ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ РАЙОНА ПОЛУОСТРОВОВ СРЕДНИЙ – РЫБАЧИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОГТ, ГСЗ, МРС

Шаров Н.В – Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск
Исанина, Э.В. Крупнова Н.А. – ФГУГП «Урангео» СЗФ «Невскгеология», С-Петербург
Пожиленко В.И. – Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты
Ступак В.М. – ПСМО «Спецгеофизика», С-Петербург

Аннотация. В статье, на основе анализа и обобщения всей совокупности имеющейся сейсмической информации, даются современные представления о глубинном строении земной коры полуостровов Средний и Рыбачий. При сопоставлении и комплексной интерпретации временных разрезов ОГТ, многоволновых разрезов МРС и геологических данных выявлено, что результаты сейсмических методов заметно различаются, однако для геологической интерпретации важны данные обоих методов т.к. они подчеркивают различные особенности среды.

THE AUTHENTICITY INCREASE OF THE RYBACHI AND SREDNI PENINSULAS OF THE EARTH'S CRUST GEOLOGICAL MODELS ON THE BASE OF INTEGRATED SEISMIC METHODS: CDP, DSS, ECWM

Sharov N.V. – Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk
Isanina E.V., Krupnova N.A. – «Nevskgeologia», SGC, St. Peterburg
Pozhilenko N.A. – Geological Institute, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatiti
Stupak V.M. – Spetsgeophizika, St. Peterburg

Abstract. Modern concepts of the deep structure of the earth crust, based on the analysis and generalization of seismic data are presented. Correlation and integrated interpretation of CDP time sections, ECWM multi-wave sections and geological data show that the results obtained by the seismic methods differ markedly, but the data obtained by both methods are important for geological interpretation because they emphasize different environmental characteristics.

Введение

К настоящему времени на северо-западе Кольского полуострова выполнен большой объем геолого-геофизических исследований. Основные результаты представлены, в частности, в монографиях [4–7]. Сейсмические работы, проведенные за последние три десятилетия на территории региона, были весьма разнообразны как по масштабам изучения строения земной коры, так и по методам. Однако некоторые результаты этих исследований до сих пор неоднозначны и весьма противоречивы [4].

Следует подчеркнуть принципиальное значение рассматриваемой территории для познания глубинного строения переходной зоны «суша-море». Здесь на сравнительно ограниченной площади соприкасаются структуры раннего докембрия северной части Балтийского щита и рифея-фанерозоя шельфовой плиты Баренцева моря. Обнаруженные на шельфе Баренцева моря месторождения нефти и газа, а также разрабатываемые медно-никелевые месторождения в Кольско-Норвежском блоке Балтийского щита, делают очевидной необходимость более тщательного и детального доизучения глубинного строения участка суши полуостровов Средний – Рыбачий и прилегающей части Баренцево-морского шельфа.

Некоторые результаты сейсморазведочных работ

В 1988–1997 гг. СЗФ «Невскгеология» выполнены исследования МОВЗ-МРС (метод обменных волн от землетрясений – метод разведочной сейсмологии) на территории Печенгского района Мурманской области (рис. 1). Проведены профильно-площадные исследования масштабов от 1:50000 до 1:500000. При работах этим методом помимо регистрации сейсмических волн от землетрясений регистрируются сигналы искусственных сейсмических источников возбуждения (взрывы в скважинах, шахтах и карьерах, сигналы пневмоизлучателя из акватории). В 1995 г. одновременно с проведением работ МРС на профи-

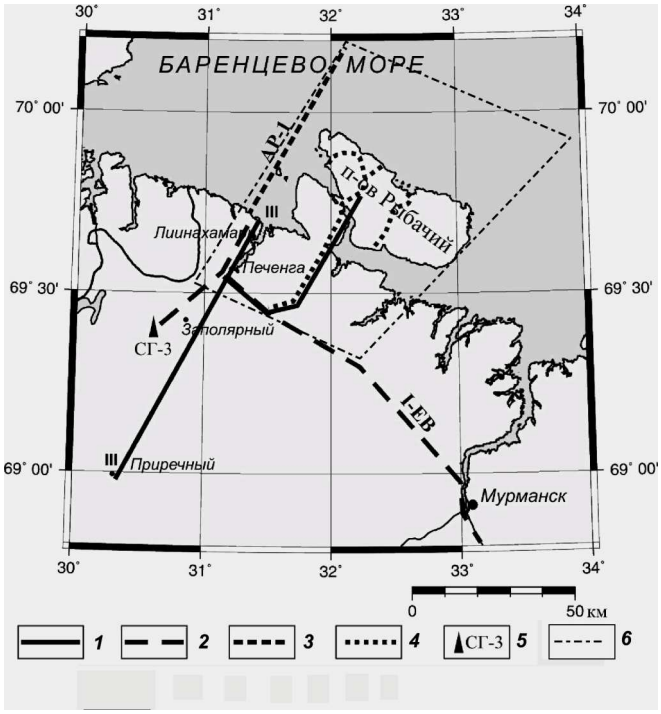

Рис. 1. Изученность северо-запада Кольского полуострова сейсмическими методами: 1–профили МОВЗ, выполненные СЗФ «Невскгеология»; 2–северный участок геотраверса 1-ЕВ; 3–опорный профиль АР-1; 4–профили ОГТ на п-ове Рыбачий; 5–положение скважины СГ-3, 6–участок предлагаемых сейсмических работ МРС

ле III (Приречный – Лиинахамари) выполнялась регистрация сигналов пневмоизлучателей из акватории Баренцева моря (профиль АР-1).

