владимир Михайлович

Кандидат экономических наук,
президент
ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»,
119435 Москва, Б. Саввинский пер., д. 12, стр. 16
e-mail: v.tolkachev@gseis.ru

Череповский Анатолий Викторович

Кандидат технических наук,
главный специалист НТЦ
ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»,
119435 Москва, Б. Саввинский пер., д. 12, стр. 16
e-mail: a.cherepovskiy@gseis.ru
ORCID ID: 0000-0001-7754-2092

Information about authors

Marat T. Abdulvaliev

Candidate of Technical Sciences,
Technical Director
GEOTEK Seismorazvedka,
12, stroenie 16, B. Savvinskii per., Moscow, 119435, Russia
e-mail: mabdulvaliev@gseis.ru

Artur P. Tissen

Candidate of Technical Sciences,
Vice President for Science
GEOTEK Seismorazvedka,
12, stroenie 16, B. Savvinskii per., Moscow, 119435, Russia
e-mail: atissen@gseis.ru

Vladimir M. Tolkachev

Candidate of Economic Sciences,
President
GEOTEK Seismorazvedka,
12, stroenie 16, B. Savvinskii per., Moscow, 119435, Russia
e-mail: v.tolkachev@gseis.ru

Anatoly V. Cherepovskiy

Candidate of Technical Sciences,
Chief Specialist
GEOTEK Seismorazvedka,
12, stroenie 16, B. Savvinskii per., Moscow, 119435, Russia
e-mail: a.cherepovskiy@gseis.ru
ORCID ID: 0000-0001-7754-2092