

УДК [550.832.42+550.834]: 551.71/72

А.Г.ГОНЧАРОВ, К.А.КАЛЬНИН,
М.Д.ЛИЗИНСКИЙ, Л.Н.ПЛАТОНЕНКОВА,
Т.Н.ФОМИНА

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЬСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ - ПУТЬ К ИЗУЧЕНИЮ ПРИРОДЫ ГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ

В 1958 г. И.В.Литвиненко положил начало сейсмическим исследованиям консолидированной земной коры на Балтийском щите: впервые были выполнены глубинные сейсмические зондирования в Карелии. С 1958 по 1985 г. под руководством И.В.Литвиненко на Кольском полуострове, в Карелии и в Прибалтике методом отраженных волн и глубинного сейсмического зондирования отрабатано несколько тысяч километров профилей, а также проведено вертикальное сейсмическое профилирование десятков скважин, в том числе Кольской сверхглубокой до глубины 12 км. Результаты этих исследований изложены в серии отчетов, статей и монографий. В отличие от осадочных бассейнов, где поиски месторождений нефти и газа уже много лет немислимы без сейсморазведки, кристаллический щит для сейсмических исследований является нетрадиционным объектом. Чтобы обеспечить эффективность применения сейсмического метода для исследования консолидированной коры до глубины 40-50 км, необходимо было решить комплекс технологических задач: изучить сейсмогеологические условия, выбрать оптимальную методику наблюдения волновых полей, найти способы их интерпретации, а также выполнить огромный объем полевых работ. Все это усугублялось бездорожьем и, главное, трудностями финансирования, которые вызывались понятным скепсисом к новому в условиях щита, да еще и самому дорогостоящему из всех геофизических исследований методу. Решению этих задач И.В.Литвиненко посвятил более четверти века своей жизни.

На щитах фундамент (кристаллическая часть земной коры) более чем где-либо доступен изучению, так как находится вблизи дневной поверхности. Результаты сейсморазведки показали, что скорость продольных волн в верхней части коры Балтийского щита (до глубины 9-13 км) изменяется как по горизонтали, так и по вертикали в диапазоне 5-7 км/с, однако чаще всего значения скорости не выходят за пределы 5,5-6,2 км/с. При этом латеральные изменения скорости связаны с крутыми сейсмическими границами вблизи поверхности Земли, приуроченными к разрывным нарушениям и к контактам геологических объектов, а вертикальные изменения - с пологими сейсмическими границами. Оказалось, что в глубокой части земной коры преобладают (или лучше проявляются в силу известной избирательности сейсмического метода) изменения скорости по вертикали и, соответственно, пологие границы. На основании этих

фактов И.В.Литвиненко выдвинул гипотезу о слоисто-блоковом строении консолидированной коры. Границы блоков, определенные сейсморазведкой, нередко совпадают с известными вблизи дневной поверхности разрывными нарушениями. Продолжение этих нарушений в глубокую часть коры предполагалось по некоторым качественным признакам (например, "затуханию" волн). В исследованных блоках коры были определены и показаны на сейсмических разрезах значения средней и граничной скоростей, а также положение пологих внутри-блоковых границ. Границы между блоками прослежены до глубины 3-5 км; их продолжение на большую глубину проблематично.

В дальнейшем, при обобщении сейсмических наблюдений на Балтийском щите, удалось установить, что отдельным блокам коры соответствует определенный тип первых вступлений. Численной характеристикой данного типа служит разность времени Δt_p между наблюдаемыми годографами вступлений и условным годографом $t = x/6,2$, которая в каждом блоке коры близка к постоянной величине. Величина Δt_p минимальна в тех блоках щита, где породы с высокой скоростью ($v > 6,2$ км/с) находятся вблизи дневной поверхности, и увеличивается по мере погружения высокоскоростных пород. Интерференция значений Δt_p между исследованными профилями позволяет распространить сейсмогеологическую характеристику верхней части разреза коры по площади Балтийского щита.

Классифицируя сейсмические границы щита, И.В.Литвиненко выделил три их типа: первичные, связанные с контактами пород разного состава; "тектонические" разрывные нарушения и пологие разделы, повсеместно наблюдаемые в земной коре.

Геологическая сущность двух первых типов границ, как правило, не вызывает сомнений, так как в каждом конкретном случае определяется из сопоставления результатов сейсморазведки с данными геокартирования и бурения. Несмотря на сложную геометрию этих границ, проблема их исследования не представляется неразрешимой, благодаря техническим возможностям современной сейсморазведки. В масштабах щита эти границы, связанные в каждом случае с конкретными геологическими условиями, являются локальными.

