



МНОГОМЕРНАЯ СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ НА ОСНОВЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ РЕГИСТРАТОРОВ СЕМЕЙСТВА POCA®

О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков, А. В. Вершинин

Телеметрические и автономные сейсмические регистраторы семейства POCA® разработаны в ФГУП «СНИИГГиМС» (патенты РФ № 2207719, 2244945, 2331087, 2366981, 90223) на элементной базе нового поколения и позволяют реализовать пространственно распределенные кабельные и бескабельные системы наблюдений с источниками упругих колебаний различного типа возбуждения (взрывного, импульсного, вибрационного). Функциональные характеристики и технические параметры сейсмических регистраторов POCA® соответствуют лучшим зарубежным аналогам: ION (Scorpion™, FireFly®), Sercel (428XL), Fairfield (Zland). Эффективность сейсмических работ различной размерности, в том числе при выполнении многокомпонентных наблюдений 3D-3C, можно повысить посредством комплексирования бескабельной системы на базе автономных регистраторов POCA-A с экономичным использованием проводной телеметрической станции POCA, имеющих единый цифровой канал регистрации данных.

Ключевые слова: сейсмическая система наблюдений, телеметрическая станция, автономный регистратор, система синхронизации времени, система сбора в реальном времени, цифровой канал регистрации.

MULTI-DIMENSIONAL FIELD GEOMETRY ON THE BASIS OF THE POCA® FAMILY SEISMIC RECORDERS

O. M. Sagaydachnaya, A. S. Salnikov, A. V. Sagaydachny, A. N. Shmykov, A. V. Vershinin

Telemetry and autonomous POCA® family seismic recorders are developed by the Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (Patents RU NN 2207719, 2244945, 2331087, 2366981, 90223) on the base of new generation components, and enable to implement three-dimensional distributed cable and wireless field geometries with elastic wave sources of various excitation types (explosive, pulse, vibration). Functional characteristics and technical parameters of the POCA® seismic recorders correspond to the best foreign analogues: ION (Scorpion™, FireFly®), Sercel (428XL), Fairfield (Zland). The efficiency of seismic multi-dimensional field geometries, including those for 3D-3C operation, can be improved by interconnecting a wireless geometry based on the POCA-A autonomous recorders with the cost-effective POCA cable telemetry station, which have a common data acquisition digital channel.

Key words: seismic observation system, telemetry station, autonomous recorder, time synchronization system, system of data acquisition in real time, digital recording channel.

Значение геофизических, и прежде всего сейсмических, технологий, которые представляют собой информационную базу для изучения различных глубинных уровней земной коры и оценки энергетических ресурсов, в настоящее время трудно переоценить. Как известно, формирование волнового сейсмического поля – сложный процесс, зависящий от ряда физических явлений, таких как отражение, преломление, поглощение, излучение, рассеяние упругих колебаний, а также слабо выраженные нелинейные трансформации сейсмической энергии. Исследования этих явлений, находящихся в сложной взаимозависимости, актуализируют развитие высокотехнологичных систем сбора сейсмических данных с особо большим количеством каналов регистрации, в том числе точечной группой сейсмоприемников, в широком частотном диапазоне (0,1–1000 Гц).

Современные кабельные системы регистрации сейсмических данных позволяют выполнять

исследования, в том числе по технологии 3D-3C, с улучшенной пространственной дискретизацией и с высокой производительностью [9]. Однако применение телеметрических систем на основе полевых модулей (ADC-Unit) цифровой регистрации, соединенных между собой проводами, по которым передают команды управления и сейсмические данные на центральную станцию, затруднено в сложных геоморфологических условиях и на особо удаленных и больших площадях. С увеличением площади сейсмических работ (свыше 200 км² на одну расстановку) значительно возрастают общее количество линий связи и их суммарный вес и, как следствие, усложняется информационно-измерительная система и увеличивается стоимость дистанционной передачи данных [10, 11]. Более того, поскольку основной причиной снижения производительности труда при работе с кабельными системами регистрации являются простои, связанные с расстановкой и обслуживанием сейсмических линий связи, то в жестких полевых условиях, например зимой при отрицательных температурах (до –40 °С), кабели



довольно часто повреждаются и требуют дорогостоящего технического обслуживания.

Альтернативное решение – использование бескабельной системы сбора сейсмических данных на основе автономных полевых модулей регистрации. Отсутствие проводов между такими модулями дает возможность проектировать оптимальную систему наблюдений в неблагоприятных геоморфологических условиях, что актуально при решении геолого-геофизических задач в заболоченных и таежных регионах России. К тому же бескабельная сейсмическая аппаратура соответствует повышенным требованиям взрывобезопасного исполнения, что позволяет применять ее в особых условиях (например, в шахтах и/или туннелях для обнаружения зон геологических нарушений).

Особо отметим, что достижения последних лет в микроэлектронике и новые технологии (high-tech) сделали возможным переход к автономным беспроводным системам регистрации без радиосвязи [10, 11]. Решающей стала возможность обеспечения сейсмических наблюдений в заданных пунктах приема без предварительной временной привязки с высокой надежностью, которая определяется и автономностью устройства. Посредством GPS-приемника можно

с погрешностью менее 1 мкс синхронизировать работу любого количества регистраторов вне зависимости от продолжительности работы. А современный уровень микроэлектроники позволяет практически снять ограничения на длительность работы, связанной с сохранением больших объемов данных, применяя в качестве энергозависимой памяти промышленные flash-карты емкостью до 32 Гбайт.

