

Полевые сейсмические работы на опорных профилях северо-востока России

северо-востока России

Сальников А.С., Сагайдачная О.М., ФГУП «СНИИГГиМС, г.Новосибирск
Липилин А.В., Роснедра РФ, г.Москва
Сулейманов А.К., ОП «Спецгеофизика» ГФУП «ВНИИГеофизика», г.Москва
Соловьев В.М., АСФ ГС СО РАН, г.Новосибирск
Рослов Ю.В., ФГУНПП «Севморгео», г.Санкт-Петербург

Введение

Введение
Северо-восток России относится к районам наи-
более слабо изученным геофизическими, в том
числе сейсмическими методами.

В 2000 г. были начаты комплексные геолого-геофизические исследования вдоль опорного профиля 2-ДВ (п-ов Кони - о. Врангеля) для построения модели всех слоев земной коры, максимально адекватной реальной геологической среде, а также развитых в регионе структурно-формационных зон, взаимоотношение которых и предопределяет закономерности пространственного распределения полезных ископаемых. Полевые геофизические работы на опорном профиле 2-ДВ были завершены в 2006 г. и продолжены в 2007-2008 гг. на опорном профиле 2-ДВ-А (Певек - Валунистое - Анадырь - Хатырка). Дополнительно в 2008 г. были выполнены глубинные сейсмические исследования на акватории Восточно-Сибирского моря и прилегающей части континента (Чукотский АО).

Глубинные исследования строения Земли на опорных профилях проводятся наземной геофизикой с использованием комплекса методов (сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка и электроразведка), в составе которого региональная сейсмометрия занимает ведущее место [3]. Новые сейсмические данные на отраженных и преломленных волнах, полученные методом общей глубинной точки (МОВ-ОГТ), методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и корреляционным методом преломленных волн (КМПВ), составляют фундаментальную фактологическую основу геолого-геофизических построений глубинной модели земной коры.

В обязательном порядке на всех опорных геолого-геофизических профилях, в том числе и на геотрассировках 2-ДВ и 2-ДВ-А, были выполнены магнитотеллурические зондирования в трёх различных модификациях: глубоинной (ГМТЗ), среднеглубинной (МТЗ) и малоглубинной (АМТЗ) [9]. Заметим, что на Чукотском отрезке профиля 2-ДВ, где отсутствовали гравиметрические карты масштаба 1:200000, была проведена площадная аэрогравиметрическая съёмка в 50-ти километровой полосе профиля.

Общая характеристика района работ

Опорный геолого-геофизический профиль 2-ДВ (п-ов Кони — о. Врангеля, общей протяженностью около 2100 км) пересекает с юго-запада на северо-восток Магаданскую область и Чукотский автономный округ в интервале координат 59° — 68° северной широты, 150° — 174° восточной долготы. Опорный геолого-геофизиче-

ский профиль 2-ДВ-А (Певек - Валунисто - Анадырь - Хатырка), общей протяженностью около 1100 км, в целом ориентированный в юго-восточном направлении, проходит от побережья Чунской губы (г. Певек) в юго-восточном направлении до г. Анадырь, далее в южном направлении до побережья Берингового моря. Для увязки морского опорного профиля 5-АР (м. Биллингс - ВГКШ-2005) с сухопутным опорным сейсмическим профилем 2-ДВ и изучения земной коры в транзитной зоне «суша-море» был отработан методом ГСЗ профиль «р. Паляваам - м. Биллингс». Обзорная схема сейсмических работ на опорных профилях 2-ДВ, 2-ДВ-А приведена на рисунке 1.

В физико-географическом отношении трассы рассматриваемых опорных профилей проходят по сильно пересеченной и заболоченной местности, в долинах рек и ручьев, низкогорной и горно-таежной местности (наблюдаются абсолютные отметки от + 50 до + 1800 м). Климат района характеризуется как резко континентальный и (или) субарктический, при котором температура воздуха в зимний период (декабрь – январь) достигает минус 56°С. Снежный покров на севере держится с конца сентября по начало июня.

Крупными населенными пунктами в районе работ являются следующие города: Магадан (южное начало профиля 2-ДВ), Атка, Мякит, Билибино, Певек (начало профиля 2-ДВ-А), Анадырь, а также поселки Купка, Омолон, Ангарка, Алискерово, Комсомольский.

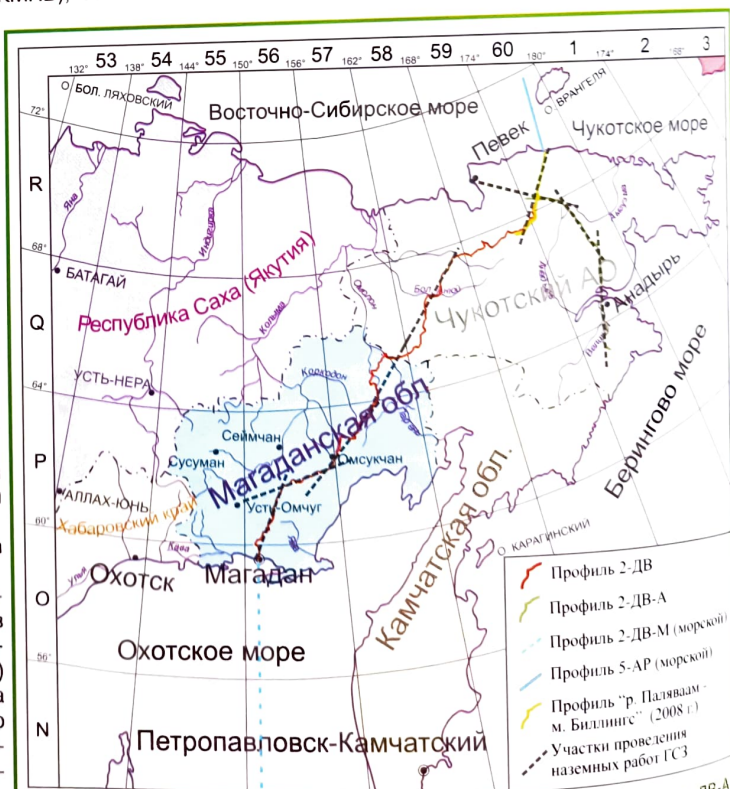


Рис. 1. Обзорная схема сейсмических работ на опорных профилях 2-ДВ, 2-Д



Автомобильная сеть развита только на юго-западном участке профиля 2-ДВ (0 – 600 км). На отрезке г. Магадан – п. Омсукчан профиль проходит вдоль трассы, движение по которой возможно круглогодично. От п. Омсукчана до г. Билибино нет развитой инфраструктуры дорог, поэтому движение колесного вездеходного и гусеничного транспорта осуществлялось по косам некоторых водотоков. В зимний период передвижение гусеничного транспорта и колесной техники высокой проходимости выполнялось в сопровождении тракторов по заранее проложенному зимнику. От п. Билибино до прииска Комсомольский проложена дорога, которая поддерживается в рабочем состоянии и в летний период. На отрезке профиля от г. Певек до месторождения Валунистое (общей протяженностью около 500 км) профиль 2-ДВ-А проходит вдоль трассы, по которой движение автотранспорта осуществляется до конца профиля 2-ДВ-А (протяженности участка более 600 км) передвижение гусеничного транспорта и колесной техники высокой проходимости осуществлялось в сопровождении тракторов по заранее проложенному зимнику. На участке проведения работ «суша-море» (прииск Комсомольский – мыс Биллингса) дорожная сеть отсутствует полностью.