При совместном анализе многолетних сейсмических исследований района бурения Кольской сверхглубокой скважины СГ -3, геологических и сейсмических данных по южному участку морского геотраверса АР-1 авторами была построена объемная сейсмотомографическая модель северо-западного склона Балтийского щита и двумерная модель переходной зоны «суша-море» [3, 8].

По профилю III был построен комплексный разрез, включающий глубинный разрез МОВЗ и сейсмотомографический (СТ) разрез. Была выделена зона понижения скорости продольных и поперечных волн на глубинах 6–14 км. Обнаружена тенденция продолжения зоны инверсии скоростей в южной части Баренцевоморской шельфовой плиты [8].

При рассмотрении материалов МОВЗ и сейсмотомографии можно отметить, что волноводная зона разделяет разрез на два горизонтальных блока: от поверхности до глубины около 6 км и от 15 км и глубже, а зоны тектонических нарушений различной глубины заложения определили дифференциацию разреза по латерали [1, 8]. Область повышенной скорости, выделенная на глубинах 18–22 км, расположена на участке земной коры, где к глубинному Луоттинскому разлому причленяется менее мощная северная ветвь. Возможно, что поднятие границы Мохоровичича на 3–4 км южнее Луоттинского разлома связано со сложными процессами рифтогенеза, в результате чего и появился из верхов мантии в этой внутрикоровой структуре высокоскоростной геологический объект. Хотя наиболее вероятно, что современное положение есть суть современного физического состояния вещества коры. Необходимо помнить, что со времени формирования Печенгско-Варзугского палеорифта прошло около 2 млрд. лет, и на последнем этапе его жизни свекофеннские проницаемые зоны прожили условно краткий эпизод. Их пространственное положение ограничено и нет никаких подтверждений тому, что они могли быть на достаточном удалении, то есть в пределах современной границы «щит-плита», и быть перспективными на открытие более крупного стратиформного полиметаллического оруденения, как это считают В.И. Казанский, К.В. Лобанов [3]. Наиболее вероятно, переходная зона «суша-море» Баренцевоморского шельфа, согласно схеме нефтегеологического районирования Баренцево-Карского региона, может быть перспективной на поиски нефтегазоносных структур.

По результатам региональных работ МОВЗ-МРС, полученным СЗФ «Невскгеология» в 1993 г. по профилю Печенга – Рыбачий (рис. 2), были выделены две глубинные (сквозькоровые) зоны тектонических нарушений, отождествляемые с Воронье-Колмозерской (В-К) и Троллфиорд-Рыбачий-Кильдин (Т-Р-К) системами разломов, между которыми заключен узкий фрагмент земной коры Мурманского блока. Высокая обменоспособность в верхней части разреза (до глубины 10 км) ука-

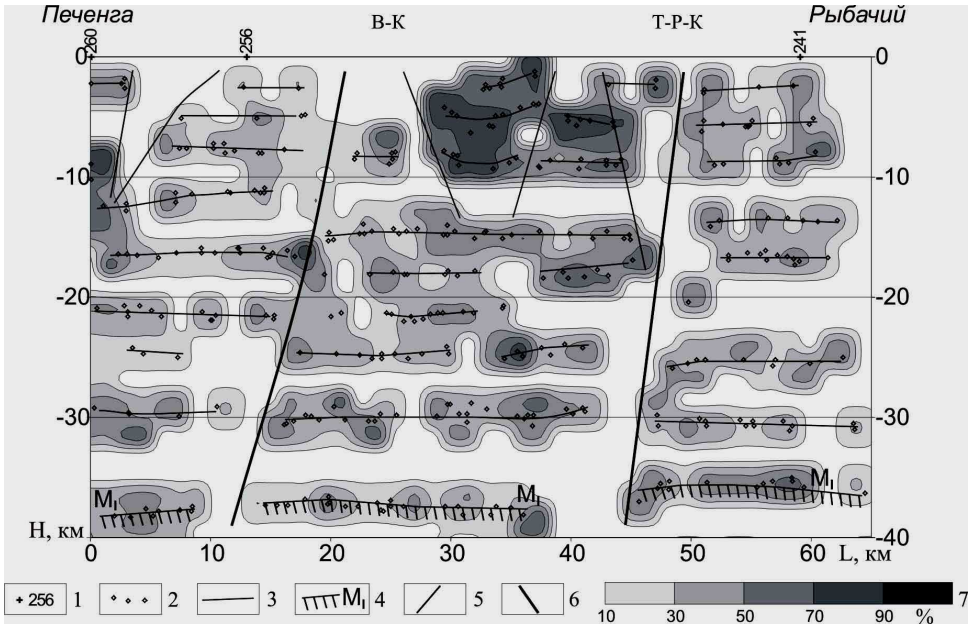

Рис. 2. Глубинный сейсмологический разрез и обменоспособность среды по профилю Печенга - Рыбачий. Составила Э.В. Исанина. 1 – точки наблюдений и их номера; 2 – точки проявления обменных волн от землетрясений; 3 – границы, выделенные по обменным волнам; 4 – кровля зоны перехода кора-мантия; 5 – внутрикоровые разломы; 6 – транскоровые разломы; 7 – обменоспособность среды.