Естественно, у автономных систем регистрации есть определенные ограничения. К числу основных можно отнести жесткие требования к энергопотреблению. Необходимость обеспечения режима непрерывной записи в течение 10 сут и более предполагает использование на каждом полевом модуле регистрации аккумулятора и даже двух для гарантии надежной работы или компактных, но достаточно дорогих литий-ионных батарей. Следовательно, увеличиваются общий вес и стоимость системы регистрации и усложняется ее обслуживание. В кабельных телеметрических системах регистрации сейсмических данных стандартный аккумулятор 12 В может запитывать по проводам до 100 каналов в течение нескольких дней.

В настоящей статье рассмотрены характеристики сейсмических наземных пространствен-

Технические характеристики регистраторов

Параметр	РОСА	РОСА-А
Тип	Телеметрический	Автономный
Количество каналов в полевом модуле		4
Аналого-цифровой преобразователь		24 bit (23+sign)
Мгновенный динамический диапазон, дБ		>120
Коэффициент усиления, дБ		0, 6, 12, 18, 24, 30, 36
Общий динамический диапазон, дБ		>146
Интервал дискретизации, мс		0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0
Полоса регистрируемых частот, Гц		0–3200
Точность синхронизации (time standard)	GPS-приемник (1 ppm)	GPS-приемник (1 ppm) + генератор (погрешность частоты 10 ⁻⁸)
Подавление синфазной помехи, дБ		>120
Коэффициент взаимного влияния, дБ		<-120
Коэффициент нелинейных искажений, %		<0,0005 %
Уровень шума, RMS, μ V		>0,16 (при усилении 36 дБ)
Режим записи	В реальном времени	По программируемому расписанию
Способ передачи данных	По проводам (скорость передачи по одной линии связи 16 Мбит/с)	Съемный SD, Ethernet (RAW UDP)
Способ хранения данных	На центральной станции	В полевом модуле: flash-память SD (до 32 Гбайт)
Число каналов регистрации	До 32 000 (1024 на один линейный профиль)	Практически не ограничено
Возможность контроля системы регистрации	Мониторинг в реальном времени на действующей расстановке	Индикация режимов работы регистратора в реальном времени; документирование результатов во встроенной flash-памяти или в реальном времени по Ethernet
Максимальная длительность регистрации (отсчетов на один канал)	32767 (ограничение формата SEG-Y)	10 ⁹ (запись в память), по Ethernet не ограничено
Продолжительность автономной работы, сут	–	> 10



Параметр	РОСА	РОСА-А
Потребляемая мощность в рабочем режиме (на один канал), Вт	< 0,25	< 0,5
Способ питания	Аккумулятор 12 В на 60 каналов (шаг 50 м)	Аккумулятор 12 В на модуль
Масса (без аккумулятора), кг	1,3	1,6
Габариты регистратора, мм	200×98×75	245×98×90
Рабочий диапазон температур, °С	–40...+60	
Исполнение	IP67, допустимо погружение в воду	

но распределенных кабельных и бескабельных систем наблюдений с использованием высокоточных регистраторов семейства РОСА®, разработанных на элементной базе нового поколения в СНИИГГиМСе [1, 2, 4, 6, 8]. Функциональные характеристики и технические параметры сейсмических регистраторов РОСА® соответствуют лучшим зарубежным аналогам [9, 12]: ION (Scorpion™, FireFly®), Sercel (428XL); Fairfield (Zland, ZNodal™systems), Refraction Technology, Inc. (Reftek), OYO Geospace Company (GSR™).

Цифровой канал регистрации РОСА®

Основным параметром, ограничивающим минимальный уровень регистрируемых сигналов, является мгновенный динамический диапазон (МДД) сейсмического канала. Как правило, регистрация данных при МДД ≥ 120 дБ обеспечивает достоверное выделение информативной составляющей в общем потоке информации и, следовательно, возможность исследования энергетически слабо выраженных отдельных элементов сейсмического поля.

В современных сейсмических системах регистрации аналого-цифровой преобразователь (АЦП) построен с применением дельта-сигма-модулятора. В настоящее время не существует достойной альтернативы данному построению цифрового канала регистрации сравнительно медленных процессов, к которым относятся и сейсмические сигналы. Значение частот тактирования (F_{mod}) дельта-сигма-модуляторов для сейсмических сигналов с верхней частотой до 1000 Гц находится в диапазоне от 64 кГц до 1 МГц.

Для достижения высокого значения МДД цифрового канала регистрации предпочтительно применять дельта-сигма-модулятор высокого порядка. Обеспечение требуемого уровня МДД предполагает снижение эффекта наложения спектров, обусловленного дискретизацией сигнала. Для подавления помех наложения используется антиалиасинговый фильтр, порядок которого тем ниже, чем выше отношение F_{mod}/F_d , где F_d – частота дискретизации цифрового потока на выходе АЦП ($F_d = 1/T_{кв}$, где $T_{кв}$ – период квантования).

Особо отметим, что после процедуры дедимации (фильтрации и прореживания) данных провести устранение помех наложения на последующих этапах обработки сейсмических записей невозможно.