Сейсмические исследования на отраженных и преломленных волнах методами ОГТ и КМПВ проводились в районе с дорожной сетью в весенне-летний период и по бездорожью – в зимне-весеннее время. Сейсмические исследования методом ГСЗ проводились в весенне-летнее время.

Полевые сейсмические работы методами МОВ-ОГТ + КМПВ выполнялись сейсмической партией №5 ОП «Спецгеофизика» ГФУП «ВНИИГеофизика», (г. Москва), методом ГСЗ – АСФ ГС СО РАН и ФГУП «СНИИГТИМС» (г. Новосибирск). Глубинные исследования по системе наблюдений «суша – море» проведены совместно ФГУП «СНИИГТИМС» (г. Новосибирск) и ФГУ НПП «Севморгео» (г. Санкт-Петербург).

Основным сейсмическим методом на опорных геофизических профилях является метод многократных перекрытий на отраженных волнах МОВ-ОГТ, который применяется в некоторых случаях в комплексе с работами по методике КМПВ с использованием докритических и закритических отраженных, рефрагированных и головных волн. Данная комбинированная методика полевых сейсмических работ достаточно проработана и апробирована на

опорных профилях в европейской части России (профиль I-ЕВ) и на Сибирской платформе (профили 1-СБ, 2-СБ, 3-СБ). Результаты её применения известны и опубликованы в ряде научных журналов.

Сейсмические работы методом ГСЗ начали выполняться на опорных профилях с 2001 г., расположенных на северо-востоке России. Практически с этого времени началось возрождение метода ГСЗ в нашей стране на основе современных уникальных технических средств российского производства. Поэтому в настоящей статье полевым работам ГСЗ уделено особое внимание.

Техническое обеспечение сейсмических исследований МОВ-ОГТ + КМПВ

На первоначальном этапе глубинных сейсмических исследований (период 2000 – 2001 гг.) при проведении полевых работ использовалась комбинированная система наблюдений МОВ-ОГТ – вибро (вибрационный источник) + КМПВ (взрывной источник (ВВ) и вибро) + ГСЗ (ВВ), которая должна была обеспечить совместную регистрацию продольных волн разного типа на удалениях от 0 до 250 км и более. Методика полевых работ была выбрана на основе экспериментальных исследований по изучению особенностей волнового поля в диапазоне времен 0 – 25 с и удалениях 0 – 250 км, выполненных на двух участках профиля 1-ЕВ (II и III этапы), где впервые была успешно опробована комбинированная система наблюдений, состоящая из трех подсистем: МОВ-ОГТ-вибро, КМПВ-ВВ, ГСЗ-ВВ, в модификации монотипных продольных волн. Комбинированная система наблюдений (МОВ-ОГТ, КМПВ, ГСЗ) применялась для комплексного изучения глубинного строения земной коры, её скоростных характеристик, позволяющим по изменению характера волнового поля уточнить структуру отдельных блоков.

Опыт проведения полевых сейсмических работ в 2001 г. (I – III квартал) показал их низкую технологичность при использовании комбинированной системы наблюдений МОВ-ОГТ-вибро + КМПВ-ВВ-вибро + ГСЗ-ВВ, прежде всего из-за взрывного типа возбуждения упругих колебаний в скважинах. Кроме того, была установлена практическая несовместимость одновременного проведения работ методом ОГТ+КМПВ на малых и средних дистанциях (от 0 до 30-40 км) и методом ГСЗ на больших удалениях (от 50 до 250 км), тем более с применением многоканальных телеметрических сейсмостанций, у которых расстояние между каналами было ограничено 50 м.

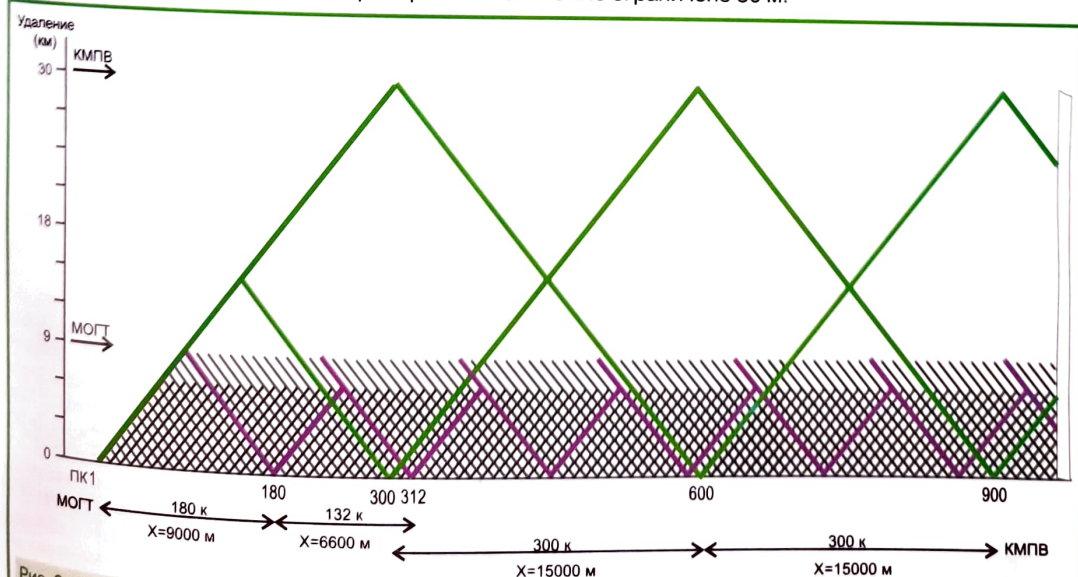


Рис. 2. Параметры комбинированной системы наблюдений МОВ-ОГТ+КМПВ-вибро (профиль 2-ДВ)

Из теоретического анализа излучателей вертикальной силы воздействия [8], к которым относится и вибратор, следует, что при выборе соответствующих параметров зондирующих сигналов, можно добиться оптимального возбуждения сейсмических волн в докритической и закритической областях их образования. С целью практического обоснования замены взрывных способов возбуждения на альтернативные - с использованием вибраторов повышенной мощности, в начале работ были проведены специальные полевые эксперименты. Опытные работы были проведены на расстановке КМПВ длиной 39,1 км с использованием группы из пяти вибраторов СВ-20-150 МТК, обеспечивающей общее пиковое усилие 65 т. Получены следующие важные результаты:

- использование взрывов в скважинах и вибраторов показывает практическую временную идентичность прослеживания первых волн на удалениях до 30 км;
- амплитуда сейсмических сигналов при вибрационном излучении имеет достаточный уровень и выдержана с изменением удаления, как в докритической, так и в закритической области образования первых волн;
- применение виброисточников с пиковым усилием на грунт 50-60 т при длительности свип-сигнала 20-30 с и частотном диапазоне 12-48+60 Гц обеспечивает уверенную прослеживаемость первых волн до удалений 30-40 км.