зывает на высокое напряженное состояние этого участка земной коры.

К сожалению, для района полуостровов Средний – Рыбачий нет системы сейсмических наблюдений, позволяющих провести сейсмотомографический анализ и построить модель переходной зоны от Балтийского щита к шельфу Баренцева моря в динамических и скоростных параметрах.

Выполненные работы ФГУГНПП «Спецгеофизика» методом ОГТ на полуостровах Средний и Рыбачий (рис. 3, цветная вкладка) позволили получить представление о весьма сложной структуре верхней части земной коры. Структура сейсмического разреза МОГТ достаточно четкая до глубины примерно 2,5 км (рис. 4). Здесь отмечается целая серия динамически выраженных «сильных» отражающих границ. Их реальное существование не могло вызывать никаких сомнений. Эти границы должны были быть зафиксированы в материалах бурения, хотя их положение по глубине могло отличаться от буровых данных на несколько процентов в силу погрешности определения скоростей сейсмических волн. Сам структурный характер сейсмического разреза позволял уверенно говорить о наличии мощного расслоенного осадочного чехла верхнего протерозоя, по край-

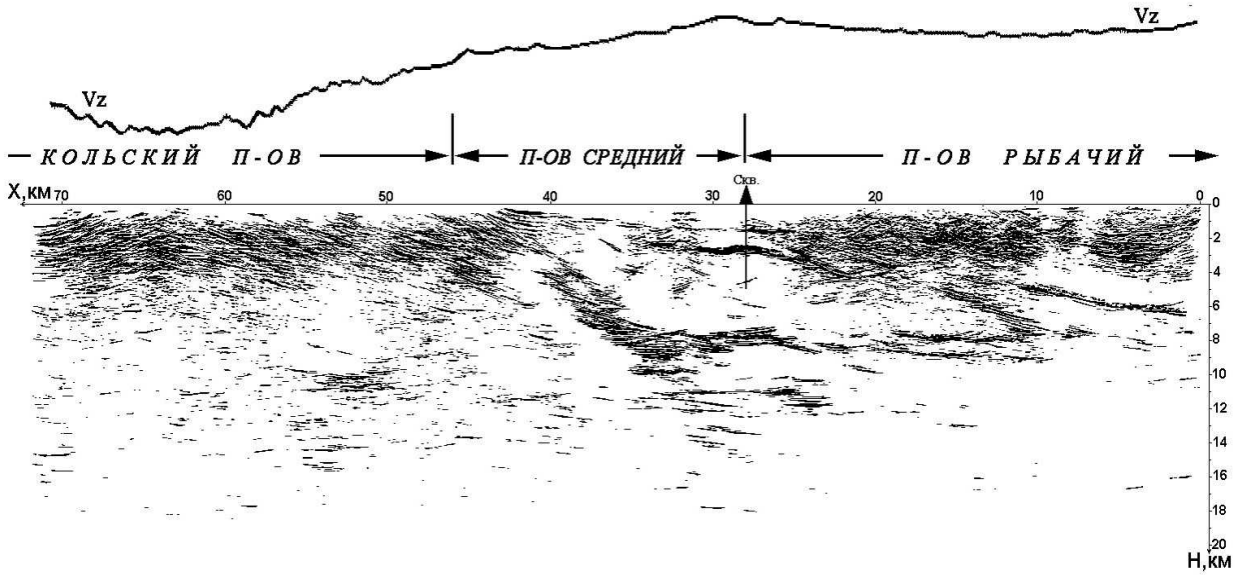

Рис. 4. Глубинный разрез МОВ-МДС и график гравитационного поля по профилю 1 (ФГУ ГНПП «Спецгеофизика», 2001 г.)

ней мере, до глубины около 2,5 км. Ниже в разрезе картина МОГТ становиться существенно нерегулярной (неслоистой). Но, тем не менее, предполагалось продолжение рифейских осадочных образований. Подтверждением мог служить глубинный структурный разрез МДС (рис. 4), где достаточно отчетливо рисовалась мощная клиноформа, образованная на склоне Балтийского щита. Подошва клиноформы предполагалась на глубине 8 км, где, возможно, могла находиться поверхность кристаллического фундамента AR-PR_1.

