

Результаты глубинных сейсмических исследований методами ОГТ, ГСЗ и МОВЗ Онежско-Ладожской площади (Республика Карелия, Россия)

© Н. В. Шаров¹, Э. В. Исанина², Н. Г. Заможняя³, Н. А. Крупнова⁴,
А. К. Сулейманов³, 2011

¹Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

²РГЭЦ — филиал ФГУП "Урангео", Санкт-Петербург, Россия

³ФГУП "ВНИИГеофизика, Москва, Россия

⁴ФГУ НПП "Севморгео", Санкт-Петербург, Россия

Поступила 30 июня 2010 г.

Представлено членом редколлегии В. Д. Омельченко

Наведено огляд регіональних сейсмічних досліджень на Онезько-Ладозькій площі, виконаних у 1975—2002 рр. методами ЗГТ, ГСЗ, МВХЗ і сейсмотомографії. Комбіновані багатохвильові дослідження дають змогу виявити важливі деталі глибинної будови земної кори і краще зрозуміти природу їх сейсмічної неоднорідності. Методи доповнюють один одного. За даними ГСЗ отримано відомості про швидкісну модель кори та окремих її блоків, прослідковано межі Мохо. За даними ЗГТ виділено похилі межі та зіставлено їх з геологічними структурами. Розрізи МВХЗ характеризують геопростір як статично (положення і кількість меж, зон розломів, блочність), так і динамічно (стан напруженості, жорсткість контактів, тріщинуватість). Показано зв'язок сейсмічних параметрів з особливостями геологічної будови окремих блоків земної кори. Її товщина 33—50 км.

The results of the CDP, DSS, ECWM regional seismic and seismotomographic study of the Onega-Ladoga area, conducted in 1975—2002, are reviewed. Combined multi-wave studies are carried out to reveal the essential details of the deep structure of the earth crust and to understand the nature of their seismic heterogeneity better. The above methods add to each other. Based on DSS data, the velocity pattern of the crust and its blocks was elucidated and M-discontinuity was traced. Based on CDP data, inclined boundaries were located and correlated with geological structures. ECW sections characterize geo-space both statistically (the position and number of boundaries, fault zones and blocky pattern), and dynamically (the tension and rigidity of contacts and fracturing). Seismic parameters are shown to be related to the geological structure of individual crustal blocks. The crust is 35—50 km thick.

Введение. Онежско-Ладожский перешеек расположен между двумя крупнейшими в Европе озерами Ладожским и Онежским. Комплексные геолого-геофизические исследования этой территории имеют большое значение для уточнения глубинного строения южного склона Фенноскандинавского щита и зоны его сочленения с Русской плитой. Онежская тектоническая структура, уникальная в геолого-тектоническом и минерагеническом отношении, отчетливо выражена в аномальных физичес-

ких полях, в современных и палеосейсмических структурах. Она располагается в пределах региональной магнитной аномалии — одной из самых обширных и интенсивных аномалий в Карельском мегаблоке щита [Глубинное ..., 2004]. Природа проводимости людииковийского надгоризонта (2,1—1,9 млрд лет) связана с наличием в нем шунгитоносных пород. Проводимость более глубоких горизонтов еще требует своего объяснения [Клабуков, 2001]. Гравитационное поле, как и другие геофизичес-

кие поля, отражает ярко выраженную северо-западную направленность чередующихся складчатых структур. Породы, слагающие Онежскую структуру, обладают избыточной плотностью по сравнению с породами основания ($\sigma_{\text{изб}} \approx 0,2 \text{ г/см}^3$). В связи с этим ядра антиклинальных структур, в которых уменьшена мощность осадочно-вулканогенных пород, выделяются отрицательными аномалиями, а синклинальные структуры — положительными. Тепловое поле Онежской структуры, по экспериментальным данным, ниже фонового для щита и составляет в среднем $\sim 15 \text{ мВт/м}^2$ [Глубинное ..., 2004]. Это связывается с теплофизическими параметрами пород основного состава, слагающих мощные вулканогенные и интрузивные толщи геологического разреза структуры. Учитывая данные о региональных геофизических полях, основной геофизической особенностью Онежской структуры следует считать наличие комплексной геофизической аномалии, характеризующей зону древней магматической активизации. Здесь отмечаются уменьшение мощности земной коры, понижение теплового потока, сопротивления, повышенные значения регионального магнитного поля.