Таким образом, полученные материалы КМПВ с сейсмическими вибраторами показывают возмож-

ность получения качественных данных на расстояниях до 40 км при применении стандартной полевой методики. Более того, возможно получение полевой аппаратурным комплексом (при условии увеличения количества накоплений сеансов зондирования и длительности свип-сигнала, а также оптимизации частотного диапазона излучения) первые вступления на сейсмограммах до удалений 50-60 км. В связи с этим, начиная с 2002 г., сейсмические работы методами ОГТ и КМПВ выполнялись отдельно от работ по методу ГСЗ.

При проведении профильных исследований МОВ-ОГТ-вибро + КМПВ-вибро использовалась комбинированная система наблюдений (рис. 2) с использованием докритических и закритических отраженных, рефрагированных и головных волн [1, 10].

Исследования МОГТ выполнялись по методике 78-кратного перекрытия с максимальным удалением 8950 м. Граничные частоты и длительность свип-сигнала составляли 12-48 Гц и 24 с, соответственно, общее время регистрации 49 с.

Исследования КМПВ выполнялись по методике 2-х кратного профилирования с максимальным расстоянием между пунктами приема и пунктами возбуждения (ПВ-ПП) - 30 км и шагом ПВ - 12-15 км. Обрабатывался свип-сигнал в полосе частот 12-48 Гц длительностью 24 с, время регистрации - 25 с.

Основу регистрирующего аппаратурного комплекса составляла телеметрическая станция: 1/0-2 (500 каналов). В начале каждого полевого сезона и в конце работы проводилось тестирование полевого оборудования (LAT). Метрологическое обеспече-



Рис.3 Глубинный разрез земной коры по данным ОГТ (фрагмент профиля 2-ДВ)

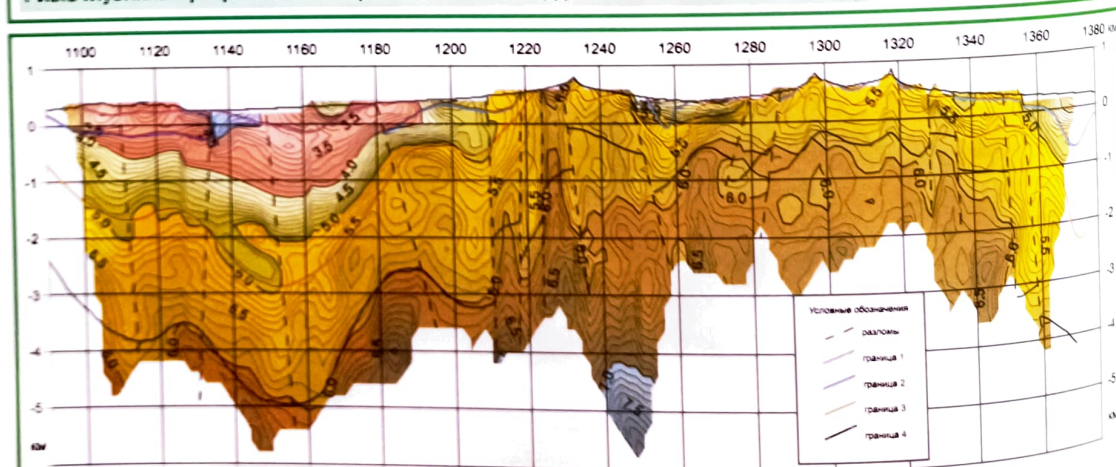


Рис.4. Сейсмический разрез верхней части земной коры по данным КМПВ (фрагмент профиля 2-ДВ)



Рис.5. Передвижной (сборно-разборный) вибратор дебалансного типа ЦВП-40

ние осуществлялось программным путем в соответствии с Руководством по использованию телеметрической системы и полевого оборудования. При этом обязательно тестировались следующие технические параметры: общий динамический диапазон регистрирующей системы; уровень шумов на входе; взаимные влияния между каналами; уровень помех на расстановке; работоспособность сейсμοприемников. Контроль каждого вибрационного сеанса зондирования выполнялся компьютеризированной системой PELTON, которая позволяла определять фазовые и амплитудные искажения свип-сигнала и уровень субгармоник. Данные по синхронизации работы вибраторов (Vib.sig) ежедневно записывались в виде текстового файла.

Для контроля качества полученного полевого материала, на сейсмостанции производился вывод каждой корреляционной сейсмограммы КМПВ и каждой 20-й корреляционной сейсмограммы ОГТ (не менее 8,0 с).

Примененная методика полевых наблюдений ОГТ + КМПВ позволила получить достоверную сейсмическую информацию для построения глубинной модели земной коры и верхов мантии (до 60 - 80 км) по данным отраженных волн (рис. 3) и верхней части вулканогенно-осадочного слоя (глубины до 3 - 5 км) по данным преломленных волн (рис. 4). Вместе с тем, недостаточная длина годографов КМПВ (до 30км) не позволила зарегистрировать в первых вступлениях преломленную волну от поверхности кристаллического фундамента, который по геолого-геофизическим данным залегает в этом регионе на глубинах от 3 - 5 до 15 - 17 км.

Техническое обеспечение глубинных сейсмических исследований ГСЗ

Начиная с 2002 г. глубинные сейсмические исследования методом ГСЗ выполнялись с использованием мощного передвижного (сборно-разборного) виброисточника ЦВП-40 [2], распределенных больших взрывов в водоёмах и цифровых малока-

нальных (от 3 до 24 каналов) сейсмостанций, дискретно распределенных вдоль профиля.

Координаты системы наблюдений (пункты возбуждения (ПВ) и пункты установки сейсμοприемников (ПП)) определялись с использованием GPS-приемников серии GARMIN (76, 60, 3PLUS).