Приблизиться к определению природы пологих разделов в земной коре можно, только разобравшись в их физической сути, что затруднительно, поскольку они расположены на недоступной для обычного бурения глубине. Однако вопрос о природе пологих разделов весьма актуален, так как волны от некоторых из них наблюдаются во многих регионах планеты.

Первые глубинные границы были выявлены сейсмологами А.Мохоровичичем (1909) и В.Конрадом (1925) и названы в их честь. Определяющими параметрами обеих границ являются значения скорости продольных волн: около 8 км/с для границы Мохоровичича и около 7,0 км/с — для границы Конрада. Первая прослеживается в пределах континентов почти повсеместно на глубине в несколько десятков километров и принимается за границу раздела земной коры и верхней мантии; вторая связана с нижним интервалом континентальной коры, и некоторые исследователи склонны считать ее разделом между "гранитным" и "базальтовым" слоями. Граница Конрада может быть объяснена существенным

увеличением основности пород в нижней части коры. Глубинными сейсмическими зондированиями на Балтийском щите было выявлено, кроме волн от обеих границ, несколько групп волн от пологих границ на глубине от 5 до 20 км. Данные этих наблюдений сначала интерпретировались в рамках сравнительно простой модели: волны в первых вступлениях считались преломленными, а соответствующие им границы — преломляющими. Однако последующая проверка путем решения прямой сейсмической задачи показала несостоятельность такой модели коры.

Программа расчета волновых полей в сложно построенных средах, адекватных земной коре Балтийского щита, была создана совместными усилиями сотрудников Ленинградского отделения математического института^х АН СССР и Ленинградского университета. И.В.Литвиненко интересовался этой работой и всячески поддерживал ее. Расчеты, выполненные в Горном институте по этой программе, показали, что для согласования теоретических и наблюдаемых волновых полей необходима довольно резкая дифференциация разреза по скорости. Ее можно обеспечить введением в сейсмические модели объектов как с повышенной, так и с пониженной скоростью. В таких моделях с глубиной меняется не только величина, но и знак вертикального градиента скорости. Таким образом, под сомнением оказалось традиционное представление о том, что скорость с глубиной может только увеличиваться.

Численным моделированием разрезов и волновых полей было установлено, что для восточной части Балтийского щита наиболее вероятен инверсионный характер изменения скорости с глубиной. Только при этом удается получить решение прямой задачи сейсмологии, адекватное наблюдаемому волновому полю.

В сейсмических моделях коры и верхней мантии щита протяженные объекты с повышенной скоростью условно представлены слоями ограниченной мощности. Между ними предполагаются интервалы разреза с меньшей скоростью — волноводы. Значения скорости в волноводах и их строение не могут быть однозначно определены по наблюдениям на дневной поверхности, так как эта задача имеет множество эквивалентных решений. В случае наблюдений ГСЗ, для которых типично прослеживание волн на значительных удалениях от источника, а близвертикальные отражения регистрируются крайне редко, диапазон этой эквивалентности еще больше расширяется. В таких условиях единственное решение, содержащее реальные данные, может быть выбрано только по наблюдениям внутри исследуемой среды, в скважине.

Численное моделирование волновых полей, наблюдаемых на поверхности щита, также показало, что время и скорость волн в первых вступлениях в значительной степени определяются элементами коры с относительно большой скоростью, «экранирующими» более глубокие волноводные интервалы разреза. Кажущаяся скорость волн, отраженных от границ, которые находятся глубже «экранирующих» объектов, не может быть меньше скорости, свойственной этим объектам.

^х Матаева Н.Н. Программа решения прямой и обратной кинематической задачи сейсмологии // Программы для интерпретации сейсмических наблюдений. Л.: Наука, 1972. Ч.1. С.201-228.

Вблизи дневной поверхности к таким высокоскоростным объектам относятся, в частности, области сочленения крупных блоков щита, сложенные метаморфизованными вулканогенно-осадочными толщами протерозойского возраста. Именно в такой, типичной для Карело-Кольского региона, области расположена Печенгская грабен-синклираль и приуроченные к ней медно-никелевые месторождения.