Региональная морфоструктура разрезов МОВ (МОГТ-МДС) и МОВЗ находится в хорошем соответствии (рис. 2, 4), не вызывают сомнения данные обоих методов о наличии в разрезе двух принципиально различных геоблоков земной коры. Граница этих мегаблоков устанавливается в районе ПК 33-45. Гравиметрические материалы вполне однозначно подтверждают наличие двух разных по плотности блоков земной коры, географически совпадающих с сейсмическим распределением.

Региональные тектонические особенности совпадают для обоих методов в верхней части земной коры (рис. 5, цветная вкладка) однако их глубинная природа имеет разную информативность у разных методов. Так детальность и количество тектонических элементов в верхней части разреза существенно преобладает в материалах МОВ. Однако глубина заложения внутрикоровых разломов, и тем более мантийных, может быть установлена лишь по данным МОВЗ. В этом аспекте данные МОВ и МОВЗ дополняют друг друга, что в свою очередь повышает геологическую информативность сейсмических исследований.

Структура сейсмических границ (отражений и обмена) не совпадает. Точнее, наблюдается несогласованность сейсмической фактуры МОВ с результатом интерпретации данных МОВЗ. Самым важным моментом здесь является то, что точки обмена достаточно точно «ложатся» на сейсмические структуры МОВ, как на явные отражающие границы, так и на определенные косвенно элементы (разломы, надвиги и т.п.). Но линейная интерполяция между точками МОВЗ не соответствует реальной структурной ситуации, особенно в областях наклонного залегания сейсмических границ. Основной причиной такого несоответствия является большая «разреженность» системы наблюдений МОВЗ (Δx = 5–10 км) и жесткая привязка расчетного (математического) аппарата к горизонтально-слоистой модели среды. Это не позволяет обеспечить корреляцию более «тонкой» структуры верхней части земной коры. В то же время разрешение МОВ-МОГТ-МДС достигает первых десятков метров, а шаг построений по латерали – 25–50 м.

Были построены сейсмогеологические разрезы до глубин 14–16 км, один из которых опубликован в монографии [4, стр. 94] и приведён на рис. 6. Геологическая интерпретация МОГТ вряд ли могла быть однозначной в связи с неоднозначностью трактовки стратиграфической последовательности свит и серий терригенных пород рифея, выделенных на полуостровах Средний и Рыбачий, между собой, а также с образованиями сопредельных рифейских структур. Наиболее чётко была выделена граница «***L***». Глубина отложений до этой границы вблизи перешейка между Средним и Рыбачьим около 1800 м. В месте положения пробуренной на Среднем скважины П-1 [5] граница «***L***» расположена на глубине около 1200 м, то есть практически точно соответствует границе между рифейскими породами и фундаментом (1100 м), вскрытой скважиной (Пограничная) П-1 [2].

Предположения о наличие на полуострове Средний ниже границы «***L***» отложений рифея (R_3?, ryb? серии), показанных на рис. 6, не оправдались. С глубины 1100 м и до глубины 4500 м скважиной вскрыты метаморфические породы (гнейсы, мигматиты, амфиболиты и др.), вероятно, раннего докембрия, с дайками кайнотипных долеритов [2]. Такое существенное несоответствие объясняется, скорее всего, ошибкой в определении скоростных параметров и, как следствие, – ошибочной геологической интерпретацией разреза. Конечно, в столь сложнопостроенной среде, каковой является участок земной коры полуостровов Средний – Рыбачий, осуществлять закладку параметрической глубокой скважины по профилю, выполненному единственным