Цифровой канал регистрации в сейсмических станциях (телеметрических и автономных) семейства РОСА® построен с использованием дельта-сигма модулятора 4-го порядка CS5372 (Cirrus Logic, Inc.). Микросхема CS5372 имеет особо высокое отношение сигнал/шум в полосе частот до 1000 Гц ($F_{кв} = 512$ кГц). Цифровая фильтрация данных на выходе АЦП выполняется посредством оригинального одноуровневого фильтра короткоимпульсных характеристик (КИХ-фильтра), при вычислениях для уменьшения шумов округления разрядность сумматора выбрана равной 36. Преимущества однократной свертки подобного фильтра в сравнении с множеством последовательно включенных фильтров (многократных сверток), как в CS5376A, заключаются в следующем:

- упрощаются вычисления, поскольку перемножаются коэффициенты фильтра на ± 1 , а не многоразрядные числа;
- фильтр является линейно-фазовым;
- не требуется фазовой синхронизации в начале сеанса.

Нормализованные амплитудно-частотные характеристики КИХ-фильтра цифрового канала РОСА® приведены на рис. 1. Полученные значения МДД превышают 140 дБ на частоту квантования 16 мс, 130 дБ (2 мс), 125 дБ (1 мс), 110 дБ (0,25 мс).

Рассмотрим спектральные характеристики шумов цифрового канала регистрации. Спектральные характеристики аппаратного шума канала регистрации особо важны, поскольку спектральный анализ волнового поля, включая и микросейсмический шум, является классическим инструментом обработки и интерпретации сейсмических данных. Если аппаратные помехи представляют собой малоинтенсивный «белый» шум, то можно расширить спектр сигнальной составляющей волнового поля, не понижая отношение сигнал/шум. Более того, при слабом равномерном шуме цифрового канала регистрации можно увеличить отношение сигнал/шум посредством точечного группирования сейсмоприемников.

Амплитудно-частотные характеристики аппаратных шумов цифрового канала регистрации РОСА® на эквиваленте геофона 510 Ом (значение коэффициента усиления равно 1) показаны на рис. 1, б. Как следует из приведенного графика, аппаратный шум равномерный и малоинтенсивный на частотах до 1 кГц.

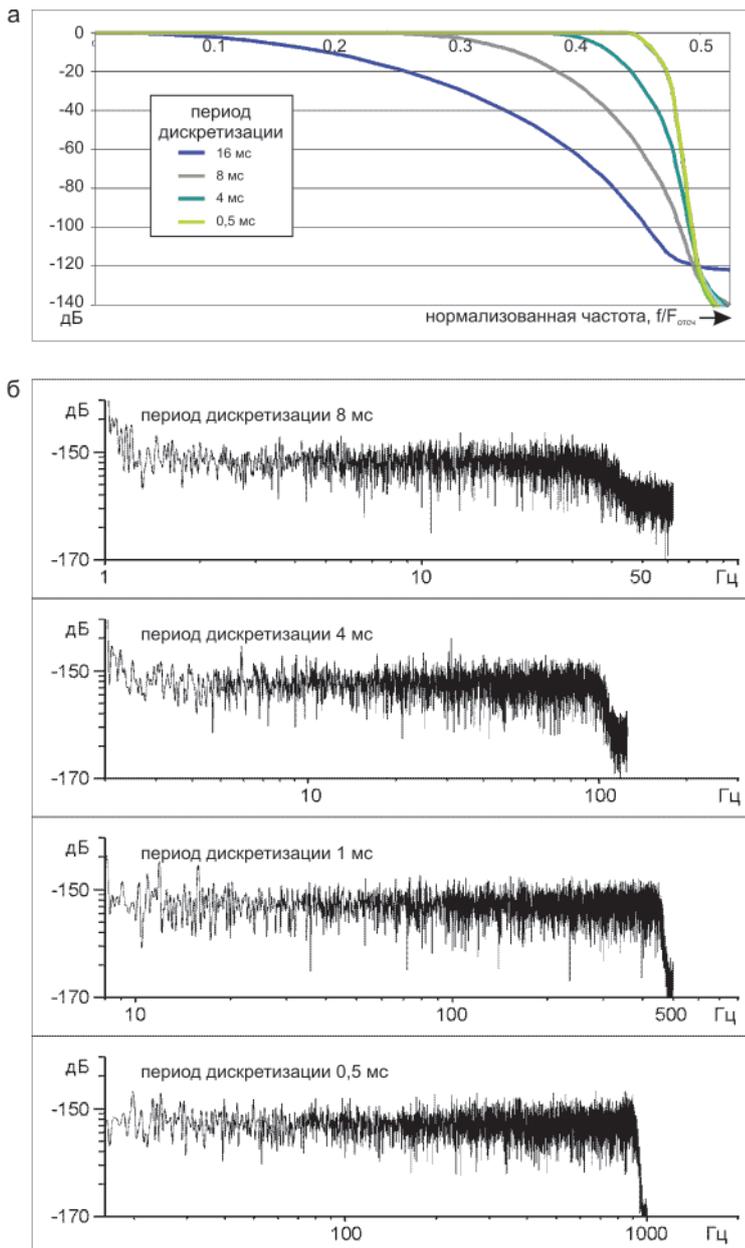


Рис. 1. Характеристики цифрового канала регистрации РОСА®: а – нормализованная амплитудно-частотная характеристика; б – амплитудно-частотные характеристики шумов (на эквиваленте геофона 510 Ом)

соответствует современным требованиям, предъявляемым к аппаратуре аналогового класса. Регистраторы РОСА построены с возможностью подключения многокомпонентного датчика, выполнены на микросхемах с защитой от высоких напряжений. Корпус полевого модуля РОСА сделан из особо прочного алюминиевого сплава с использованием водонепроницаемых разъемов в соответствии с требованием IP67, допускающим погружение в воду. Вес регистратора не более 1,3 кг, что делает удобными его транспортировку и обслуживание.

