



СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ В СЕЧЕНИИ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 2-ДВ ПО ДАННЫМ ГСЗ

В. Л. Кузнецов, А. С. Сальников, В. С. Старосельцев, В. С. Сурков, А. В. Липилин,
А. Ф. Еманов, В. М. Соловьев

Северо-Восток России слабо изучен глубинными сейсмическими методами. В континентальной части Магаданской области в 1959 г. Институтом физики Земли отработан профиль ГСЗ Магадан – Усть-Среднекан; в 2001–2006 гг. – опорный геофизический профиль 2-ДВ (п-ов Кони – о. Врангеля) от Магадана до побережья пролива Лонга протяженностью около 2100 км. Вдоль профиля выполнены сейсмические наблюдения методами ОГТ, КМПВ и ГСЗ. В результате составлен обобщенный глубинный сейсмический разрез по профилю, освещающий строение земной коры и верхней части мантии до глубины около 60 км. По характеру распределения скоростей в земной коре условно выделены четыре слоя: вулканогенно-осадочный, гранитогнейсовый, гранулитовый и базитовый.

Ключевые слова: *глубинные сейсмические зондирования, земная кора, верхняя мантия.*

THE EARTH'S CRUST STRUCTURE IN SECTION OF THE 2-DV SURVEY BASE LINE ON EVIDENCE DERIVED FROM DSS

V. L. Kuznetsov, A. S. Salnikov, V. S. Staroseltsev, V. S. Surkov, A. V. Lipilin, A. F. Yemanov,
V. M. Solovyev

As to deep seismic investigations North-Eastern Russia falls into poorly known areas. In 1959 Institute of Physics of the Earth measured the Magadan – Ust-Srednekan DSS line within the continental part of the Magadan Region. In 2001–2006 field operations were carried out along the 2-DV survey base line (Coney Peninsula – Wrangel Island) from Magadan to the Long Strait coast about 2100 km in extent. Seismic measurements along the line were made by CDP, RCM and DSS methods. The DSS operations resulted in a generalized depth seismic section along the line showing the structure of the Earth's crust and upper mantle down to a depth of about 60 km. According to the velocity pattern four layers were arbitrarily identified in the Earth's crust: volcanogenic-sedimentary, granite gneiss, granulitic and basic ones.

Key words: *deep seismic sounding, Earth's crust, upper mantle.*

Северо-восточный регион России в течение длительного времени является одной из основных баз добычи золота и других металлов, но до сих пор не ясны многие вопросы его геологии, геодинамической природы структурно-фациальных зон, временных границ, тектонических процессов и др. Их изучение имеет большое практическое значение, поскольку от него зависит корректная оценка металлогенического потенциала региона.

В связи с этим Федеральной программой развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации предусмотрено поэтапное создание государственной сети опорных геофизических профилей, которой планируется охватить все основные минерагенические провинции страны, в том числе и на Северо-Востоке России.

При изучении глубинного строения земной коры на опорных профилях применяется комплекс геофизических методов, ведущее место в котором занимает сейсморазведка в различных модификациях: метод общей глубинной точки (ОГТ), глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ), корреляционный метод преломленных волн (КМПВ). Проведение работ КМПВ и ГСЗ, основанных на использовании буровых скважин, производстве

больших взрывов и трудоемких систем наблюдений, сопряжено с их низкой технологичностью, высокой себестоимостью, опасностью и во многих случаях невозможностью реализации по экологическим причинам.

В результате многолетних теоретических и экспериментальных исследований, выполненных организациями МПР России и РАН, разработана современная методика глубинных сейсмических исследований, выработаны критерии оптимальных систем наблюдений, созданы источники возбуждения и регистрирующая аппаратура для профильных и площадных работ [1, 2, 4, 5, 7, 10]. Рациональный комплекс включает работы методом ОГТ для исследования структуры земной коры и верхней мантии, КМПВ для картирования опорных границ в верхней и средней частях земной коры с определением скоростных параметров, ГСЗ для изучения глубинных границ (коровых, поверхности М и границ в верхней мантии) и распределения скоростей упругих волн в земной коре и части мантии. При работах КМПВ и ГСЗ должна применяться новая технология, которая исключает указанные негативные стороны традиционной, что обеспечивает возможность широкого развития этих работ в любых условиях, в том числе в промышленных зонах, на территориях заповедников, ГЭС, АЭС и пр. Она основана на многоволно-