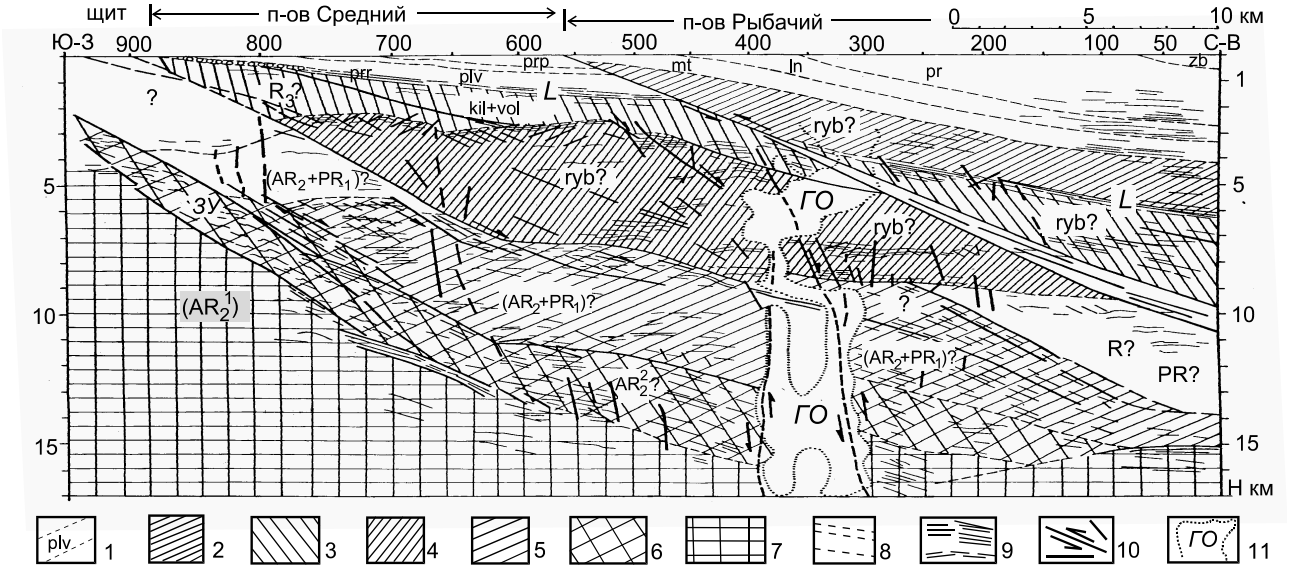

Рис. 6. Сейсмогеологический разрез по профилю I-I (р.Титовка – п-ов Средний –п-ов Рыбачий). Составил В.И. Пожиленко [3]: 1 – подписи на рисунке: свиты, слагающие верхнюю часть разреза (mt – мотовская, ln – лонская, pr – перевальная, zb – зубовская, tsn – цыпнаволокская, sk – скорбеевская, prr – перяярвинская, plv – палвинская, prp – поропелонская); *L* – граница, четко выраженная отражающими площадками; 2-7 – фрагменты коры, сложенные образованиями, стратиграфическая принадлежность которых предположительна: 2 – возможные отложения рыбачинской серии; 3 – возможные отложения рыбачинской серии в северо-восточной части разреза и кильдинской и волоковой серий в юго-западной части разреза; 4 –-возможные отложения рыбачинской серии; 5 – возможные отложения нижнего протерозоя, либо нижнего протерозоя и верхнего архея; 6 – возможные верхнеархейские образования с многочисленными зонами ультрабластомилонитизации (ЗУ); 7 – верхне- и позднеархейские образования. 8 – предполагаемые геологические границы свит. 9 – отражающие площадки. 10 – разрывные нарушения. 11 – гомогенные области (ГО) разреза, в пределах которых отсутствуют отражающие площадки

геофизическим методом ОГТ, было весьма опрометчиво.

При сопоставлении северной части разреза МОВЗ по профилю Печенга – Рыбачий, где хорошо прослежена в обменных волнах граница с глубиной 2,2–2,7 км, с разрезом по профилю «суша-море» [3] можно предположить, что на юге полуострова Рыбачий мощность рифейских отложений (кровля кристаллического фундамента) находится на глубине 2,2–2,7 км. Но если граница «***L***» на разрезе по полуострову Рыбачий имеет такой же физический и геологический смысл, как на полуострове Среднем, то мощность рифейских отложений может достигать 5–6 км, при условии, что «толща» (ryb?) мощностью около 1,5 км, расположенная над границей «***L***», сложена породами рыбачинской серии.

Для корреляции геолого-структурных построений необходимо выполнить детальные сейсмические работы МРС на полуостровах Средний и Рыбачий с целью построения объемной сейсмотомографической модели региона. Участок предлагаемых детальных работ выделен на рис. 1 штрих-пунктирной линией.

Существует неплохая возможность уверенной регистрации при работах МРС записей от далеких землетрясений и пневмоизлучателей из акватории (рис. 8).

Длина годографа может достигать 200 –250 км, что позволит построить разрезы на глубину всей земной коры до верхов мантии. Расположение карьеров Мурманской области с источниками мощных взрывов исключительно благоприятно для получения встречных годографов по отношению к морским источникам (северное направление). На суше будут уверенно регистрироваться как продольные, так и поперечные волны, что позволит пронаблюдать дифференциацию таких физических параметров как Vp, Vs и коэффициент Пуассона. Расположение точек регистрации и источников должно обеспечить ин-

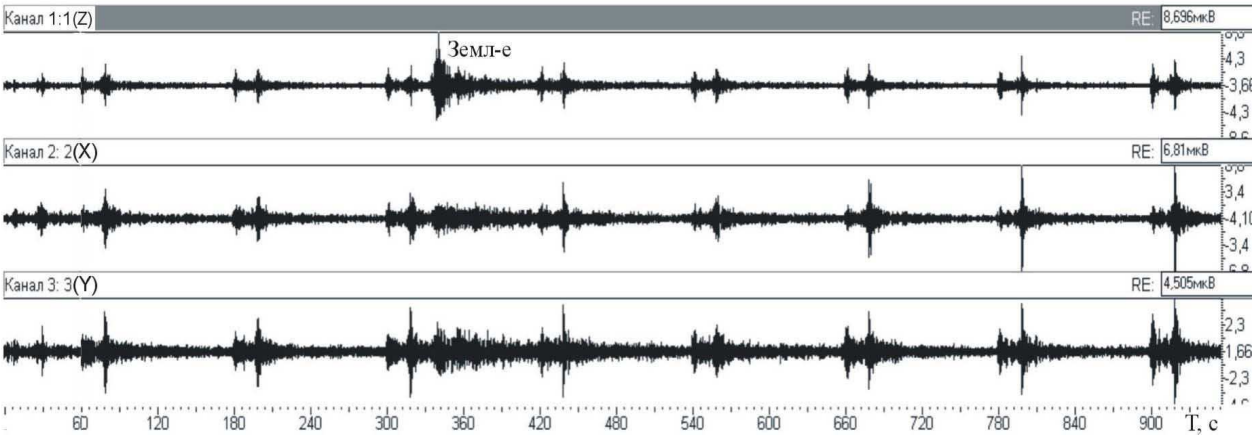

Рис. 8. Пример регистрации на суше сигналов пневмоизлучателя и землетрясения. Фильтр 6–9 Гц