Центральная станция РОСА – это PC-совместимый компьютер под управлением операционной системы MS Windows. Интерфейс системы РОСА является дружелюбным (привычным), обеспечивает быструю установку и прямой доступ ко всем параметрам съемки. Время настройки системы на режим регистрации данных составляет 64 мс.

Дистанционный оперативный контроль метрологических параметров полевого оборудования станции осуществляется с использованием встроенных средств регистратора (генератора гармонических синфазных и парафазных сигналов и т. п.). Неисправности регистрирующей расстановки локализуются при тестировании технических параметров каналов передачи данных. Собранная статистика позволяет определить место нестабильной работы устройств с точностью до фрагмента линии связи с указанием на два граничных модуля и оперативно произвести соответствующую замену.

Важная отличительная характеристика телеметрической системы РОСА – работа в ведущем, ведомом и пассивном режимах с синхронизацией по спутниковым сигналам точного времени всей расстановки. В режиме «ведомый» осуществляется прием сигналов внешнего запуска, что позволяет организовать работу телеметрической станции РОСА совместно с другой сейсмической регистрирующей системой (отечественной и импортной).

Бескабельная система на базе автономных регистраторов РОСА-А

Автономная станция РОСА-А (рис. 3) предназначена для выполнения сейсмических измерений, в том числе длительных (превышающих 10 сут), в заданных пунктах приема по програм-

Сейсмическая телеметрическая система РОСА

Телеметрическая станция РОСА с высокоскоростным каналом передачи данных в реальном времени – это аппаратно-программный комплекс, объединяющий полевые модули регистрации (4-канальные ADC-Unit), сетевые элементы иерархической структуры сбора данных (HUB-Unit), систему распределенного питания (Power-Battery), кабельное хозяйство (рис. 2).

Сетевая телеметрия системы РОСА позволяет построить пространственно распределенную систему наблюдений различной конфигурации, обеспечивая многоканальную (свыше 10 тыс. рабочих каналов) регистрацию цифровых потоков и их защищенную передачу (команд управления и сейсмических данных) в реальном времени со скоростью до 16 Мбайт/с по одной линии связи.

Уровень исполнения полевых модулей системы регистрации и сбора сейсмических данных