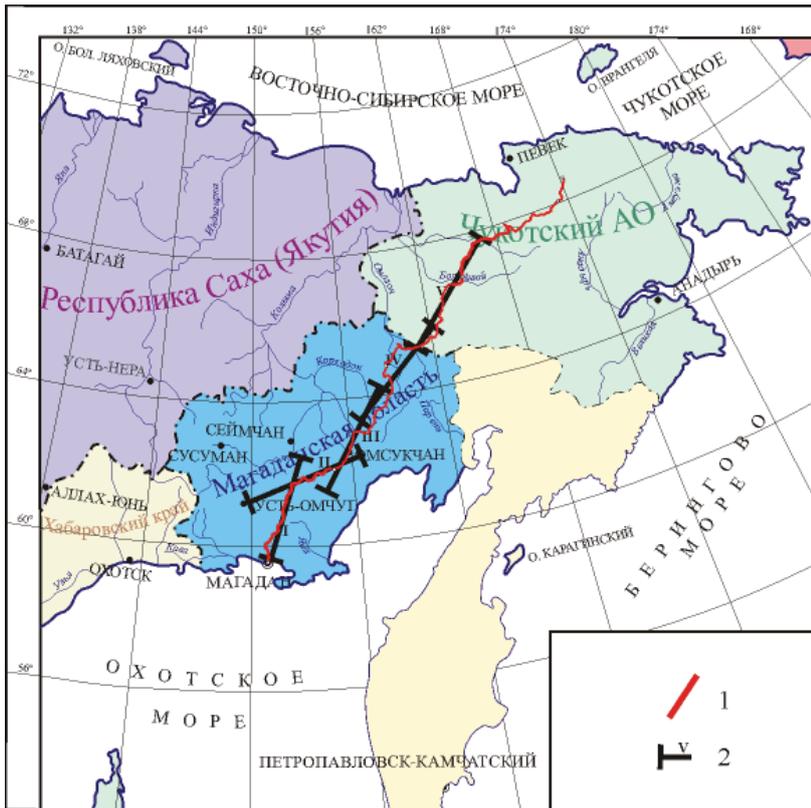


Рис. 1. Изученность глубинного строения Охотско-Чукотского региона

1 – положение опорного профиля 2-ДВ (п-ов Кони – о. Врангеля); 2 – отработанные профили ГСЗ: I – Магадан – Усть-Среднекан (2002); II – Усть-Омчуг – Герба – Омсукчан (2003); III – Омсукчан – Левый Кедон (2004); IV – Коркодон – Омолон – Олой (2005); V – Омолон – Мальный Анюй (2006)

ния и монтаж на новом месте занимал около 5 ч. Дизельная электростанция ДЭС-100 транспортировалась автомобилем ЗИЛ-131, в кузове которого располагалась система управления вибратором с комплектом электрооборудования.

Часть работ ГСЗ в районе севернее пос. Омсукчан из-за отсутствия дорог и специальной вездеходной техники для транспортировки вибратора выполнена с взрывными источниками. В качестве взрывчатого вещества использовался колымит (коэффициент бризантности 0,7–0,8 по отношению к тротилу), заклады-

ваемых в водоемы глубиной 2–3 м. Применялось площадное рассредоточение единичных зарядов массой 100 кг по дну водоема через 10–15 м при общей массе 3–6 т.

вых детальных глубинных сейсмических исследованиях по системам наблюдений с многократными перекрытиями с использованием комбинации мощных взрывов и передвижных вибрационных источников, обеспечивающих генерацию сейсмических волн с высокой стабильностью излучения, и автономных цифровых станций. Разработанные совместными усилиями ГС СО РАН, АСОМСЭ СО РАН и СНИИГГиМСа мощные 40–60-тонные вибраторы обеспечивают получение вибросейсмических записей на удаленностях до 250–300 км, не уступающих по качеству записям от мощных взрывов 2–3 т тротила в скважинах и водоемах [8].

Полевой эксперимент

В 2001–2006 гг. по новой технологии проведения исследования ГСЗ на опорном профиле 2-ДВ (п-ов Кони – о. Врангеля) протяженностью около 1500 пог. км (рис. 1). Работы осуществлены на пяти квазипрямолинейных участках протяженностью 320–380 км каждый: Магадан – Усть-Среднекан (2002 г.); Усть-Омчуг – Герба – Омсукчан (2003 г.); Омсукчан – Левый Кедон (2004 г.); Коркодон – Омолон – Олой (2005 г.); Омолон – Мальный Анюй (2006 г.). В полевых наблюдениях, обработке и интерпретации данных принимали участие сотрудники ФГУП «СНИИГГиМС» и АСФ ГС СО РАН.

При работах ГСЗ применялся мощный передвижной виброисточник ЦВП-40 (рис. 2). Технологичность транспортировки вибратора обусловлена его сборно-разборной конструкцией (блоки весом по 4–6 т). Перевозка осуществлялась тремя автомашинами типа КамАЗ или КраЗ. Для погрузки использовался автокран. Демонтаж оборудова-

ваемого в водоемы глубиной 2–3 м. Применялось площадное рассредоточение единичных зарядов массой 100 кг по дну водоема через 10–15 м при общей массе 3–6 т.

Частотные диапазоны зондирующих сигналов от вибратора составляли 7,031–10,547 Гц с длительностью сеансов до 50 мин. Для получения разрешенных записей и уменьшения влияния шумов на коррелограммах использовалось суммирование от 2–3 до 10–12 сеансов вибратора.

Качество коррелограмм существенно зависит не только от фона помех, но и от характеристик излучения виброисточника. Мощными дебалансными виброисточниками на жестких грунтах возможно получение очень узкополосного спектра излучения и, следовательно, слаборазрешенных записей колебаний в дальней зоне. Для расширения частотного диапазона при накоплении коррелограмм использовался обратный свип, что позволило получить качественные записи. Кроме того, применялось суммирование сеансов с различными дебалансами (и различными частотными диапазонами излучения), что дало возможность значительно расширить спектр исходного сигнала и повысить разрешенность и качество коррелограмм. Крепление вибратора с грунтом осуществлялось с помощью анкеров специальных конструкций.

Анализ материалов, полученных от взрывных и вибрационных источников, показал следующее. В целом диапазоны излучения виброисточника в ближней зоне с тяжелыми дебалансами составляли 6,5–9,7 при средних дебалансах 7,5–11,04 Гц. В дальней зоне наблюдались либо равномерные



спектры в диапазоне частот 8–10,5 Гц, либо узкие в диапазоне 9,6–11 Гц. Спектры от взрывов в ближней зоне более широкополосные, чем от виброисточников (от 3 до 15–25 Гц). На больших удалениях максимумы спектров от взрывов составляют 5–11 Гц, что близко к диапазону от виброисточника. Анализ коррелограмм и взрывных сейсмограмм, полученных во взаимных точках, показывает достаточно схожий характер зарегистрированных волновых полей

В качестве регистрирующей аппаратуры на профиле использовались российские 24-разрядные цифровые станции РОСА-А (разработка ФГУП «СНИИГГиМС»), «Байкал» (разработка АСФ ГС СО РАН), «Дельта-Геон» (разработка Центра «ГЕОН») и комплекты американской одноканальной цифровой регистрирующей аппаратуры «Reftек» с вертикальными (группы СВ-5) и трехкомпонентными (СК1-П) приборами.