Благодаря сравнительно детальной изученности земной коры Балтийского щита, одна из скважин по программе сверхглубокого бурения в 70-х гг. была задана на Кольском полуострове. Определение природы глубинных сейсмических границ в консолидированной коре — насущная задача бурения и сейсморазведки — стала в принципе разрешимой. При выборе точки заложения скважины предпочтение было отдано Печенгскому району, в частности потому, что здесь, по данным И.В.Литвиненко, граница со скоростью, большей 6,5 км/с, предполагалась аномально близкой к поверхности Земли (на глубине около 7 км) и была доступна бурению. Считалось, что эта граница может оказаться поверхностью «базальтового» слоя в соответствии с определенной для нее скоростью. Скважина, названная Кольской СТ-3, полностью пересекла разрез печенгского вулканогенно-осадочного комплекса и углубилась в архейское гнейсовое основание.

Под руководством И.В.Литвиненко в скважине были выполнены исследования ВСП, определены значения скорости упругих волн и закономерность изменения скорости до глубины 12 км. В изученной части разреза коры максимальные значения скорости (до 6,8 км/с) соответствуют породам среднего состава, залегающим на глубине 2,8–4,5 км; глубже отметки 7 км, в гнейсовом комплексе архея, значения скорости не превышают 6,5 км/с. Вопреки ожиданиям, на глубине от 7 до 12 км не оказалось ни «базальтового» слоя, ни какого-либо другого слоя с высокой скоростью; средняя интервальная скорость на этой глубине близка к 6,2 км/с.

В 1984 г. И.В.Литвиненко выполнил в стволе Кольской СТ-3 на глубине 4–7 км наблюдения ВСП из пункта взрыва (ПВ) одного из профилей ГСЗ, пересекающего Печенгскую структуру; расстояние от ПВ до устья скважины около 40 км. На полученной сейсмограмме наблюдаются волны, предположительно отраженные от границ на глубине 5–10 км. Таким образом, исследования в стволе скважины подтвердили существование предполагаемых по наземным наблюдениям глубинных сейсмических границ, но показали, что ни одна из них не связана с «базальтовым» слоем.

По-видимому, высокая кажущаяся скорость, присущая глубинным волнам, наблюдаемым на поверхности Земли вблизи скважины, обязана своим происхождением преломлению этих волн в высокоскоростных толщах печенгского комплекса. Интерпретация наблюдаемых глубинных волн как волн, преломленных на границе со скоростью $v_2 \geq 6,5$ км/с на глубине 7–10 км, была, как теперь ясно, лишь одним из возможных решений задачи. Выбор правильного решения в этих условиях невозможен без наблюдений в скважине.

Комплексные наблюдения ВСП-ГСЗ на щите, начатые И.В.Литвиненко, не имеют прецедента. Их продолжению препятствуют как технические трудности,

так и отсутствие разработанной методики наблюдений и интерпретации. Затрудняет исследования ВСП-ГСЗ также то, что СГ-3 в режиме бурения не может быть предоставлена геофизикам на длительное время специально для выполнения этого вида работ. Поэтому до сих пор нет достоверных сведений не только о природе глубинных сейсмических границ, но даже о точной привязке наблюдаемых волн к разрезу СГ-3.

Однако из сопоставления данных ГСЗ с первыми результатами ВСП некоторые предположения о природе глубинных границ можно сформулировать уже сейчас. В волновых полях ГСЗ на щите выявлено несколько групп волн, связанных с пологими границами в земной коре. Из анализа наблюдаемых полей и их численного моделирования следует, что каждая из групп представляет собой результат интерференции волн, формирующихся в определенном интервале корн мощностью до нескольких километров. Сейсмические модели этих интервалов включают как элементы с относительно большими значениями скорости, так и волноводы. Такие модели обеспечивают адекватность теоретических и наблюдаемых волн.

Пологие границы пронизывают всю земную кору щита. Одни из них распространены на всем щите, другие в пределах отдельных блоков. Верхние из этих границ предполагаются на глубине 5-7 км, т.е. в интервале, пересеченном стволом Кольской СГ-3. Как уже говорилось, соответствующие им волны наблюдались И.В.Литвиненко внутри корн: работы ВСП-ГСЗ выполнены в скважине на глубине от 4 до 7 км. Изученная в скважине СГ-3 зависимость изменения скорости с глубиной показывает, что интервал разреза от 5 до 12 км содержит несколько волноводов, разделенных слоями с относительно большой скоростью. Таким образом, сейсмические параметры моделей корн, построенных по наземным наблюдениям, не противоречат сейсмогеологическим свойствам корн, изученным по стволу СГ-3.