формацию о глубинном строении на площади около 5000 км^2.

Кроме наблюдений на земной поверхности, необходимо выполнять наблюдения внутри геологической среды в скважинах на полуострове Среднем и в СГ-3.

Особенности глубинного строения, полученные при совместном анализе и интерпретации уже имеющихся и вновь полученных данных, позволят ответить на вопрос о взаимодействии главных тектонических элементов Балтийского щита: Кольско-Норвежского и Мурманского блоков и примыкающих к ним с севера структур неметаморфизованных рифейских отложений, разделенных линеаментом Троллфиорд-Рыбачий-Кильдин. Новые сведения о глубинном строении позволят уточнить перспективы обнаружения на площади работ крупных месторождений углеводородного сырья.

При высоком минерагеническом потенциале переходной зоны «суша-море» затраты на более обоснованный прогноз обнаружения крупных месторождений путем проведения детальных сейсмических работ МРС и наблюдений в скважине будут оправданы в ближайшие годы.

Район полуостровов Среднего и Рыбачьего является наиболее доступным для изучения с поверхности на суше участком зоны сочленения кристаллических пород раннего докембрия с рифейскими шельфовыми терригенными образованиями.

Авторы предлагают расположить систему трехкомпонентных наблюдений на суше и в акватории одновременно, что позволит получить непрерывную информацию о строении Земной коры (ЗК) в зоне перехода суша-море. С учетом материалов ГСЗ – МРС, полученных на участке СГ-3 – Баренцево море на профилях I ЕВ; I АР;III МРС-МОВЗ (суша-море), новые данные позволят дополнить базовую матрицу сейсмотомографических данных в районе Печенгско-Аллареченской площади, распространив построение объемной сейсмотомографической модели строения ЗК в область неизученной части Кольского полуострова глубинными методами – область сочленения Баренцевоморской шельфовой плиты с геологическими структурами полуостровов Среднего и Рыбачьего.

Обоснование комплексного подхода к изучению опорных структур и рудных районов

Единой технологии непрерывного изучения геологического разреза литосферы с заданной точностью и достоверностью каким-либо одним сейсмическим методом в настоящее время не существует не только в России, но и за рубежом. Попытки «углубить» наиболее элитарные методики типа МОГТ в силу технических, а главное экономических причин не представляются реальными в широком масштабе, по крайней мере, в ближайшие годы. В сложившийся обстановке необходимо все-таки определить некий оптимум между технологическими, экономическими и геологическими показателями, позволяющий преодолеть ограничения экстремальных подходов. Наиболее целесообразным представляется совмещение технологий ОГТ-

МРС-ГСЗ. Следует подчеркнуть, что физическая основа ГСЗ, МРС и ОГТ одна и та же, поэтому рассуждения о принципиальных различиях методов – неуместны. Каждый из этих методов имеет как свои преимущества, так и недостатки, основанные на природе, физических характеристиках используемых типов волн.

ОГТ наиболее распространенный метод сейсмических исследований, основанный на определении отражающих характеристик среды и использующий, соответственно, отраженные волны. Самый распространенный сейсмический метод, безусловно доказавший свою состоятельность, особенно эффективен при восстановлении структур с явно выраженными квази-горизонтальными границами, в первую очередь в осадочном чехле. ОГТ позволяет получить высокоразрешенный как по горизонтали, так и по вертикали разрез до кровли фундамента. В средах, не содержащих контрастных отражающих горизонтов и имеющих крутые углы наклонов границ или тектонических нарушений, возможности метода значительно снижаются. Например, при исследовании кристаллического фундамента Балтийского щита ОГТ в лучшем случае позволяет выделить только кровлю и подошву фундамента, местами – границу Мохо и, возможно, границу между верхней и нижней корой.

ГСЗ оперирует, главным образом, с преломленными и закритическими отраженными волнами, и одним из его главных плюсов является возможность восстановления не только протяженных, ярко выраженных преломляющих границ, но и неоднородностей с плавными изменениями скоростных параметров. Другое важное преимущество ГСЗ – глубинность исследований, значительно превышающая возможности ОГТ. Суммарно ГСЗ позволяет получить достаточно дифференцированный разрез земной коры и верхней мантии. В тоже время необходимо отметить, что разрешенность метода, особенно для верхней части разреза (осадочного слоя), резко уступает работам ОГТ.