Расстояния между источниками при работах ГСЗ составляли 30–50 км, между регистрирующими станциями изменялись от 2–3 км на профиле ГСЗ Магадан – Усть-Среднекан до 10–15 км на других участках наблюдений, в среднем 7–12 км. Координаты установки сейсмоприемников определялись GPS-приемниками.

Анализ волнового поля

Первичные записи подвергались специальным процедурам цифровой обработки, включающим накопление сигнала и программы частотной фильтрации (подавление нестационарных шумов) для улучшения соотношения сигнал/шум и выделения целевых волн. Для последнего применялось направленное суммирование по годографам преломленных и отраженных волн.

Анализ свойств волнового поля показывает, что в первых вступлениях на сейсмограммах уверенно выделяются волны от границ осадочного чехла, от кровли и подошвы консолидированной коры (рис. 3, 4). Кажущаяся скорость волн изменяется от 3,9–4,4 на базах 0–5 км до 5,5–5,8 (и даже 6,0) км/с на базах 10–20 км. При этом до удалений взрыв – прием 30 км (данные КМПВ) кажущаяся скорость плавно возрастает, что позволяет аппроксимировать верхнюю часть разреза средой с плавным нарастанием скорости. Первые вступления представлены в этом интервале 3–4-фазными колебаниями с видимыми частотами 7–10 Гц. На удалениях 20–30 км кажущаяся скорость по годографам первых волн увеличивается до 6,0–6,2 (и даже до 6,4) км/с. Отсутствие четких изломов по ряду годографов первых волн в этом интер-



Рис. 2. Вибросейсмический комплекс ЦВП-40



вале и явно выраженной параллельности нагоняющих годографов волн в первых вступлениях (см. рис. 4) затрудняет четкую корреляцию волн от поверхности кристаллических пород. Это, как и наличие пониженных и повышенных значений кажущейся скорости в интервале от 20–30 до 60–100 км, свидетельствует о неоднородности среды по латерали и вертикали. На некоторых участках профиля до удалений 40–50 км отмечена низкая кажущаяся скорость (5,5–5,6 км/с), что подтверждает существование здесь мощной низкоскоростной толщи. На удалениях от 100 до 170–180 км скорость первых волн в целом составляет 6,2–6,4 км/с, но в отдельных случаях она намного выше (7,0–7,2 км/с и более). На удалениях свыше 180–200 км скорость возрастает до значений, свойственных верхней части мантии (7,5–8,5 км/с), что соответствует преломленной волне от границы М. Интенсивность мантийной волны невелика, часто маловыразительна на фоне последующих более интенсивных колебаний (см. рис. 3). Видимые частоты 7–10 Гц. Нагоняющие годографы параллельны и увязываются во взаимных

точках по системам встречных и нагоняющих годографов. По кинематическим, динамическим характеристикам и области прослеживания данная группа отнесена к преломленным волнам от поверхности М.

На удалениях от 100–110 до 200 км в последующей части записи выделяются интенсивные группы волн с высокими значениями кажущейся скорости (7,5–8,5 км/с) (см. рис. 4). Волны 3–4-фазные с видимыми частотами 7–10 Гц. По динамическим и кинематическим параметрам (повышенной интенсивности, увязыванию с годографами преломленной волны от поверхности М) они отнесены к отраженной волне от поверхности М ($P_{отр}^M$).

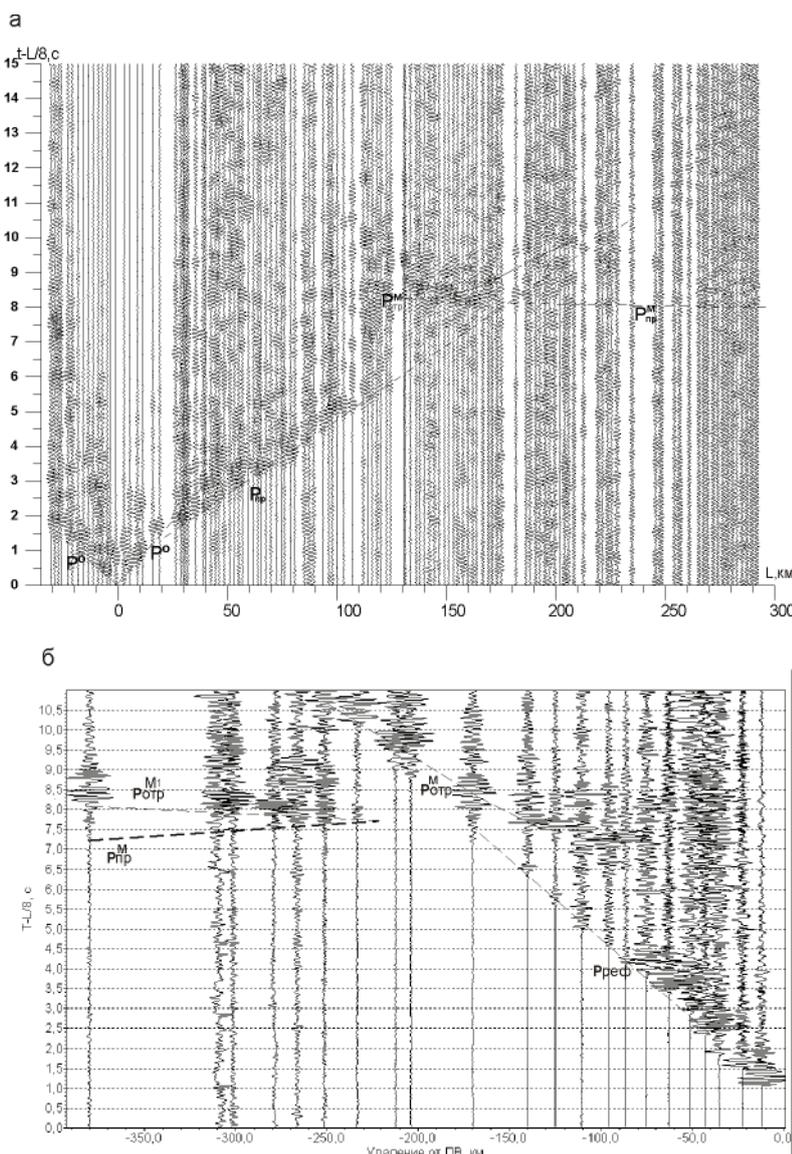
На ряде годографов на удалениях взрыв – прием 130–150 км на начальном (100–380 км) и центральном (500–600 км) участках профиля в последующей части записи регистрируется интенсивная 3–4-фазная группа колебаний с интенсивностью выше, чем у $P_{отр}^M$ (см. рис. 3), как и значения кажущейся скорости (8,5–8,8 км/с). Расчеты по осредненной модели среды региона показывают,