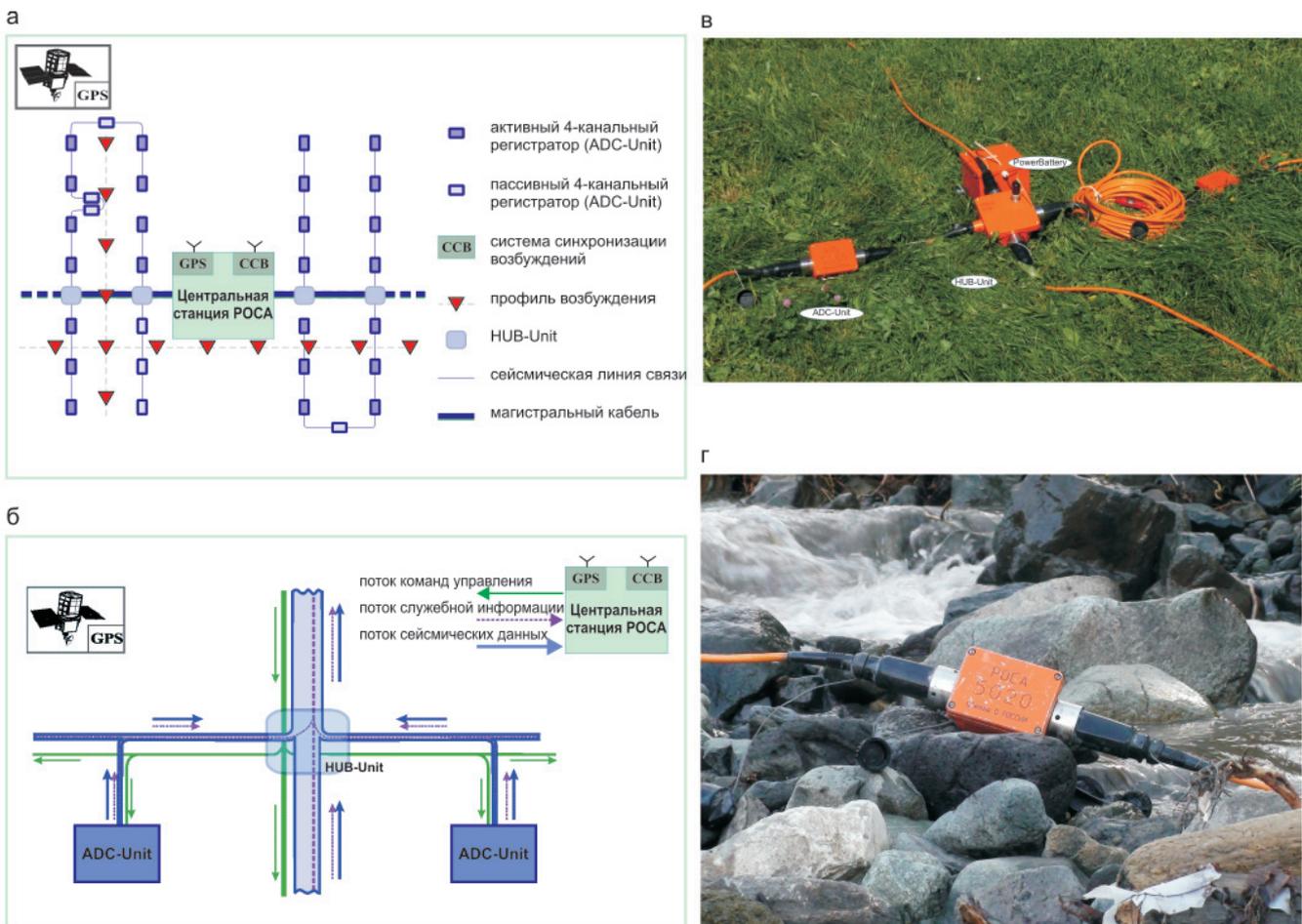


Рис. 2. Сейсмическая телеметрическая система POCA: а – схема площадной системы наблюдения; б – схема телеметрической системы сбора данных; в – элементы полевого оборудования (4-канальный регистратор ADC-Unit, сетевой модуль HUB-Unit, аккумулятор Power-Battery); г – полевой модуль регистрации на профиле (Краснодарский край, 2010)

мируемому расписанию с сейсмическими источниками различного типа возбуждения упругих колебаний (взрывными, импульсными, вибрационными).

Система синхронизации времени, реализованная в регистраторах POCA-A, включает GPS-приемник, прецизионный тактовый генератор и систему автоподстройки. Использование GPS-приемников позволяет получить точность синхронизации не хуже ± 1 мкс. При отсутствии устойчивого приема спутниковых сигналов GPS термостатированный генератор позволяет длительное время работать в автономном режиме с погрешностью менее ± 1 мс/сут.

Для записи сейсмических данных используется твердотельная flash-память объемом до 32 Гбайт. Предусмотрена возможность использования современных съемных накопителей SD-карт в промышленном исполнении, которые можно менять в полевых условиях для считывания без нарушения герметизации устройства. Операция с механическим снятием накопителя позволяет значительно упростить процедуру считывания данных и ускорить ее до нескольких секунд. Кроме того, при выполнении длительных сеансов в режиме сейсмического и сейсмологического мониторинга

можно организовать считывание информации в реальном времени по Ethernet-каналу.

Отличительными характеристиками бескабельной системы с автономными регистраторами POCA-A являются возможность формирования системы наблюдений из практически неограниченного количества пунктов приема и свободный режим работы с сейсмическими источниками. Временная привязка сейсмических записей осуществляется на этапе обработки. Такая организация регистрации и сбора данных позволяет исключить радиоканал синхронизации и телеметрическую систему управления сбора и передачи цифровой информации.

Сейсмические исследования с автономными регистраторами

Глубинные исследования методом сейсмического зондирования (ГСЗ) на удаленностях до 300 км проводились в 2006–2009 гг. с автономными станциями POCA-A на геотраверсах, расположенных на северо-востоке (2-ДВ, 2-ДВ-А) и востоке (3-ДВ) России с взрывными и вибрационными (вибраторы ЦВП-40, производство ГС СО РАН) источниками [5].

В этот же период выполнены сейсмические работы методом ГСЗ, увязывающие морские опор-