В пределах опорного профиля 2-ДВ было отработано пять квазипрямолинейных профилей ГСЗ (рис. 1), каждый протяженностью свыше 350 км:

- г. Магадан - п. Усть-Среднекан, 2002 г.;
- п. Усть-Омчуг - р. Герба - р. Омсукчан, 2003 г.;
- р. Омсукчан - верховье р. Левый Кедон, 2004 г.;
- р. Коргодон - п. Омолон - р. Олой, 2005 г.;
- п. Омолон - р. Мал.Аной, 2006 г.

Вдоль опорного профиля 2-ДВ-А отработано три участка ГСЗ (рис. 1), каждый протяженностью более 300 км:

- Певек - Дальнее, 2007 г.;
- Дальнее - Валунистое, 2007 г.;
- Валунистое - Анадырь - Хатырка, 2008 г.

При работах ГСЗ была реализована методика точечных (дифференциальных) сейсмических зондирований с использованием нескольких десятков сейсмических регистраторов с сейсмическими косами различной протяженности (от 500 до 3000 м). Расстояния между регистрирующими станциями на профилях изменялись от 2-3 км (участок профиля г. Магадан - п. Усть-Среднекан) до 10-15 км. В среднем они составляли 7-12 км.

Возбуждение упругих колебаний

На профилях г. Магадан - п. Усть-Среднекан, п. Усть-Омчуг - р. Герба - р. Омсукчан, в южной части профиля р. Омсукчан - верховье р. Левый Кедон, Певек - Дальнее, Дальнее - Валунистое осуществлялось вибрационное возбуждение упругих колебаний. Был применён передвижной вибросейсмический комплекс на базе дебалансного вибратора ЦВП-40 (рис. 5), разработанного Сибирском отделении РАН [4]. Вибратор ЦВП-40 с пиковой амплитудой силы воздействия, равной 400 кН, позволяет

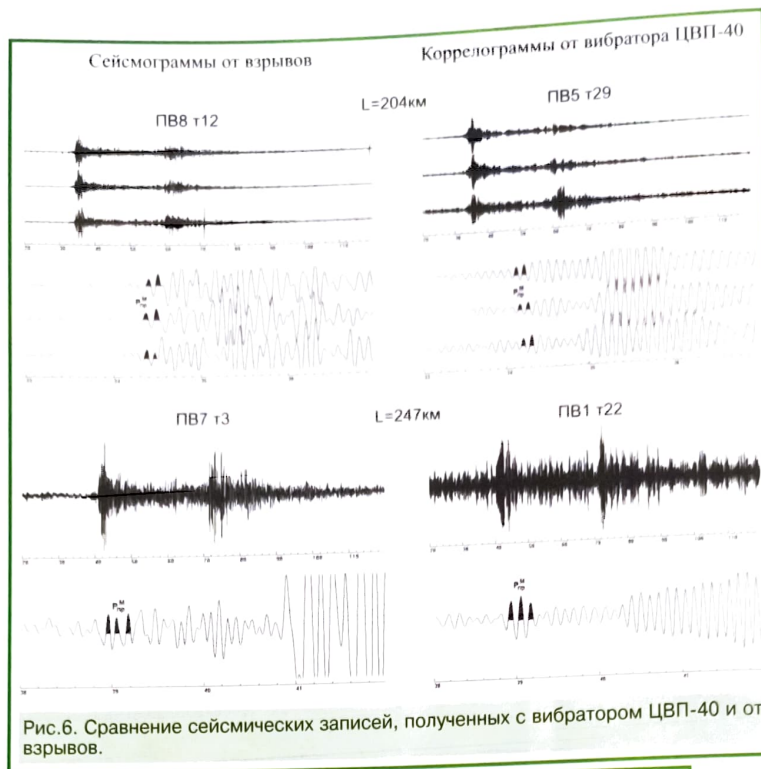
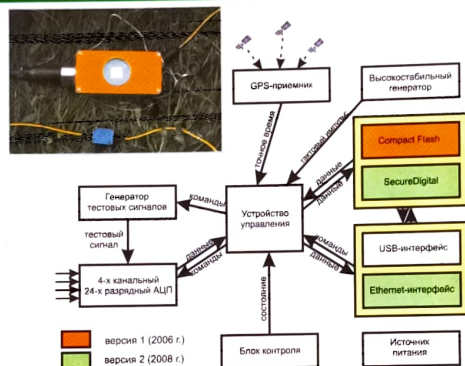


Рис.6. Сравнение сейсмических записей, полученных с вибратором ЦВП-40 и от взрывов.



Параметры	POCA-A
Тип	автономный
Количество каналов	4
Аналого-цифровой преобразователь	24 - bit
Интервал дискретизации, мс	0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0
Полоса регистрируемых частот	0-3200 Гц
Мгновенный динамический диапазон	135 дБ (16 мс); 130 дБ (4 мс), 125 дБ (1 мс)
Коэффициент усиления, дБ	0,6,12,18,24,30,36
Общий динамический диапазон	более 146 дБ
Коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%
Коэффициент взаимного влияния (между каналами)	менее -110 дБ
Уровень шума, RMS (действующее значение напряжения шума канала, приведенное ко входу при заданном усилении)	менее 0,16 мВ (при 36 дБ)
Способ питания - аккумулятор, потребляемая мощность на канал в рабочем режиме	менее 0,45 Вт
Габариты регистратора	245x105x70 мм
Масса регистратора	1,6 кг
Рабочий диапазон температур	от -40 до +60 °C
Количество пунктов наблюдения	практически не ограничено
Погрешность синхронизации GPS, мкс	< 1
Объем энергонезависимой памяти, Гб	2 - 16
Нестабильность частоты опорного генератора	< 10 ⁻⁸
Время автономной работы, суток	более 10
Исполнение	Ip67, допустимо погружение в воду

Рис.7. Автономная сейсмическая станция POCA-A: а - общий вид и структурная схема регистратора; б - технические характеристики

получить сейсмические, сравнимые с теми сейсмограммами значительных удалений (до 300 км).

Блочная сборочная конструкция виброисточника обеспечивает доступность технологических операций по его обслуживанию. Виброисточник, общий вес которого составляет около 60-ти тонн, делится на отдельные блоки весом 4 - 6 т. Перевозка осуществляется автомашинами типа КАМАЗ или КРАЗ, погрузка оборудования проводится с использованием автокрана грузоподъемностью 10 т. Процесс организации работ со сборно-разборным вибратором можно разбить на следующие основные этапы:

- демонтаж виброисточника, включающего пригруз, силовую камеру, систему управления, питания, вспомогательное оборудование;
- транспортировка виброисточника;
- монтаж виброисточника на

новом месте;

- пуско-наладочные работы;
- проведение опытных сеансов регистрации на контрольных расстояниях.