что данная группа волн может соответствовать отраженной волне от границы M_1 в верхней мантии, расположенной ниже границы М примерно на 15 км. Отсутствие преломленных волн от этой границы в первых вступлениях может объясняться слабой дифференциацией скорости между поверхностями М и M_1 . Судя по теоретическим годографам, скорость Р-волн по границе M_1 может быть не выше 8,2–8,3 км/с. В пользу этого свидетельствуют также повышенные амплитуды $P_{отр}^{M_1}$ -волн. На больших удалениях волны группы $P_{отр}^{M_1}$ прослеживаются практически параллельно.

Интерпретация сейсмических материалов

По выделенным в результате анализа волнового поля группам продольных преломленных волн построены и увязаны во взаимных точках сводные годографы в прямом и встречном направлениях. Интерпретация волн в первых вступлениях до расстояний 250–300 км от источников возбуждения проводилась способом сейсмической томографии на временных задержках рефрагированных волн. Этот способ разработан в Институте геофизики СО РАН под руководством чл.-кор. РАН С. В. Крылова

Рис. 3. Монтажи кореллограмм из ПВ 1 (а – участок г. Магадан – пос. Усть-Среднекан) и сейсмограмм от взрывного источника ПВ 8 (б – р. Омсукчан – р. Левый Кедон) в редуцированном масштабе времен



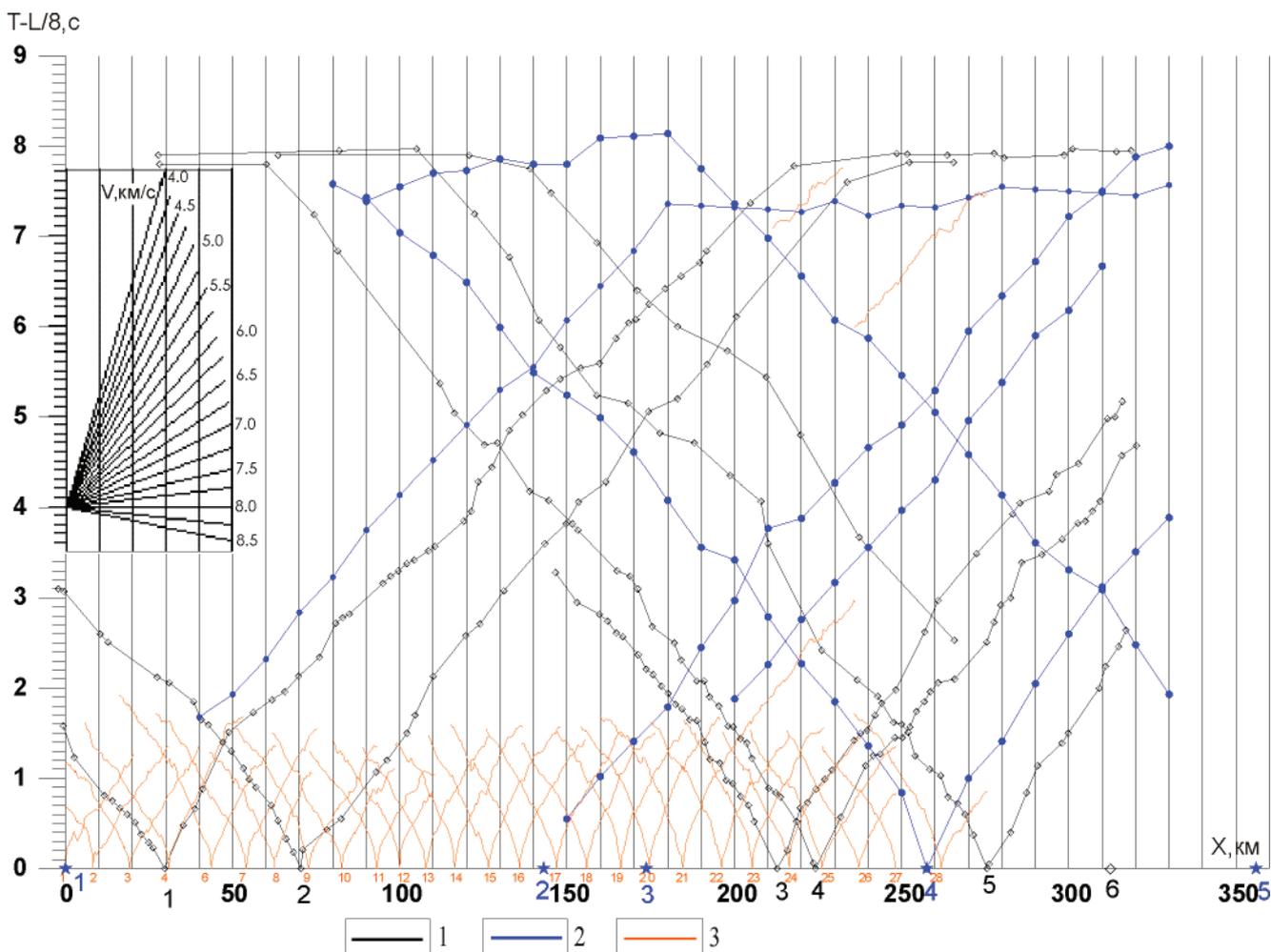


Рис. 4. Редуцированные годографы волн в первых вступлениях по профилю Магадан – Усть-Среднекам
1 – данные ГСЗ с вибратором (2002 г.); 2 – данные ГСЗ (1959 г.); 3 – данные КМПВ и ГСЗ (2001 г.)