МРС базируется на использовании волн от разноудаленных сейсмических источников (землетрясений, взрывов) с целью построения разреза среды под точками приема от землетрясений и все типы волн (отраженные, преломленные, обменные, продольные и поперечные) от взрывов. МРС в основном регистрирует преломленные продольные и обменные волны и позволяет восстановить характеристики обменоспособности среды – свойства среды конвертировать продольные волны в поперечные. Данный параметр практически не изучается в ОГТ, ГСЗ и представляет собой дополнительную информацию для геологических и геодинамических построений. МРС также характеризуется максимальной глубинностью исследований среди всех трех методов и, соответственно, разрешенностью, зависящей от типа источников.

Как видно из данного обзора вышеперечисленные методы не противоречат, а удачно дополняют друг друга. Идея их совместной интерпретации состоит в том, что недостатки одного метода могут быть частично устранены за счет преимуществ другого, что в конечном итоге позволит получить более достоверную геологическую модель исследуемого региона. Реализация данного подхода должна состоять в итерационном построении непротиворечивой модели по данным всех методов в направлении от менее разрешенных построений к более разрешенным или от менее глубинных к более глубинным. Трехкомпонентная регистрация смещения почвы на профилях (ГСЗ-МРС-ОГТ) позволяет проводить комплексную интерпретацию преломленно-рефрагированных, отраженных продольных, поперечных и обменных волн и на основе согласованных скоростных законов выполнять построение глубинных разрезов, уточненных с помощью решения прямой задачи. Новый этап интерпретации материалов связан также с переходом к трехмерному изучению среды методом сейсмической томографии.

Глубинное строение земной коры сопредельных участков «суша-море», конечно, должно изучаться комплексом сейсмических методов в профильно-площадной модификации, использующих широкий спектр источников (взрывы, пневмоизлучатели, землетрясения) и трехкомпонентную запись: ГСЗ, МРС, МОВ-ОГТ с построением объемных глубинных и сейсмотомографических моделей строения земной коры.

Таким образом, глубинные и сейсмотомографические разрезы по линии СГ-3 – скважина Пограничная – Баренцево море и срезы, построенные в результате предлагаемых детальных работ, позволят определить расслоенность структур и тектоническую обстановку, оценить влияние зон Воронье – Колмозерской и Троллфиорд – Рыбачий на глубинное строение региона и морфологию внутрикоровых границ.

Полученные результаты позволят минимизировать затраты на выбор перспективных площадей для организации поисковых работ на полуостровах Средний – Рыбачий и прилегающем шельфе Баренцева моря.

Конечно, предсказания и прогноз – дело неблагодарное, но периодически их приходится делать. Чем обширнее и качественнее материалы, обосновывающие прогноз, тем надежнее сам прогноз.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-08-01340 и грант 05-05-65081.

Литература:

1. Глубинное строение и сейсмогеологические границы Печенгского района на Балтийском щите и смежной части шельфовой плиты Баренцева моря / Э. В. Исанина, М. Л. Верба, Н. М. Иванова и др. // Геология рудных месторождений, 2002. Т. 42, № 5. С. 476–487.

2. *Куликов Н.В., Коновалов В.А., Медведев С.А., Чигвинцев В.Д.* Новые данные о геологическом строении севера Кольского полуострова // Разведка и охрана недр, 2007. № 4. С. 22–25.

3. От разреза Кольской сверхглубокой скважины к глубинной модели района бурения: корреляция структурно-петрологических, петрофизических и сейсмических данных / В. И. Казанский, К. В. Лобанов и др. // Российский геофизический журнал, 2006. №41-42. С. 7–15.

4. *Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д.В., Жабин С.В.* Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 2002. 359 с.

5. Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Баренц регион / Отв. ред. Ф. П. Митрофанов, Н. В. Шаров. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. Ч. I 237 с., Ч. II 205 с.

6. Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Лапландско-Печенгский район / Отв. ред. Н. В. Шаров. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 226 с.

7. Строение литосферы российской части Баренц-региона / Отв. ред. Н. В. Шаров, Ф. П. Митрофанов, М. Л. Верба, К. Гиллен. Петрозаводск: Изд-во КНЦ РАН, 2005. 318 с.

8. *Шаров Н. В., Исанина Э. В., Крупнова Н. А.* Глубинное строение района бурения Кольской сверхглубокой скважины // Уральский геофизический вестник, 2005. №8. С. 68–78.

К статье Шарова Н.В., Исаниной Э.В. и др. «Повышение достоверности геологических моделей...»