Демонтаж оборудования и монтаж на новом месте занимает около 5 часов (без учета времени на транспортировку). Дизельэлектростанция (ДЭС-100) прицепляется к автомобилю ЗИЛ 131, в кузове которого располагается система управления с комплектом электрокабелей. Для обеспечения безопасного проведения работ виброисточник, дизельэлектростанция и система управления располагаются примерно на расстоянии 35 - 45 м друг от друга.

При отработке Южно-Магаданского участка длительность вибросейсмических сеансов составляла около 50 минут, частотный диапазон управляющего сигнала вибратора находился в интервале 7.031 - 10.547 Гц. Для уменьшения шумовых помех выполнялось накопление отдельных сеансов (от 2-3 до 10-12). По этой же причине рабочий сеанс виброндирования проводился в ночное время суток. Помимо повышенного фона помех, обусловленного близким расположением трассы, качество полевого материала существенно зависит от спектра зондирующего сигнала вибрационного источника. Известно в частности, что на жестких грунтах спектр зондирующего сигнала может резко сужаться - становиться крайне узкополосным. Это является закономерным следствием резонансной системы возбуждения упругих колебаний мощными дебалансными вибраторами. Применение обратного свипа-сигнала с убывающей частотой или развёрткой вниз (down-sweep-signal) позволило

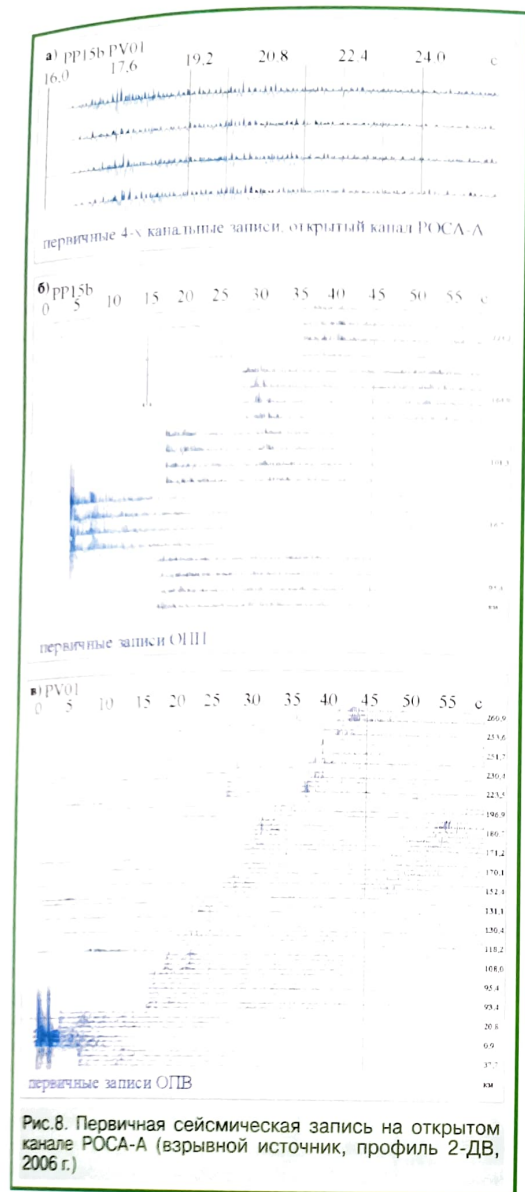


Рис.8. Первичная сейсмическая запись на открытом канале РОСА-А (взрывной источник, профиль 2-ДВ, 2006 г.)

расширить полосу частот вибрационного сигнала излучения на жестких породах и увеличить разрешенность полевых записей в дальней зоне. Примеры типичных записей сейсмических колебаний от передвижного виброисточника приведены на рис. 6.

В последующем при проведении работ ГСЗ с вибрационным источником был учтен опыт начального периода исследований на Южно-Магаданском участке. Прежде всего, так как при интерпретации полевого материала 2002 г. было определено, что видимые частоты основных групп опорных волн соответствуют диапазону частот 7 – 11 Гц, был несколько расширен спектр управляющего сигнала излучения вибратора в область высоких частот (7.519-11.035 Гц). Были выполнены и определенные технические усовершенствования источника. В частности, были введены специальные конструкции анкеров для крепления вибратора с грунтом и др.

В северной части профиля р. Омсукчан - верховье р. Левый Кедон и на профилях р. Коркодон - п. Омолон - р. Олой, п. Омолон - р. Мал.Ануй, Валунистое-Анадырь-Хатырка и частично на профилях Певек - Дальнее и Дальнее - Валунистое в качестве источников возбуждения использовали также взрывы зарядов колымита (0.7-0.8 от тротила по бризантным свойствам) и гексотала (1.2-1.3 от тротила по бризантным свойствам) в неглубоких водоемах

(глубиной от 2 до 3 м). Применялось рассредоточение единичных зарядов (массой 100 кг) по дну водоема через 10-15 м. Общая величина зарядов изменялась от 3 т при исследованиях на удалениях до 100-150 км до 5-6 т – при регистрации на больших удалениях в несколько сотен километров (рис. 6).

Регистрация сейсмических данных ГСЗ автономными станциями

Технология регистрации сейсмических данных с использованием кабельной телеметрии в особо удаленных и сложных поверхностных и климатических условиях является недопустимо затратной. Современный уровень цифровой техники обеспечивает альтернативное решение - использование системы регистрации и сбора сейсмических данных на базе автономных станций [11]. Отсутствие проводов между элементами полевой сети регистрации позволяет проектировать оптимальную систему сейсмических наблюдений в недоступных и (или) удаленных районах при неблагоприятных геоморфологических условиях. При этом повышается надежность получения информации, поскольку неисправность одного элемента (автономного модуля регистрации) не вызывает сбоя полевой сети сбора. Важно, что в данном случае не требуется немедленного принятия технического решения (вмешательства специалиста).

С 2002 г. полевые работы ГСЗ на порных профилях проводились по методике точечных (дифференциальных) зондирований с непрерывными и штрих – пунктирными системами наблюдений [5] с использованием автономных станций:

- отечественных «Дельта-Геон» (до 2005 г.), модификации «Байкал-АС», «РОСА-А» (с 2006 г.);
- импортных «Reftek - 125», США (только в 2002 г.).

Автономная сейсмическая станция РОСА-А предназначена для выполнения высокоточных сейсмических измерений, в том числе длительных и программируемых. Система синхронизации времени, реализованная в автономных станциях, включает GPS-приемник, прецизионный тактовый генератор и систему автоподстройки, которая минимизирует ошибки при активизации генератора и обеспечивает контроль синхронизации в целом. Применение спутниковых сигналов (GPS/ ГЛОНАСС) позволяет получить точность синхронизации не хуже ± 1 мкс, а термостатированный генератор дает ошибку менее ± 1 мс/сутки. Использование подобных генераторов позволяет длительное время работать в автономном режиме при отсутствии устойчивого приема спутниковых сигналов.