[5, 6] и впоследствии развит в СНИИГГиМСе [9]. В качестве интерпретационной модели принималась непрерывная двухмерно-неоднородная модель среды с нарастанием скорости с глубиной, допускающая наличие прерывистых волноводных включений.

Наряду с этим отдельно обрабатывались данные преломленных волн от поверхности М (см. рис. 4). По годографам $P_{пр}^M$ определены графики значений кажущейся скорости в прямом и встречном направлениях, осредненные значения кажущейся и граничной скоростей (с учетом сейсмического сноса). По данным отраженных волн от поверхности М построены сводные редуцированные годографы в квадратичных координатах и поля времен. Глубина до поверхности М на исследуемом профиле определялась по данным отраженных и преломленных волн.

Результаты работ

Обобщенный глубинный сейсмический разрез ГСЗ по опорному профилю 2-ДВ протяженностью более 1200 км (от Магадана до р. Олой) освещает строение земной коры и верхней части мантии до глубины около 70 км (рис. 5). Разброс значений глубин до поверхности М относительно осредняю-

щей линии составляет 1–2 км, что отвечает требованиям к точности построений глубинных границ при региональных работах ГСЗ.

По характеру распределения скорости в земной коре условно выделяются четыре слоя [3, 12]. Нижний базитовый имеет скорости от 6,8 до 7,4–7,6 км/с, что характерно для данного типа пород [5]. Типичные скорости для гранулитовых пород, расположенных выше по разрезу, 6,4–6,8 км/с. Гранулитовый слой перекрывается пачкой отложений, по скоростной характеристике (5,8–6,4 км/с) отнесенных к гранитогнейсовым образованиям. На гранитогнейсовом основании по всему профилю залегает пачка низкоскоростных вулканогенно-осадочных пород (3,0–5,8 км/с).

Подобное расчленение разреза весьма условно, поскольку данные типы пород по скоростным характеристикам очень сильно перекрываются, даже без учета влияния изменений в скоростях продольных волн в зависимости от флюидонасыщенности пород, изменений давления, напряженно-деформированного состояния среды и температуры по столь протяженному профилю [13]. Тем не менее данное разбиение позволяет проводить качественную интерпретацию при сопоставлении разнородных зон регионального профиля.