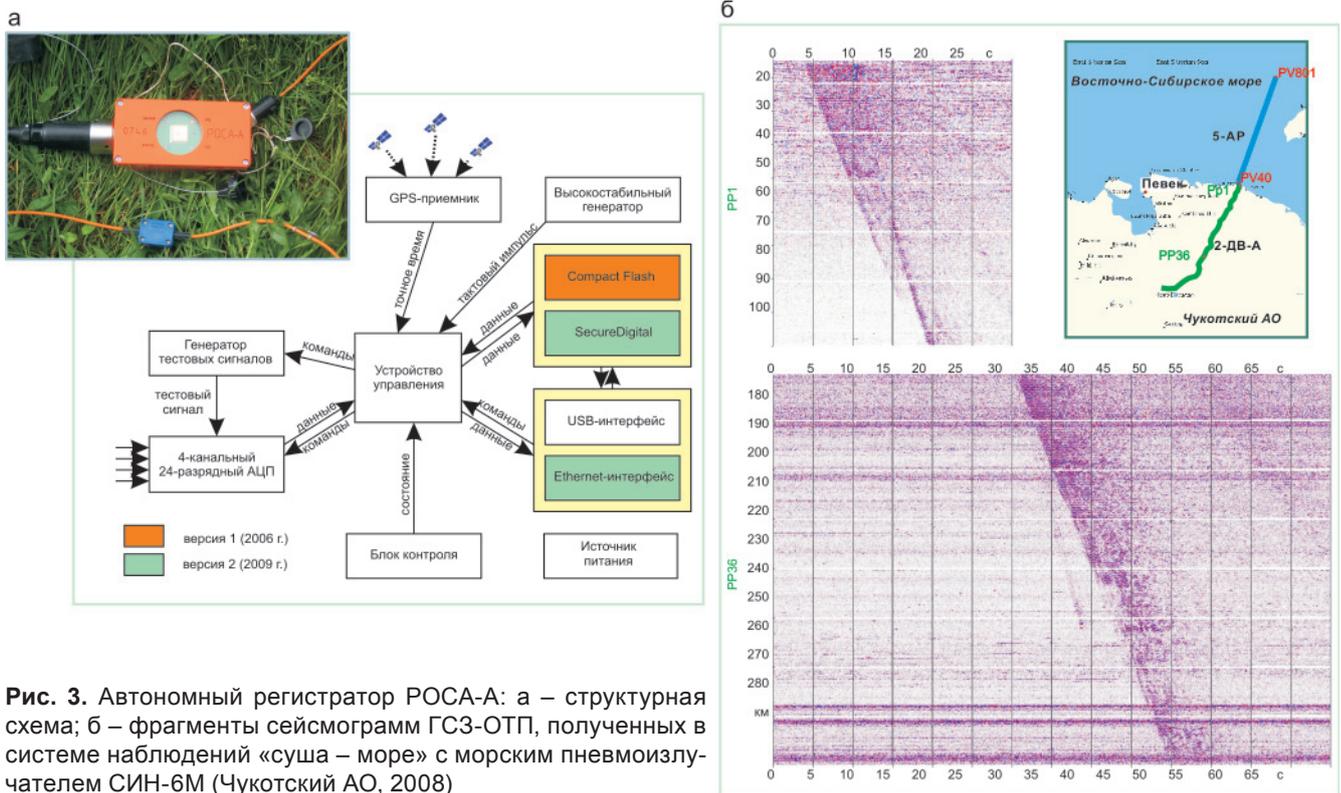


Рис. 3. Автономный регистратор РОСА-А: а – структурная схема; б – фрагменты сейсмограмм ГСЗ-ОТП, полученных в системе наблюдений «суша – море» с морским пневмоизлучателем СИН-6М (Чукотский АО, 2008)

ные профили 2-ДВ-М и 5-АР и сухопутный 2-ДВ (Магаданская обл., Чукотский АО). Возбуждение осуществлялось ФГУНПП «Севморгео» на акваториях Охотского (2006 г.) и Восточно-Сибирского (2008 г.) морей с применением морских пневмоизлучателей СИН-6М (объем 80 л). Автономные регистраторы были запрограммированы на режим непрерывной записи с частотой дискретизации 8 мс. В качестве датчиков использовались сейсмоприемники СВ-5, объединенные в точечную группу из 8 штук. На удалениях до 250–300 км получены сейсмические записи с высоким отношением сигнал/помеха, достаточным для выполнения специальной обработки и интерпретации волновых полей (см. рис. 3, б).

Данные работы показали, что технология глубоких сейсмических исследований с использованием системы наблюдения с многократными перекрытиями и регистрацией автономными станциями эффективна и экономически выгодна в обоих вариантах – наземном и «суша – море».

Детальные исследования по сейсмическому «просвечиванию» угольных пластов проведены в шахтах Кузбасса ОАО НЦ ВостНИИ (Кемерово) в 2008–2010 гг. с целью обнаружения зон геологических нарушений в угольных пластах. Важнейшим условием использования бескабельной системы сбора и регистрации сейсмических данных с автономными регистраторами РОСА-А в шахтах является обеспечение высокоточной синхронизации при отсутствии спутниковых сигналов.

Полевая методика работ включала систему многократных перекрытий на проходящих волнах,

при которой возбуждение сейсмических колебаний осуществлялось с использованием импульсного источника (ударного типа) из параллельного (конвейерного) штрека. Реализация такой схемы работ с автономными регистраторами имеет важное преимущество: отсутствие проводных линий между пунктами возбуждения и приема, находящимися в разных штреках. Динамический диапазон сейсмического канала станции и система временной привязки (реальная погрешность при 8-часовом рабочем дне примерно сотни микросекунд) позволили получить качественный материал на частоте дискретизации 0,5 мс в условиях высокого уровня микросейсм от работающих механизмов [12].

Таким образом, данные работы показали, что бескабельная сейсмическая система РОСА-А позволяет провести детальные инженерно-геофизические исследования в шахтах с минимизацией рисков по охране труда в условиях неустойчивого приема спутниковых сигналов.

Сейсмический мониторинг по методике пассивных наблюдений на нефтяных месторождениях проводится для оптимизации условий максимально полного извлечения нефти при минимизации эксплуатационных затрат. В зимний сезон 2008 г. на нефтяном месторождении (Ханты-Мансийский АО) по методике пассивных наблюдений Югорским НИИ информационных технологий выполнены работы с использованием автономных станций РОСА-А и Reftek (США) [3]. Обработка записей микросейсмических шумов во время перфорации (до и во время воздействия на пласт гидравлическим давлением) обеспечила определение зоны разуплотнения геологической среды, что



позволило оптимизировать разработку нефтяной залежи.