Автономный модуль регистрации РОСА-А разработан [7] на элементной базе нового поколения (выпуска 2004-2008 гг.): многократно программируемые логические матрицы сверхвысокой степени интеграции, прецизионные малощумящие аналоговые компоненты, интегральные источники питания, высокоскоростные элементы телекоммуникаций. Корпус регистратора выполнен из прочного алюминиевого сплава, конструктивное исполнение (Iр67) допускает погружение в воду.

Технические характеристики и структурная схема регистратора РОСА-А приведены на рис. 7. Устройство управления обеспечивает настройку всех компонентов модуля, регистрацию сейсмических данных, синхронизацию внутренних часов, обмен информацией с компьютером через внешний порт и мониторинг технического состояния модуля.

При программировании рабочего сеанса можно выполнить без использования дополнительных приборов диагностику следующих параметров канала регистрации: шумы, максимальный неискаженный сигнал регистрации, коэффициент нелинейных искажений, подавление синфазной помехи,



коэффициент взаимного влияния, идентичность коэффициентов усиления, сопротивление и импульсная характеристика подключенного геофона, правильность настроек регистрации.

В качестве энергонезависимой памяти используются промышленные flash-карты CompactFlash емкостью до 2 Гб (в версии 1) или SecureDigital емкостью до 32 Гб (в версии 2), что обеспечивает непрерывную запись данных свыше 15 суток. Вторая версия предполагает «горячую» замену карт памяти и считывание их отдельно от устройства. Для записи информации на карту используется стандартная файловая система FAT16/FAT32, поддерживаемая практически всеми современными операционными системами.

Для программирования режима записи используется PC Notebook с USB-портом и подключенной операционной системой, поддерживающей файловую систему FAT, и накопителя USB-флэш-накопителя. Применение USB-порта позволяет осуществлять управление регистратором с помощью широкого перечня вычислительных устройств. При подключении к компьютеру, регистратор представляется пользователю как жесткий диск. Для записи и чтения файлов. В корневой директории этого диска посредством стандартных средств (Блокнот, WordPAD) подготовлен файл (report.txt), содержащий информацию о предстоящих сеансах работы. Программное обеспечение регистратора создает на этом диске текстовый файл

(report.txt) с информационными сообщениями о техническом состоянии модуля, GPS-сигналах, проведенных сеансах и т.п. Данные сейсмических записей сформированы на диске как бинарные файлы, которые далее можно конвертировать для просмотра и обработки в требуемый формат, например, формат SEG-Y, разработанный «Society of Exploration Geophysicists». В состав поставляемого программного обеспечения входит также библиотека функций для хранения и архивации записей.

В версии 2 добавлен интерфейс Ethernet, соответствующий стандартам 10BASE-T/100BASE-T и обеспечивающий канальную скорость передачи данных до 100 Мб/с.

Результаты применения автономных станций РОСА-А

Экспериментальная версия автономных станций РОСА-А была подготовлена к началу летнего полевого сезона 2006 г. Регистраторы РОСА-А были запрограммированы на автономную работу продолжительностью 10 суток. Рабочий режим ежедневно включал запись информации длительностью 1,5 часа в интервале ожидания выполнения возбуждения упругих колебаний (взрывов). В ходе проведенных работ были записаны волновые поля от всех произведенных взрывов и показана достаточная надежность и стабильность их работы в условиях высоких широт при повышенном фоне статического электричества [6]. Полученный первичный материал характеризуется достаточно высоким отношением сигнал/помеха. Визуальную оценку качества полученных сейсмических данных можно провести по приведенным записям на открытом канале:

- 4-канальная первичная запись от одного воздействия (рис. 8а);
- первичная запись колебаний одним регистратором пяти взрывов (рис. 8б);
- волновое поле упругих колебаний от одного взрыва, записанное распределенной по профилю системой из автономных регистраторов (рис. 8в).

Кроме наземных работ методом ГСЗ в этот же период (июль 2006 г.) автономные регистраторы РОСА-А использовались на южно-магаданском участке профиля 2-ДВ при проведении наблю-

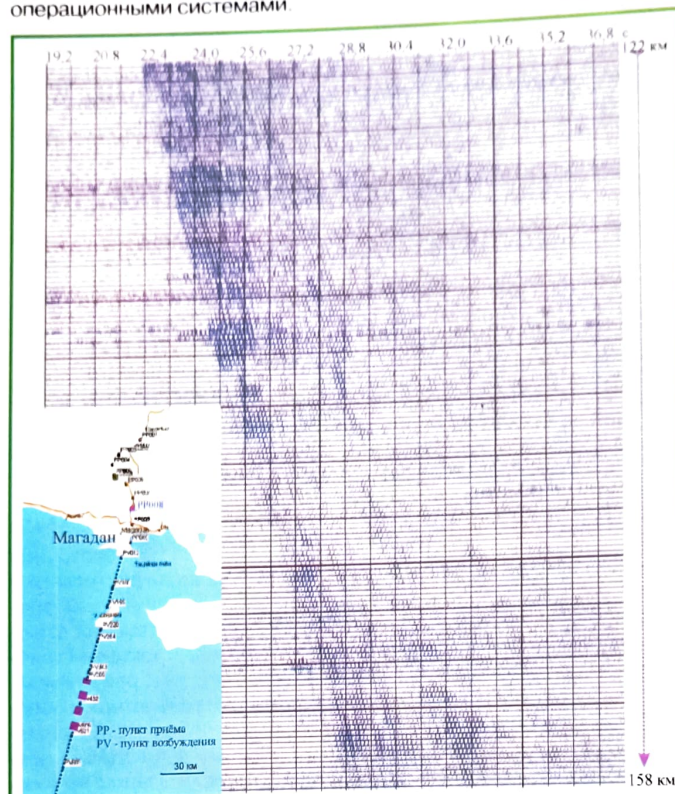


Рис. 9. Фрагменты сейсмограммы ГСЗ (ОТП); система наблюдений «суша-море», импульсное возбуждение пневмоизлучателями СИН-6М (профиль 2-ДВ-М, Охотское море, 2006 г.)

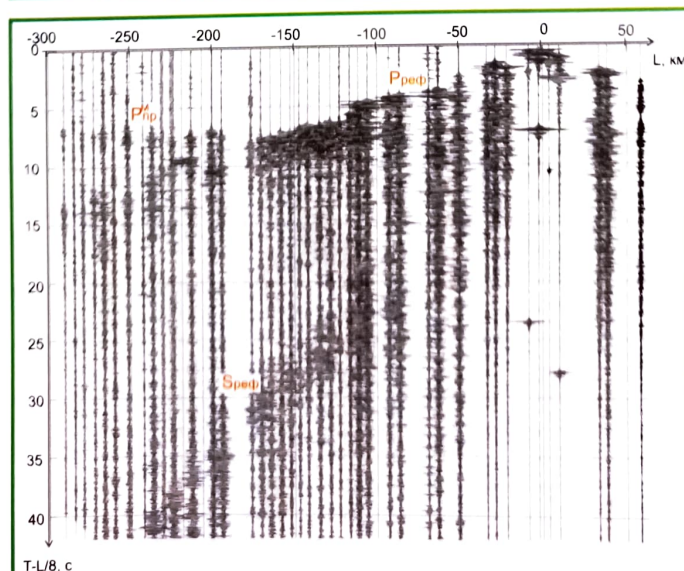


Рис. 10. Редуцированный динамический годограф (профиль 2-ДВ-А, участок «Певек-Валунистое», 2007 г.)