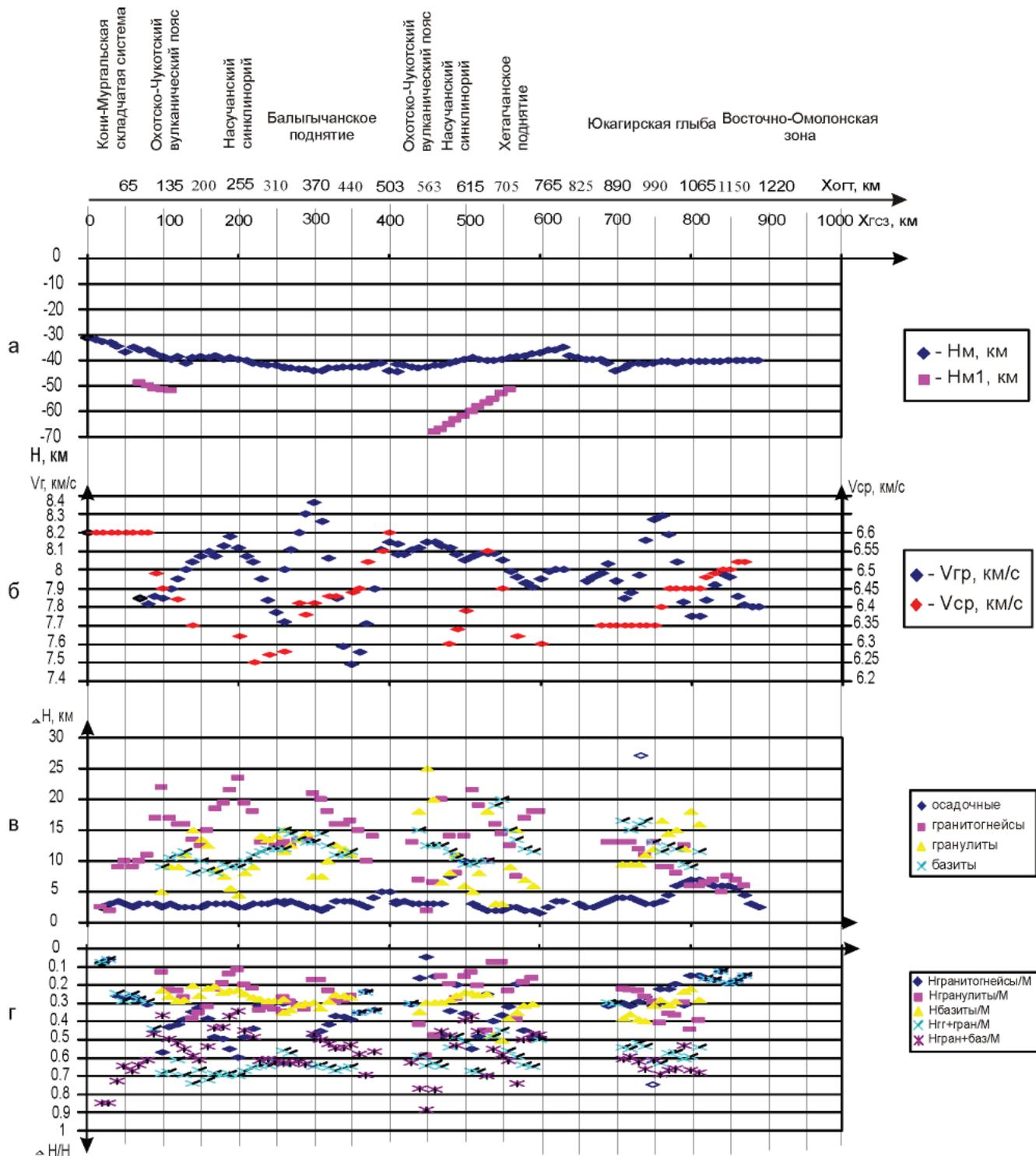


Рис. 6. Геолого-геофизическая характеристика крупнейших тектонических элементов Охотско-Чукотского региона в створе профиля 2-ДВ

а – распределение глубин залегания поверхности М и М₁; б – график распределения граничной скорости по поверхности М ($V_{гр}$) и средней скорости в земной коре ($V_{ср}$); в – значение мощностей вулканогенно-осадочного, гранито-гнейсового и базитового слоев в земной коре; г – соотношения мощностей отдельных слоев к мощности земной коры на профиле 2-ДВ

скорость в земной коре увеличивается до 6,5 км/с. Мощность осадочного комплекса около 2,5 км.

Охотско-Чукотский вулканогенный пояс (70–130, 400–430 км). Отмечается дальнейшее погружение поверхности М в глубь материка. В районе пос. Омсукчан мощность земной коры 44–45 км. В южной части профиля под Охотско-

Чукотским вулканогенным поясом (ОЧВП) на глубине 50–54 км выделена внутримантийная граница М₁. Средняя скорость в земной коре 6,3–6,4 км/с. Граничная скорость по поверхности М в районе Кони-Мургалской складчатой системы 7,8–7,9 км/с, а в районе пос. Омсукчан 8,1 км/с. В пределах южной ветви ОЧВП мощ-



ность гранитогнейсового слоя повышена до 15 км, базальтового и гранулитового – до 10–12 км. Мощность вулканогенно-осадочного комплекса, как и в Кони-Мургальской складчатой системе, около 2,5 км.

Армано-Вилигинский синклиорий (130–220 км). Мощность земной коры 40–43 км. Средняя скорость продольных волн в земной коре низкая (6,3 км/с), граничная скорость по поверхности M_1 нормальная (8,0–8,2 км/с). Мощность осадочного комплекса 2–3 км, гранитогнейсового до 20–25 км. При этом в гранитогнейсовом слое в центральной части синклиория выделяется блок с низкими даже для этих пород (условно выделенных для скоростного интервала в 5,8–6,4 км/с) скоростями – 5,8–6,0 км/с (см. рис. 5). Соответственно понижена и мощность гранулитового комплекса (до 5–8 км), мощность базитовых пород также невелика. Низкие значения средней скорости в земной коре согласуются с подобным распределением состава пород в земной коре Армано-Вилигинского синклиория.

Балыгчанское поднятие (220–405 км). Данная структура характеризуется весьма неоднородным строением земной коры и верхней мантии. По данным двух ортогональных профилей (I и II на рис. 1) установлены весьма существенные изменения граничной скорости по поверхности M – от 8,2–8,3 км/с в центральной части поднятия до 7,7–7,8 км/с на границе с Армано-Вилигинским синклиорием и 7,8 км/с в области сочленения ОЧВП и Насучанского синклиория. В центральной части поднятия мощность земной коры увеличена до 45 км; в краевых частях граница M залегает на глубине 38–40 км. Средняя скорость в земной коре возрастает от 6,25 км/с в центральной части поднятия до 6,5 км/с в области сочленения с ОЧВП. Мощность осадочного комплекса варьирует от 2,5 км в центральной части до 5 км в краевых. Наибольшая мощность гранитогнейсового слоя от 12–13 км в юго-западной части до 15–20 км в северо-восточной, гранулитового и базитового – в среднем 10–15 км (см. рис. 6, г). Это закономерно приводит к увеличению средних скоростей в земной коре (см. рис. 6, б).

Насучанский синклиорий (405–500 км). Мощность земной коры изменяется от 40 до 45 км. В верхней мантии выделяется граница M_1 на глубине 58–68 км с погружением в сторону ОЧВП. Средняя скорость в земной коре понижена до 6,3 км/с. Граничная скорость по поверхности M 8,05–8,15 км/с. Мощность осадочных пород около 3,5 км. Отмечается сильный разброс мощностей гранитогнейсового (от первых километров на юго-западе до 20 км на северо-востоке, см. рис. 5) и гранулитового (от 20–25 км на юго-западе до 5–8 км на северо-востоке) слоев; мощность базитового слоя в среднем 10–15 км. Значительный разброс мощностей гранитогнейсовых и гранулитовых слоев и отношений комбинаций мощностей

различных слоев (см. рис. 6, в, г) к мощности земной коры свидетельствует о существенно неоднородном строении земной коры в данной структуре. Необходимо также отметить, что в северо-восточной части Насучанского синклиория, в зоне сочленения с Хетагчанским поднятием, заметно понижена скорость P -волн в верхней и средней частях земной коры (см. рис. 5).

Хетагчанское поднятие (500–600 км). Наблюдается воздымание поверхности M от 40 км на юго-западе до 37 км на северо-востоке (в направлении к Южно-Омолонскому поднятию). Граница M_1 также воздымается в данном направлении с 60 до 54 км. Значения граничной скорости по поверхности M нормальные (8,0–8,1 км/с) в юго-западной части поднятия и пониженные (до 7,9 км/с) в северо-восточной, в области сочленения с Южно-Омолонским поднятием. В том же направлении уменьшается средняя скорость в земной коре (от 6,4–6,5 до 6,25 км/с). Мощность осадочных пород около 2,5 км. Как и для Насучанского синклиория, для Хетагчанского поднятия характерно изменение мощностей гранитогнейсовых (12–17 км) и гранулитовых (5–25 км) пород. Мощность базитового слоя изменяется от 10–12 км в краевых частях до 20 км в центральной (см. рис. 5).