Сейсмические исследования по методике пассивных наблюдений в эпицентральной зоне разрушительного Чуйского землетрясения 2003 г. с автономными регистраторами РОСА-А проводились в 2007–2010 гг. совместно с ИНГГ СО РАН (проект РФФИ № 05-05-64503). Экспериментальные работы в трещиноватой зоне осуществлены с использованием малоапертурных расстановок сейсмической системы регистрации микросейсмического процесса в широком диапазоне частот [7]. Показано, что сейсмическая активность территории в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения 2003 г. продуцируется не только афтершоковым процессом, но и более слабыми событиями, эпицентры которых сосредоточены непосредственно на площади развития визуально наблюдаемых разрушений.

О построении многомерных систем сейсмических наблюдений на основе автономных и телеметрических регистраторов

Использование наземных бескабельных систем регистрации сейсмических данных наряду с телеметрическими проводными станциями традиционной архитектуры обеспечивает дополнительные технологические возможности для сейсмических исследований. Целесообразно комплексирование сейсмических кабельных телеметрических (сбор данных в реальном времени) и бескабельных систем на основе регистраторов семейства РОСА®, имеющих единый измерительный канал.

Одним из перспективных направлений комплексного применения бескабельных и кабельных систем является возможность одновременной (совмещенной) регистрации на нескольких расстановках (базах наблюдения) (рис. 4) для решения следующих задач:

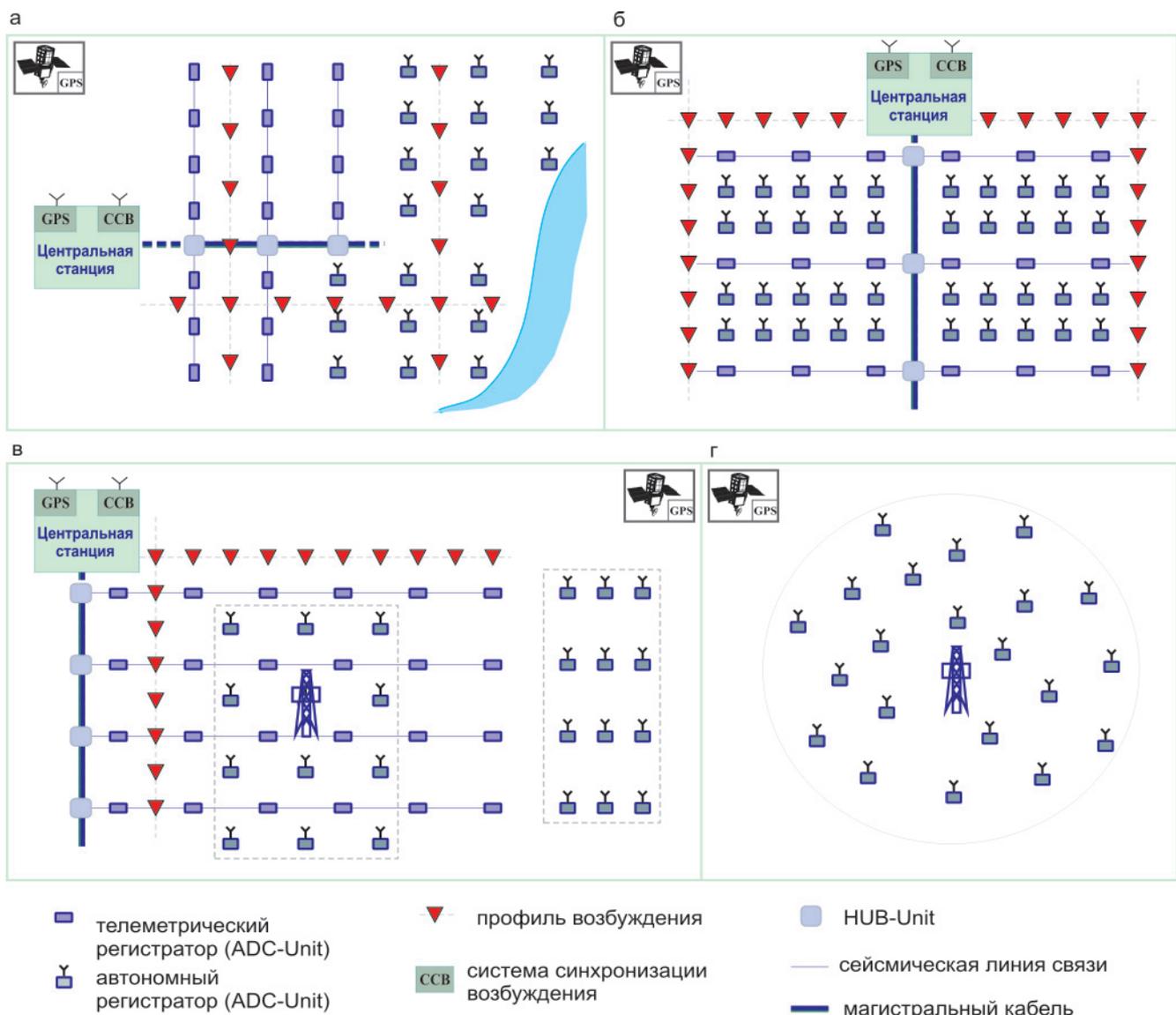


Рис. 4. Схемы пространственно распределенных систем наблюдения с телеметрическими и автономными регистраторами: а, в – в особо сложных геоморфологических условиях и на больших удалениях; б – для совмещенной (одновременной) записи однокомпонентных (1С) и многокомпонентных (3С) данных; г – сейсмический мониторинг (пассивный и активный)