В частности, используемая в так называемых градиентных моделях линейная зависимость скорости от глубины применима для осреднения значений пластовой скорости в отдельных интервалах разреза скважины. Модели с вертикальным градиентом скорости являются наиболее простыми и удобными для расчетов прямых сейсмических задач.

И.В.Литвиненко обратил внимание на необходимость согласования сейсмических срейств однородных по горизонтали слоистых моделей среды с геологическим строением Балтийского щита, известного своей неоднородностью на дневной поверхности. Поэтому заметим, во-первых, что в моделях отражены лишь наиболее общие свойства земной корн, соответствующие стабильным группам волн, и, во-вторых, что однородность интервалов нельзя понимать буквально. Постоянными по горизонтали предполагаются следующие параметры среды: средняя скорость до кровли интервала, ответственного за формирование соответствующей группы волн; мощность интервала; значения среднеинтервальной скорости внутри него и максимальной скорости в среде.

Анализ региональной составляющей волнового поля показывает, что каждый из блоков щита, как было указано выше, характеризуется своим набором пологих сейсмических границ, причем часть границ прослеживается в несколь-

Сравним годографы преломленных и отраженных волн для нескольких сейсмических моделей, каждая из которых является реализацией одной из перестановок данного набора горизонтальных слоев с постоянной скоростью (см. рисунок).

Первые вступления преломленных волн во всех случаях различны, что определяется разной скоростью в верхнем слое. Годографы отражений от границы 4 во всех случаях одинаковы, так как их кинематика от перестановки вышележащих слоев не зависит. По этой же причине одинаковы годографы отражений от границы 3 в моделях а и б (см. рисунок).

Рассматриваемые модели можно объединить в единую горизонтально-слоистую блоковую модель. Волновое поле несколько изменится за счет пересечения сейсмическими лучами контактов соседних блоков. Основные же особенности его кинематики будут аналогичны кинематике экспериментального поля: первые вступления из источников колебаний, расположенных в разных блоках, будут различными, а отражение от границы 4 одинаково независимо от положения источника. Таким образом, двумерная сейсмическая модель покрывающей среды при расчете годографа волны, отраженной от границы 4, в данном случае может быть заменена одномерной.

Те же выводы можно получить, если рассматривать вместо слоев с постоянной скоростью слои с вертикальным градиентом скорости (положительным или отрицательным). Более того, результаты будут аналогичны, если в разных блоках в интервале разреза между поверхностью наблюдений и нижней границей будет разное число слоев. Необходимо лишь, чтобы в этом интервале оставались постоянными значения средней и максимальной скорости.

Возвращаясь к эксперименту, заметим, что латеральная сейсмогеологическая неоднородность, создающая разнообразие первых вступлений сейсмических волн, не проявляется столь явно в более глубокой части разреза (или незаметна при наблюдениях на дневной поверхности?). Это дает возможность по достижении некоторой глубины (разной для разных блоков щита) рассматривать сейсмические параметры земной коры как однородные по латерали. Таким образом, обратная сейсмическая задача, не разрешимая при линейных профильных наблюдениях в условиях сложного распределения сейсмических параметров, становится корректной для глубинных волн в предположении, что сейсмические параметры в пределах каждого блока соответствуют одному из возможных вариантов модели покрывающей среды, в которой значения средней и максимальной пластовой скорости над рассматриваемой полой сейсмической границей постоянны. Неоднозначность решения при этом связана с существованием в земной коре интервалов с относительно небольшими значениями скорости (волноводами).

Вывод о том, что кинематика волн, приуроченных к региональным сейсмическим разделам, не зависит от сейсмогеологических условий в отдельных блоках, расположенных над этими границами, при соблюдении условия постоянства средней и максимальной скорости в покрывающей среде играет важную роль в объяснении природы региональных границ. Одна из них, прослеживаемая почти повсеместно в восточной части Балтийского щита, нахо-

дится в интервале глубин 9–13 км. Из анализа волнового поля следует, что максимальная скорость в земной коре выше этой границы составляет вне аномальных высокоскоростных зон щита 6,2 км/с. Как показывает рассмотренный выше пример моделирования, можно полагать, что породы с такой скоростью могут залегать как на уровне региональной границы, так и выше нее на различных глубинах, но обязательно присутствуют в разрезе. Таково одно из необходимых условий формирования соответствующей группы волн. Вывод о залегании пород со скоростью 6,2 км/с на различном гипсометрическом уровне выше региональной сейсмической границы, следующий из моделирования волновых полей, подтверждает образное представление И.В.Литвиненко о возможном «зернистом», а не слоистом строении земной коры.