Южно-Омолонское поднятие (600–690 км). Мощность земной коры изменяется от 38 до 40 км, граничная скорость по поверхности M – от 7,9–8,0 км/с в центральной части до 8,2–8,3 км/с в северо-восточной (см. рис. 5, 6, б). Средняя скорость в земной коре достаточно низкая (6,3 км/с). Мощность осадочного комплекса возрастает от 2 до 3,5–4,5 км, гранитогнейсовых пород – от 20 км в центральной части до 14 км в северо-восточной. В данном направлении растет мощность гранулитового слоя (от 4 до 8 км), что, по-видимому, отражается в повышении эффективной скорости в земной коре до 6,4 км/с. Мощность базитового слоя 12–14 км. Здесь максимальны коэффициенты отношения мощности гранулитового и базитового слоев к мощности земной коры (до 0,7).

Восточно-Омолонская зона (Кедонское поднятие, Омкучанская впадина, 690–820 км). Средняя мощность земной коры 40 км, на Кедонском поднятии – 45 км. Граничная скорость по поверхности M близка к нормальной: от 7,9–8,0 км/с в центральной части до 7,7–7,8 км/с в юго-западной (область сочленения с Южно-Омолонским поднятием). К центру Восточно-Омолонской зоны средняя скорость продольных волн в земной коре возрастает до 6,4 км/с. Наибольшая мощность осадочного комплекса 6 км (под Омкучанской впадиной), мощность гранитогнейсового слоя в Восточно-Омолонской зоне около 6–8 км, гранулитового – примерно 10 км.

Березовская шовная зона (820–900 км). Характеризуется повышенной мощностью вулканогенно-осадочного комплекса (до 7 км), очень малой мощностью гранитогнейсового слоя (около



4 км) и повышенной – гранулитового (более 20 км). Отношения мощности гранитогнейсового слоя или суммарной мощности гранитогнейсового и гранулитового слоев к общей мощности земной коры достаточно невысоки (менее 0,2) по сравнению с отношением суммарной мощности гранулитового и базитового слоев к мощности земной коры (0,7) (см. рис. 6). Практическим отсутствием гранитогнейсового слоя объясняются повышенные для данного региона средние скорости продольных волн в земной коре. Граничная скорость по поверхности М низкая (7,7–7,8 км/с).

Олойская складчатая система (900–1120 км). Мощность земной коры увеличивается с юго-запада на северо-восток от 40 до 44 км. Граничная скорость по поверхности М близка к нормальной (8,0 км/с). Средняя скорость в земной коре 6,4 км/с. Наименьшая мощность осадочного комплекса в пределах Березовско-Олойской складчатой зоны здесь 2–3 км, наибольшая (4–5 км) – под Хетагчанской складчатой зоной. Консолидированная земная кора имеет весьма сложное блоковое строение: мощность гранитогнейсового слоя уменьшается от 13 км в зоне сочленения Восточно-Омолонской зоны и Березовско-Олойской складчатой зоны до 3–5 км под северо-восточной частью Березовско-Олойской складчатой зоны и Хетагчанской складчатой зоной; гранулитового – от 17 до 7 км соответственно (причем глубина до его верхней кромки варьирует от 13 до 5–7 км) Это происходит в основном за счет роста мощности базитового слоя от 9–10 до 25–27 км. В зоне сочленения Березовско-Олойской и Хетагчанской складчатых зон в гранулитовом слое выделяются изометричные области пониженных скоростей, характерных для гранитогнейсового слоя.

Чукотская складчатая система (1120–1220 км). Наблюдения методом ГСЗ выполнены на интервале всего 100 км. Из-за используемых способов интерпретации полученных данных удалось определить скоростную характеристику только верхней части земной коры на глубину около 10 км и построить фрагмент поверхности М (см. рис. 5). Средняя скорость в земной коре 6,4 км/с. Мощность вулканогенно-осадочного слоя около 5–6 км с тенденцией увеличения к северо-востоку. В зоне сочленения Олойской и Чукотской складчатых систем консолидированная земная кора имеет сложное строение: мощность гранитогнейсового слоя возрастает до 13–14 км по сравнению с 3–6 км до и после этой зоны, в нем наблюдается область пониженных значений скорости. О характере поведения гранулитового и базитового слоев, к сожалению, нельзя сказать ничего определенного, так как методом ГСЗ они не изучены. На поверхности М в области сочленения указанных систем выделяется достаточно узкий (50–60 км) прогиб, в пределах которого глубина до мантии составляет около 47 км.

При сопоставлении полученного в результате ГСЗ глубинного разреза земной коры по профилю 2-ДВ с ранее установленным тектоническим районированием очевидна связь скоростных аномалий с основными блоками района. Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, дважды пересекаемый профилем ($X = 70\text{--}140$ и $400\text{--}430$ км), характеризуется блоком с увеличенной мощностью консолидированной коры за счет утолщения базитового слоя и, соответственно, погружением границы М на глубину 43 км и более, понижением граничной и пластовой скоростей. Кони-Мургалская складчатая область отличается довольно яркими особенностями: во-первых, она четко вырисовывается как блок, в котором породы гранулитового и базитового слоев занимают довольно высокое положение, во-вторых, здесь наблюдается существенный подъем границы М при значительном увеличении средней скорости до нее. Общая закономерность отмечена в пределах Арmano-Вилигинского синклиниория и Балыгычанского поднятия: им соответствуют повышенные мощности гранулитового слоя, которые разделяются столбообразным подъемом пород базитового и гранулитового состава на границе этих двух террейнов. Выявлена определенная связь рельефа поверхности М со структурами Яно-Колымской складчатой системы: синклиниориям соответствуют положительные формы, поднятиям – отрицательные. Также можно видеть связь этих структур с мощностью низкоскоростного слоя: синклиниориям соответствуют повышенные мощности, поднятиям – пониженные.