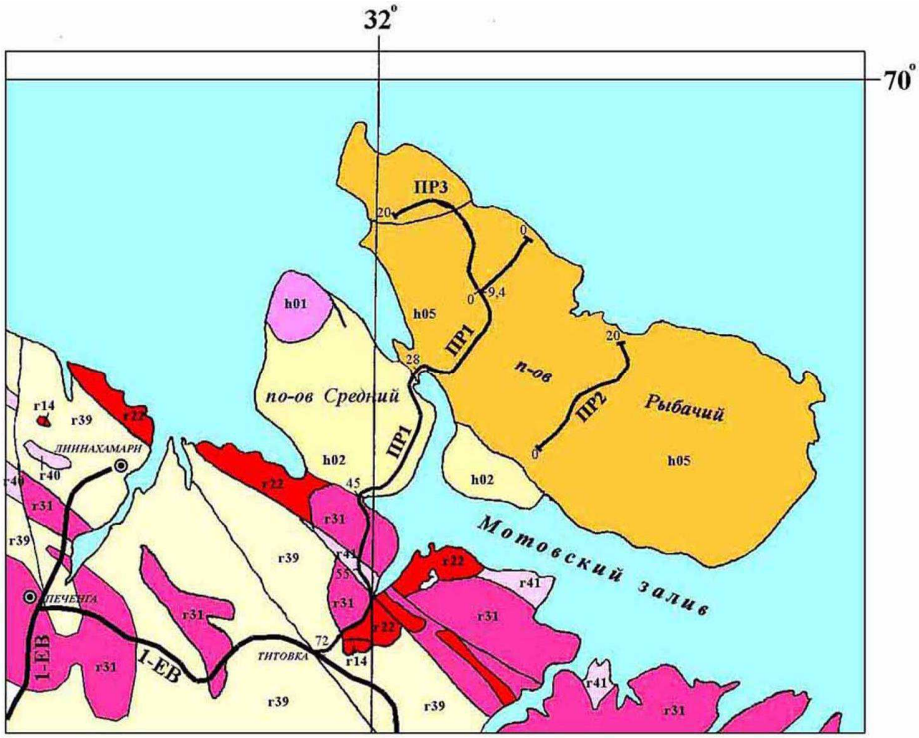

Рис. 3. Схема расположения сейсмических профилей МОГТ (ФГУ ГНПП «Спецгеофизика», 2001 г.)

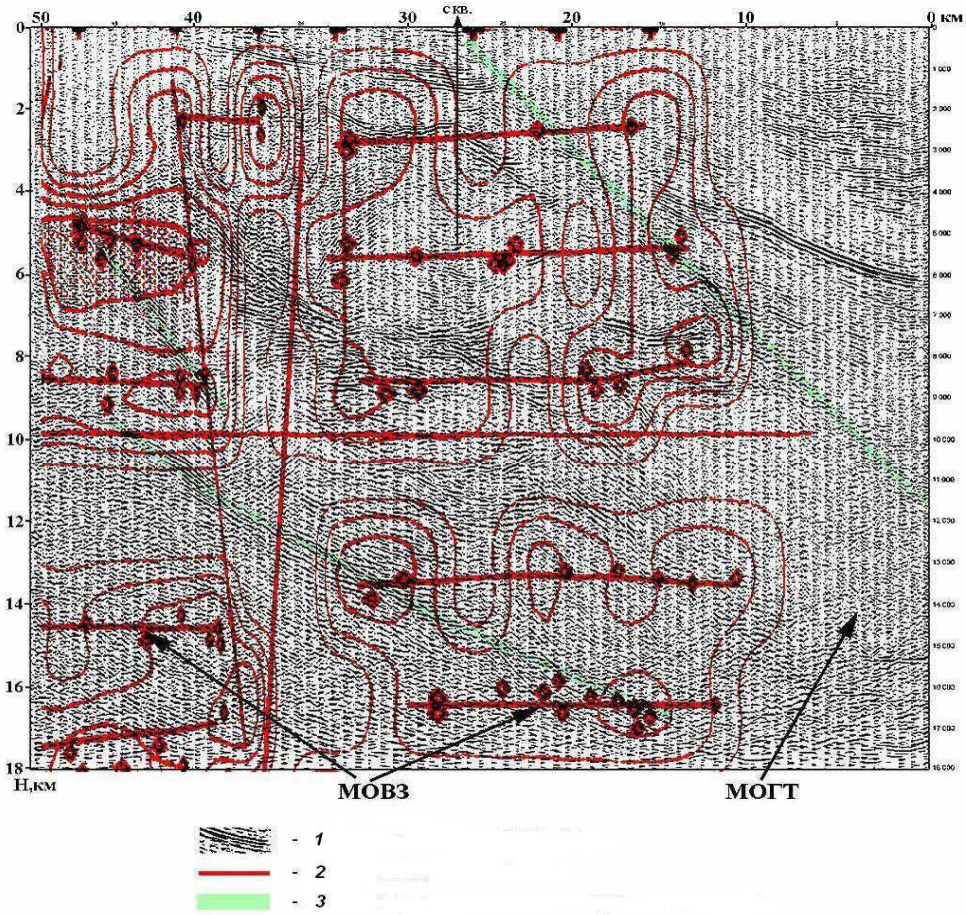

Рис. 5. Совмещенный разрез МОВЗ–МОГТ по профилю 1. Составили: Э.В. Исанина, В.М. Ступак; 1–сейсмические границы МОВ–ОГТ, 2–сейсмические границы МОВЗ, 3–крупные структурные элементы по данным МОВ–ОГТ