Значение скорости 6,2 км/с определяет кинематику большинства глубинных волн, распространяющихся в верхней (до 9–13 км) части земной коры щита, сложенной в основном породами гранитогнейсового состава. Такая же скорость характерна для большей части гнейсового комплекса в разрезе Кольской скважины. Совокупность этих фактов указывает на то, что выше региональной границы, залегающей на глубине 9–13 км, земная кора Балтийского щита имеет преимущественно гранитогнейсовый состав.

Данные ГСЗ и МОВ, полученные под руководством И.В.Литвиненко, обеспечивают практически повсеместное прослеживание границы на глубине 9–13 км на огромной территории Балтийского щита. Эта граница условно может быть принята за подошву верхней части земной коры Балтийского щита. В верхней части разреза, по данным региональных сейсмических исследований, достоверно прослеживается латеральная неоднородность, в отличие от более глубоких частей земной коры. Подчеркнем еще раз, что под этой границей мы подразумеваем не одну поверхность, залегающую на глубинах 9–13 км в разных районах щита и разделяющую слои с разной скоростью, а именно интервал разреза мощностью несколько километров со сложной внутренней структурой, в пределах которого формируются устойчиво прослеживаемые на Балтийском щите сейсмические волны сложной интерференционной природы. Такой подход применим и к более глубоким границам, регионально прослеживаемым на щите, в том числе к границе М. Можно полагать, что для формирования волн группы М необходимо наличие пород со скоростью 8 км/с, причем возможно их различное гипсометрическое положение: как в интервале разреза, связанном с границей М, так и выше него.

На основании анализа региональной составляющей волнового поля и сопоставления результатов анализа с доступными в настоящее время данными ВСП в Кольской скважине можно сформулировать следующие основные черты сейсмических моделей земной коры Балтийского щита:

1. Кора пронизана пологозалегающими границами. Область их распространения различна: от отдельных блоков до всей территории щита.

2. Чередование слоев с повышенной и пониженной скоростью типично для всех моделей коры в диапазоне глубин от 0 до 40–50 км. Модели волноводных участков неоднозначны. Эта неоднозначность подлежит оценке в каждом конкретном случае.

3. Кинематика волн, связанных с пологими разделами коры, в основном соответствует подэкранным отражениям.

4. Порода с повышенной скоростью упругих колебаний, определяющей асимптотическое значение кажущейся скорости глубинных волн, могут находиться на разной глубине в разных блоках коры: как внутри интервалов, ответственных за формирование волн, так и над ними.

5. Латеральная изменчивость сейсмических моделей коры, доступная наземным исследованиям, характерна для верхней части коры, нижняя граница которой предполагается на глубине 9-13 км.

Современные знания о сейсмических моделях коры щита и природе глубинных ее разделов не дают ответа на целый ряд важнейших вопросов. Сформулируем их:

1. Какова внутренняя структура интервалов разреза, формирующих волны от пологих границ, т.е. как в пределах этих интервалов распределены упругие параметры по вертикали и латерали?

2. Возможны ли не только упругие, но и реологические модели пологих границ в коре?

3. Какова геологическая природа этих границ?

Очевидно, что для ответа на эти вопросы недостаточно наземных сейсмических наблюдений. Новые данные могут быть получены с помощью комплекса наземных наблюдений и исследований сверхглубоких скважин, которые пересекли пологие сейсмические разделы коры. В настоящее время существует только одна такая скважина - Кольская СГ-3.

По имеющимся данным ВСП-ГСЗ эта скважина вошла в пределы интервала, содержащего сейсмическую границу, приуроченную к подошве верхней части земной коры. Поэтому имеется реальная возможность изучения глубинных сейсмических границ на участке сверхглубокого бурения. Исследования следует развивать по следующим направлениям:

1. Развитие комплексных исследований ГСЗ и ВСП в стволе Кольской скважины, начатых И.В.Литвиненко по комбинированным системам, т.е. из общих с профилями ГСЗ источников возбуждения. Цель исследований - проследить и идентифицировать волны от региональных разделов коры на дневной поверхности и в скважине.

2. Определение глубинной привязки прослеженных в скважине волн от этих границ. Для этого необходимы векторные (трехкомпонентные) скважинные наблюдения из источников, удаленных на дистанции ГСЗ (несколько десятков километров).

Вторым обязательным условием привязки волн является моделирование волновых полей, т.е. построение теоретических сейсмограмм, адекватных наблюдаемому волновому полю. Без моделирования невозможно определить интервал разреза, ответственный за формирование глубинных волн.