– локальное увеличение кратности наблюдения на площади, например около скважины и/или для детального изучения верхней части разреза;

– организация одновременной записи однокомпонентных (1С) и многокомпонентных (3С) данных с использованием различного типа датчиков (аналоговых и/или цифровых);

– обеспечение сейсмических работ в особо сложных геоморфологических условиях, например на заболоченных участках, или на больших удалениях;

– выполнение сейсмического мониторинга (активного и пассивного), обеспечение организации непрерывной записи микросейсмического процесса (пассивный сейсмический мониторинг).

Опробованная на опорных профилях Северо-Востока России в режиме выполнения производственных работ технология ГСЗ (система наблюдений «суша – суша» и «суша – море») с применением автономных регистраторов и источников упругих колебаний различного типа возбуждения (взрывной, импульсный и вибрационный) является эффективной и экономически выгодной. Отметим, что наземная бескабельная сейсмическая система наблюдений с автономными станциями РОСА-А обеспечивает регистрацию информации по программируемому расписанию без радиоканала и телеметрической системы управления.

Проведение сейсмического (активного и пассивного) мониторинга (4D) на этапе разведки, доразведки и/или эксплуатации нефтяных месторождений с использованием бескабельной системы на основе автономных регистраторов экономически целесообразно. Бескабельная система обеспечивает практически абсолютную гибкость в отношении требований о расстояниях между пунктами наблюдения, распределенными с переменной плотностью по площади исследований, при этом исключается неработоспособность сети сбора из-за неисправности одного полевого элемента (регистратора).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автономный** регистратор сейсмических сигналов [Текст]: пат. 2331087 Российская Федерация / О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. С. Сальников [и др.]. – Приоритет от 09.01.2007 ; опублик. 10.08.2008, Бюл. № 22.

2. **Автономный** регистратор сейсмических сигналов и устройство автоматической настройки и коррекции тактовой частоты автономного регистратора сейсмических сигналов [Текст] / пат. 2366981 Российская Федерация / А. Н. Шмыков, О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный,

А. С. Сальников. – Приоритет от 08.04.2008; опублик. 10.09.2009, Бюл. № 25.

3. **Бескабельная** система регистрации РОСА-А – техническая основа активного и пассивного сейсмического мониторинга [Текст] / О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков // 5-я международная выставка «НЕДРА-2008». Тез. науч.-техн. конф. «Технико-технологическое обеспечение геологоразведочных работ. Проблемы и перспективы»: Официальный каталог ВВЦ. – М., 2008.

4. **Многоканальная** телеметрическая система сбора сейсмических данных [Текст]: пат. 2244945 Российская Федерация / О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. Н. Шмыков, А. В. Щегольков. – Приоритет от 01.08.2003 ; опублик. 20.01.2005, Бюл. № 2.

5. **Полевые** сейсмические работы на опорных профилях северо-востока России [Текст] / А. С. Сальников, О. М. Сагайдачная, А. В. Липилин [и др.] // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2009. – № 2.

6. **Сейсмическая** система сбора данных на основе регистраторов семейства РОСА [Текст] / О. М. Сагайдачная, А. В. Сагайдачный, А. С. Сальников, А. Н. Шмыков // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8.

7. **Технология** и результаты исследований сейсмического шума в зоне главного разрыва разрушительного Чуйского землетрясения 2003 года [Текст] / В. А. Куликов, О. М. Сагайдачная, К. А. Дунаева [и др.] // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2008. – № 2.

8. **Устройство** фазовой автоподстройки тактовой частоты аналого-цифровых преобразователей в многоканальных системах сбора сейсмических данных [Текст]: пат. 2207719 Российская Федерация / А. Н. Шмыков, А. В. Сагайдачный, О. М. Сагайдачная, А. В. Щегольков. – Приоритет от 28.05.2002 ; опублик.: 27.06.2003, Бюл. № 18.

9. **A distributed data recording system as a basis for modern seismic research technologies** [Text] / O. M. Sagaidachnaya, A. V. Sagaidachny, A. S. Salnikov [et al.] // 69th EAGE Conference & Exhibition. – London, 2007. – Abstracts P187.

10. **Flavell Smith, J.** How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born [Text] / J. Flavell Smith // FIRST BREAK. – 2006. – February, Vol. 24.

11. **Mougenot, D.** Land cableless systems: use and misuse [Text] / D. Mougenot // FIRST BREAK : An EAGE Publication. – 2008. – February, Vol. 28.

12. **Seismic** channel basic characteristics for weak signal registration by point group of geophones [Text] / O. M. Sagaidachnaya, A. S. Salnikov, A. V. Verzhinin [et al.] // 72th EAGE Conference & Exhibition. – Barcelona, 2010. – Abstracts P292.