ВЫВОДЫ

На практически неизученной территории Северо-Востока России проведены работы методом ГСЗ по опорному профилю 2-ДВ протяженностью около 1500 км, выполнен детальный анализ зарегистрированных волновых полей от мощных взрывов и виброисточника, охарактеризовано глубинное строение земной коры и верхней мантии центральной части Охотско-Чукотского региона. Полученные новые сведения о детальном распределении скоростей в земной коре и верхней мантии позволяют по-новому взглянуть на историю образования и развития данного региона и распределение в нем различных полезных ископаемых.

При сравнении уступов, выявленных на поверхности М и на границах между базитовым, гранулитовым и гранитогнейсовым слоями, с пространственным распределением основных рудных узлов региона намечаются некоторые связи между ними. Так, над уступами поверхности М располагаются Сехчанский (Au, Ag) и Стрелковский (Zn, Pb, Au, Ag) рудные узлы, Бодринский (Au, Ag) потенциальный рудный узел, Малоанойская (Hg, Sr, As) рудная зона. Над выступами гранулитового слоя расположены Карамкинский (Au, Ag), Хетинский (Sn, W), Буркотский (W), Верхнекордонский,



Коркодонский и Стрелковский (Zn, Pb, Au, Ag), Обыкновенский (Au, Ag) и Бурганский (Cu, Mn, Au, Ag) рудные узлы, Олойская зона медного оруденения, Дукатская (Au, Ag) и Сухарнинско-Тэтэмвимская (Au) рудные зоны. Столь часто наблюдаемые связи вряд ли случайны и могут быть широко использованы при прогнозе рудных узлов и зон на тех участках проведения ГСЗ, где они еще неизвестны.

Наряду с чисто геологическими результатами опытно-промышленные исследования с мощным вибратором на профиле 2-ДВ позволили получить значительный материал по вопросам излучения мощных дебалансных виброисточников на жестких грунтах, по методическим проблемам регистрации и цифровой обработки вибросейсмических данных, весьма ценные для дальнейших исследований с мощными вибраторами в других регионах страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Активная** сейсмология с мощными вибрационными источниками [Текст] / А. С. Алексеев, Б. М. Глинский, Н. И. Геза [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН «Гео», 2004. – 350 с.
2. **Временные** рекомендации по технологии сейсмических исследований методом комбинированной сейсморазведки на опорных геофизических профилях [Текст] / МПР РФ. – М. ; СПб., 2001.
3. **Глубинное** строение юго-западной части Охотско-Чукотского региона по результатам вибросейсмических исследований с мощными передвижными вибраторами [Текст] / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Ф. Еманов [и др.] // Проблемы сейсмологии III тысячелетия : Матер. междунар. геофиз. конф. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. – С. 374–382.
4. **Детальные** глубинные сейсмические исследования в Верхнеангарском районе Байкальской рифтовой зоны [Текст] / С. В. Крылов, М. М. Мандельбаум, В. С. Селезнев [и др.] // Геология и геофизика. – 1990. – № 7. – С. 17–27.
5. **Детальные** сейсмические исследования литосферы на Р- и S-волнах [Текст] / С. В. Крылов, Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1993. – 199 с.
6. **Мишенькина, З. Р.** Использование линеаризованной постановки обратной кинематической задачи для двумерных полей времен $t(x, l)$ рефрагированных волн [Текст] / З. Р. Мишенькина, И. Ф. Шелудько, С. В. Крылов // Численные методы в сейсмических исследованиях. – Новосибирск : Наука, 1993. – С. 140–152.
7. **Новая** технология глубинных сейсмических исследований с использованием мощных передвижных виброисточников [Текст] / В. С. Сурков, А. В. Липилин, А. С. Сальников [и др.] // Докл. Междунар. геофиз. конф. и выставки «Геофизика XXI века – прорыв в будущее». – М., 2003.
8. **Новые** геотехнологии и комплексные геофизические методы изучения внутренней структуры и динамики геосфер. Вибрационные геотехнологии [Текст] / А. С. Алексеев, В. С. Селезнев, Б. М. Глинский [и др.]. – М. : Мин-во промышленности, науки и технологий, 2002. – 474 с.
9. **Сальников, А. С.** Технология сейсмотомографической переобработки материалов региональной сейсморазведки на территории Сибири [Текст] / А. С. Сальников, В. М. Марков, И. Ф. Шелудько // Докл. Всерос. сем. «Методы, технические средства, методика обработки и интерпретации геолого-геофизических исследований при создании государственной сети опорных геофизических профилей». – Новосибирск, 2001. – С. 127–137.
10. **Рациональный** комплекс сейсмических исследований на опорном геофизическом профиле 2-ДВ (Северо-Восток России) [Текст] / В. С. Сурков, А. В. Липилин, Л. Л. Фельдман [и др.] // Сейсмические исследования земной коры : Сб. докл. междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию акад. Н. Н. Пузырева. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – С. 269–274.
11. **Строение** земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану [Текст]. – М. : Наука, 1964. – С. 117–127.
12. **Строение** земной коры Магаданского сектора Северо-Востока России по данным ГСЗ [Текст] / В. С. Сурков, А. С. Сальников, В. Л. Кузнецов [и др.] // Структура и строение земной коры Магаданского сектора России по геолого-геофизическим данным. – Новосибирск : Наука, 2007. – С. 13–21.
13. **Физические** свойства минералов и горных пород при высоких термодинамических параметрах : Справочник [Текст] / Под ред. М. П. Воляровича. – М. : Недра, 1988. – 255 с.