3. Определение интервала глубин, формирующего волны от региональных разделов коры, что открывает возможность изучения его характеристики по упругим свойствам. В настоящее время по стволу Кольской скважины в достаточной степени изучена скорость продольных волн и плотность пород до глу-

бины 12 км. Менее надежно изучена скорость поперечных волн из-за того, что наблюдения БСП выполнены с однокомпонентным (вертикальным) скважинным прибором. Можно полагать, что применение векторных наблюдений БСП (с трехкомпонентной аппаратурой) обеспечит надежное определение этого упругого параметра.

Комплексное изучение трех параметров: скорости продольных и поперечных волн и плотности, — позволит определить условия формирования глубинных волн в рамках упругой модели. Сведения о латеральной изменчивости интервалов, в которых формируются глубинные волны, могут быть получены с помощью моделирования среды и волнового поля из удаленных от скважины источников возбуждения.

4. Тензосметрические наблюдения непосредственно в стволе скважины для выяснения, однозначна ли связь скорости упругих волн в архейском гнейсовом комплексе разреза скважины СГ-3 с составом пород, так как, возможно, изменение скорости связано с напряженным состоянием пород.

5. Изучение связи упругих параметров среды в разрезе Кольской скважины с текстурными особенностями пород, в частности с трещиноватостью. Можно ожидать, что это в наибольшей степени касается скорости поперечных волн. Результаты таких исследований могут обеспечить построение в интервалах формирования глубинных волн реологической модели среды, альтернативной упругой модели. Чтобы изучить количественные характеристики трещиноватости пород, необходимо в дополнение к геологическим привлечь геофизические методы.

6. Локализация в разрезе Кольской скважины интервалов формирования волн от региональных сейсмических границ, что позволит дать не только физическую, но и геологическую характеристику этих интервалов. Более сложным представляется обоснование прогноза геологической характеристики интервалов в околоскважинном пространстве на основании данных о латеральной изменчивости их физических параметров, полученных в результате моделирования среды и волнового поля. Чтобы увеличить надежность геологической характеристики региональных сейсмических границ, потребуются данные бурения и сейсмических исследований других глубоких и сверхглубоких скважин в консолидированной земной коре.

7. Получение новых данных о физической и геологической природе региональных сейсмических разделов в земной коре Балтийского щита, пересеченных стволом сверхглубокой скважины, в результате комплексных сейсмических и других геофизических и геологических исследований Кольской скважины. Можно полагать, что в процессе исследований такие данные будут получены и для более глубоких границ раздела коры. Это предположение основывается на том, что более детальное изучение верхней части земной коры уменьшит неопределенность сейсмических характеристик глубинных частей разреза коры.

Изучение природы региональных сейсмических границ на участке бурения Кольской скважины имеет значение первого и пока единственного опыта не только для Балтийского щита, но и для консолидированной материковой земной

ры других регионов мира. По этой причине сейсмические исследования Кольской скважины привлекают внимание геофизиков многих стран.

В результате многолетних (начиная с середины 70-х гг.) сейсмических исследований по широко известному международному проекту СОСОРР в консолидированной земной коре выявлены многочисленные полотно отражающие границы. Однако их природа остается предметом научных дискуссий и гипотез, отсюда что эти границы пока не пересечены глубокими скважинами. Очевидно, то кратчайшим путем к решению этой проблемы является проведение сейсмических исследований на участке бурения Кольской скважины по методике, принятой СОСОРР.

Инициаторами этих исследований являются член Геофизического экспертного комитета СОСОРР проф. С.Б.Смитсон (США) и его коллеги из Великобритании проф. Д.К.Смайт и д-р К.Гиллен. Инициатива эта поддержана российскими научными кругами, работы предполагается выполнить совместными усилиями российских и зарубежных исследователей в течение ближайших трех лет.

Проведенные под руководством И.В.Литвиненко сейсмические исследования земной коры Балтийского щита, в том числе исследования Кольской сверхглубокой скважины, являются базой как для планирования предстоящего международного проекта, так и для интерпретации его результатов. Комплексный анализ полученных ранее данных ГСЗ, МОВ и ВСП в Кольской скважине и новых данных сейсмического профилирования по методике СОСОРР обещает пролить свет на многие из вопросов, связанных с природой глубинных границ, и, несомненно, придаст новый импульс сейсмическим исследованиям консолидированной земной коры как в нашей стране, так и за рубежом.