ПОЛЕВОЙ СЕЗОН ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

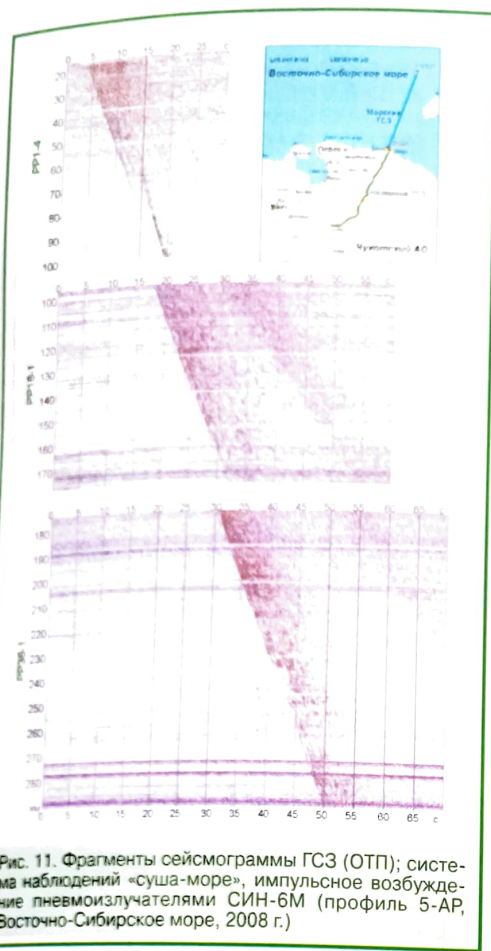


Рис. 11. Фрагменты сейсмограммы ГСЗ (ОТП); система наблюдений «суша-море», импульсное возбуждение пневмоизлучателями СИН-6М (профиль 5-АР, Восточно-Сибирское море, 2008 г.)

дений «суша - море». Этот участок протяженностью в 100 км примыкает к северному окончанию морского опорного профиля 2-ДВ-М, на котором ФГУНПП «Севморгео» выполняла геолого-геофизические исследования по Государственному контракту (Генеральный Заказчик – Роснедра). Возбуждение упругих колебаний на акватории Охотского моря осуществлялось с использованием морских пневмоизлучателей СИН-6М. Пневмоизлучатели работали со сменными рабочими камерами, рабочее давление в которых составляло 120-125 атмосфер. Период возбуждения выдерживался около 2

минут, что в плане составляло примерно 250 м. Всего было произведено около 1000 импульсных ударов

При наземной регистрации было использовано 10 автономных станций РОСА-А, которые перед установкой на профиль были запрограммированы на режим непрерывной записи длительностью около 50 часов с частотой дискретизации 8 мс. При обработке, из длительных записей, содержащих волновые поля от множества последовательных импульсных воздействий, были сформированы сейсмотрассы длительностью 60 с. Полученные первичные данные характеризуются достаточно высоким отношением сигнал/помеха на удалениях от источника до 250 км (рис. 9).

В период 2007-08 гг. сейсмические работы методом ГСЗ с использованием автономных станций РОСА-А (50 - 100 полевых модулей) были продолжены на опорных профилях в пределах Чукотского нагорья, Анадырской низменности и Корякского нагорья с использованием рассредоточенных взрывов в естественных водоемах (заряд тротила общим весом от 2000 кг до 6 000 кг) и центробежных вибраторов ЦВП-40. Расстановка регистрирующей сейсмической аппаратуры была произведена, в основном, с использованием вертолета (МИ-8). Качество первичных сейсмических записей можно оценить как хорошее и достаточное для выполнения специальной обработки и геолого-геофизической интерпретации данных ГСЗ (рис. 10).

В сентябре 2008 г. автономные регистраторы РОСА-А были использованы при глубинных исследованиях по системе наблюдений «суша - море». Возбуждение осуществлялось (ФГУНПП «Севморгео») на акватории Восточно-Сибирского моря с применением морских пневмоизлучателей СИН-6М (рабочее давление в камерах составляло около 120 атмосфер). На первичных записях ГСЗ на удалениях до 300 км можно уверенно проследить волны (продольные и поперечные) в целевом интервале регистрации (рис. 11). В целом данные работы показали, что технология глубинных исследований по системе наблюдения с многократными перекрытиями «суша-море» с использованием автономных регистраторов РОСА-А является эффективной и экономически выгодной.

Проведенные работы ГСЗ позволили уточнить глубинное строение земной коры и верхней мантии центральной части Охотско-Чукотского региона (рис. 12). Полученный ряд новых сведений о детальном распределении скоростей в земной коре и

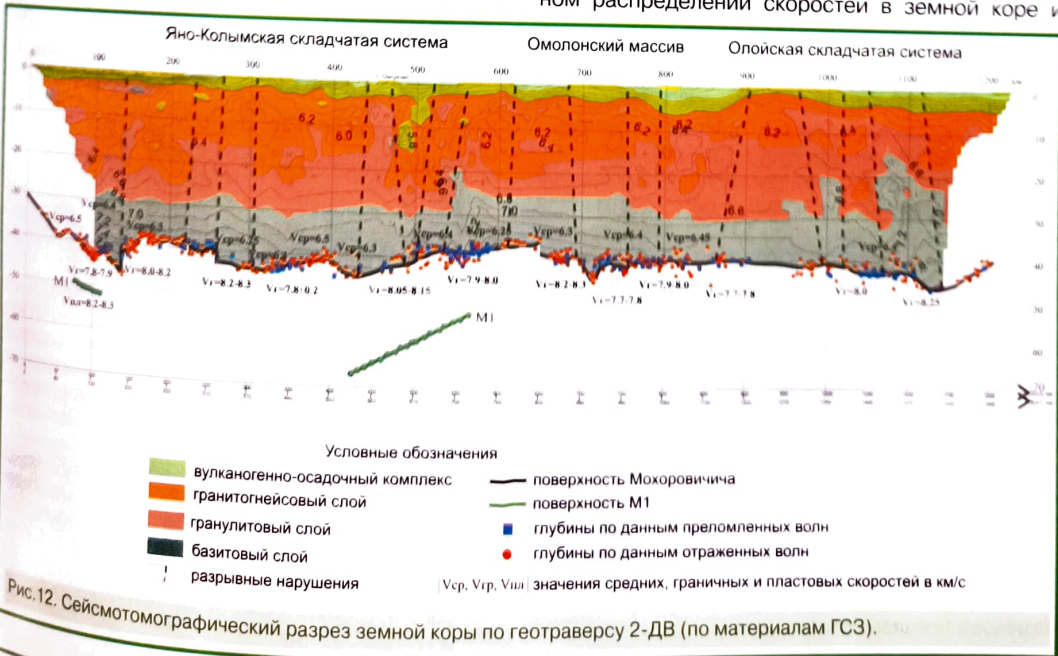


Рис.12. Сейсмотомографический разрез земной коры по геотраверсу 2-ДВ (по материалам ГСЗ).

верхней мантии обеспечивает дополнительные аргументы для построения современной геологической модели образования и развития данного региона, что весьма важно в задаче генезиса и размещения месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, применение комбинированной методики полевых сейсмических работ с использованием взрывных и вибрационных источников, позволило реализовать отработку более 3000 км опорных профилей в чрезвычайно труднодоступной местности Охотско-Чукотского региона. Реализованные системы наблюдений глубинных сейсмических исследований с регистрацией годографов первых волн до 300 - 350 км представляются достаточными для прослеживания опорных волн от границ в земной коре и поверхности Мохоровичича и решения поставленных геологических задач.

Особо отметим, что отсутствие дорог на значительной части обрабатываемых профилей, использование различных источников возбуждения, сложные погодные условия в период проведения работ – все это потребовало использования широкого спектра вспомогательных технических средств для реализации запланированных систем наблюдений. Наряду с традиционно используемым автотранспортом: КРАЗы для перевозки виброисточника; УАЗы и ГАЗ66 для перевозки станций и технического персонала - в работах ГСЗ на профилях 2-ДВ и 2-ДВ-А использовался также тяжелый гусеничный транспорт и вертолеты МИ-8.

Заключение

В результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований, выполненных организациями МПР России и РАН по разработке современной методики глубинных сейсмических исследований, выработан рациональный комплекс глубинных сейсмических исследований, который включает работы по методу ОГТ (для изучения структуры земной коры и верхней мантии), КМПВ для картирования опорных границ (с определением структурных и скоростных параметров) и ГСЗ для изучения глубинных границ (коровых границ, поверхности Мохоровичича и границ в верхней мантии) и распределения скорости упругих волн в земной коре и верхней мантии.

Часто, при реализации проектов на сверхдлинных профилях, по экономическим соображениям «урезают» работы КМПВ и ГСЗ. Работы КМПВ проводят с ограниченными базами отстрела до 25-35 км. Профили ГСЗ проводятся по системам наблюдения с разреженными пунктами возбуждения и пунктами приема. В результате, по материалам КМПВ невозможно построить детально не только коровые преломляющие поверхности, но и главную информативную опорную границу в верхней части земной коры – поверхность фундамента.

Методически, организационно и экономически целесообразнее не обособлять работы КМПВ и ГСЗ на опорных профилях.

Проведенные работы ГСЗ на опорных профилях 2-ДВ и 2-ДВ-А в труднодоступных местностях Охотско-Колымского региона убедительно доказывают, что применение новой технологии полевых сейсмических исследований (с использованием в качестве источников возбуждения взрывов в озерах и болотах, не имеющих народнохозяйственного значения, мощных 40-тонных вибраторов; с использованием автономных регистрирующих станций типа РОСА-А, «Байкал»; применением вертолетов МИ-8, тяжелой колесной и гусеничной техники и другого наземного транспорта) позволяет успешно решать задачи ГСЗ в любых труднодоступных местностях России в достаточно короткие сроки и с «разумной» стоимостью полевых наблюдений.

Заложенные в применяемой методике ренциальных сейсмических зондирования, возможности использования нерегулярных систем наблюдений позволяют выбрать площадки для размещения вибраторов и (или) мест производства также расстановки мобильных регистрирующих станций - как в высокогорных, заболоченных местах, так и в промышленных районах, а также в ках и др.

Дальнейшие перспективы снижения себестоимости полевых работ и повышения производительности глубинных сейсмических исследований в труднодоступных местностях России связаны с использованием специализированной техники высокой проходимости и большой грузоподъемности – двухзвенных транспортеров «Витязь».

Литература

1. Заможняя Н.Г., Сулейманов А.К., Пиип В.Б. Обработка и интерпретация первых волн ОГТ и КМПВ. // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным. Сб. науч. тр. СНИИГГиМС (ред. Сальников А.С.) - Новосибирск: Наука, 2007.
2. Еманов А.Ф., Кузнецов В.Л., Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Соловьев В.М. Технология региональных исследований методом ГСЗ с вибрационным источником. // Приборы и системы разведочной геофизики. 2004. №3.
3. Липилин А.В., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Проблемы комплексной интерпретации геофизических данных по региональным профилям и пути их решения. // Геофизика. 2002. 4.
4. Новые геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики геосфер. Вибрационные геотехнологии. // Под ред. Лаврова Н.П. М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики, 2002.
5. Пузырёв Н.Н., Крылов С.В., Потапов С.В. Точечные сейсмические зондирования. // Методика сейсморазведки. - М.: Наука, 1965.
6. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н., Щегольков А.В. Первые результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А при работах ГСЗ. // Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. №4.
7. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н., Щегольков А.В. Автономный регистратор сейсмических сигналов // Патент №2331087 (RU), опубл. 10.08.2008. Бюл. № 22.
8. Сейсморазведка. Справочник геофизика. // Под ред. Гурвича И.И., Номоконова В.П. М.: «Недра», 1981.
9. Сурков В.С., Варламов А.И., Сальников А.С., Липилин А.В. Комплексные исследования на магаданском участке опорного геофизического профиля 2-ДВ. // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным: Сб. науч. тр. СНИИГГиМС (ред. Сальников А.С.) - Новосибирск: Наука, 2007.
10. Сулейманов А.К., Заможняя Н.Г., Андрющенко Ю.Н., Липилин А.В. Глубинные сейсмические исследования отраженными волнами. // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным: Сб. науч. тр. СНИИГГиМС (ред. Сальников А.С.) - Новосибирск: Наука, 2007.
11. Sagaidachnaya O.M., Sagaidachny A.V., Salnikov A.S., Shmykov A.N., Shegolkov A.V. A Distributed Data Recording System as a Basis for Modern Seismic Research Technologies // 69th EAGE Conference & Exhibition, Incorporating SPE EUROPEC 2007 (London, 11-14 June 2007). London, UK, 2007, Paper P187.