Изучение глубинного строения Онежско-Ладожского перешейка проведено на основе обобщения данных глубинных сейсмических исследований МОВ, ОГТ, ГСЗ, МОВЗ, а также их совместной интерпретации. Обширный сейсмический материал получен в 1975—2002 гг. в основном ГП "Невскгеология", ФГУ ГНПП "Спецгеофизика", а также Западным геофизическим трестом (ЗГТ) и Ленинградским горным институтом (ЛГИ). В предлагаемой статье рассматриваются результаты сейсмических (МОВ, ОГТ, ГСЗ, МОВЗ) и других геофизических данных, что при таком комплексном подходе позволяет выявить новые детали глубинного строения земной коры региона.

Сейсмологические исследования МОВЗ и ГСЗ. На Онежско-Ладожской площади с 1980 по 2002 г. ГП "Невскгеология" выполнены профильные региональные работы и детальные исследования МОВЗ. Общая протяженность профилей более 1500 км (рис. 1), часть профилей ($\sim 900 \text{ км}$) переобработана по новым компьютерным технологиям, среди них и профиль I (Сямозеро — Кондопога — Повенецкий залив) протяженностью 150 км (рис. 2). Наблюдения на профиле выполнены в 1980—1982 гг., а первичные материалы пересмотрены, переобработаны и переинтерпретированы

в 1998—1999 гг. Методика исследований была стандартной для региональных исследований МОВЗ: в точке наблюдения устанавливались на жестком основании в яме глубиной 1,0—0,7 м три сейсмографа, ориентирование по странам света — NS, EW, и один вертикальный. Расстояние между точками регистрации составляло 3—5 км, за исключением участков гидросети, не позволяющих выполнить такую расстановку.

Построенный временной разрез преобразован в глубинный. Скоростные параметры для верхней части разреза приняты, согласно работам [Исанина и др., 2004]. Средняя скорость в земной коре определена по годографам зарегистрированных землетрясений. Выполнено последовательное решение прямых и обратных задач, получены синтетические сейсмограммы землетрясений, сопоставленные затем с реальными сейсмограммами. Таким образом, получена непротиворечивая модель скоростного строения массива, которая использована при построении глубинного разреза по профилю I (рис. 2). На разрезе кроме границ и зон также получена информация об интенсивности зарегистрированных обменных волн (обменоспособность среды).

На западном участке профиля (до Уницкой зоны разломов) отмечается земная кора нормальной мощности (граница $M_1 \sim 36\text{—}38 \text{ км}$), названная кровлей зоны перехода кора—мантия, а затем через глубинную сквозькорую Уницкую зону — ступенеобразное поднятие границы Мохоровичича (M_1) на 5—6 км, мощность земной коры уменьшается до 30—32 км. Таким образом, под Онежской структурой выделен участок аномально тонкой земной коры для Карельского геоблока.

В разрезе хорошо прослежена граница M_{II} (подошва зоны перехода), которая синхронно с границей M_1 поднимается при ее прослеживании с юго-запада на северо-восток.

Необходимо отметить, что при проведении сейсморазведочных работ МОВ—ГСЗ (1975) на профиле Ладожское озеро — Питкяранта — Сямозеро — Повенецкий залив — Белое море [Шаров и др., 2007] данных о мощности земной коры не было получено, так как годографы были не длиннее 60 км. Сведения о глубинном строении всей земной коры Онежской мульды от 1,2 до 50 км впервые получены по материалам МОВЗ. Особый интерес исследователей глубинного строения данного структурного блока представляет участок земной коры между Кондопожской и Лижем-

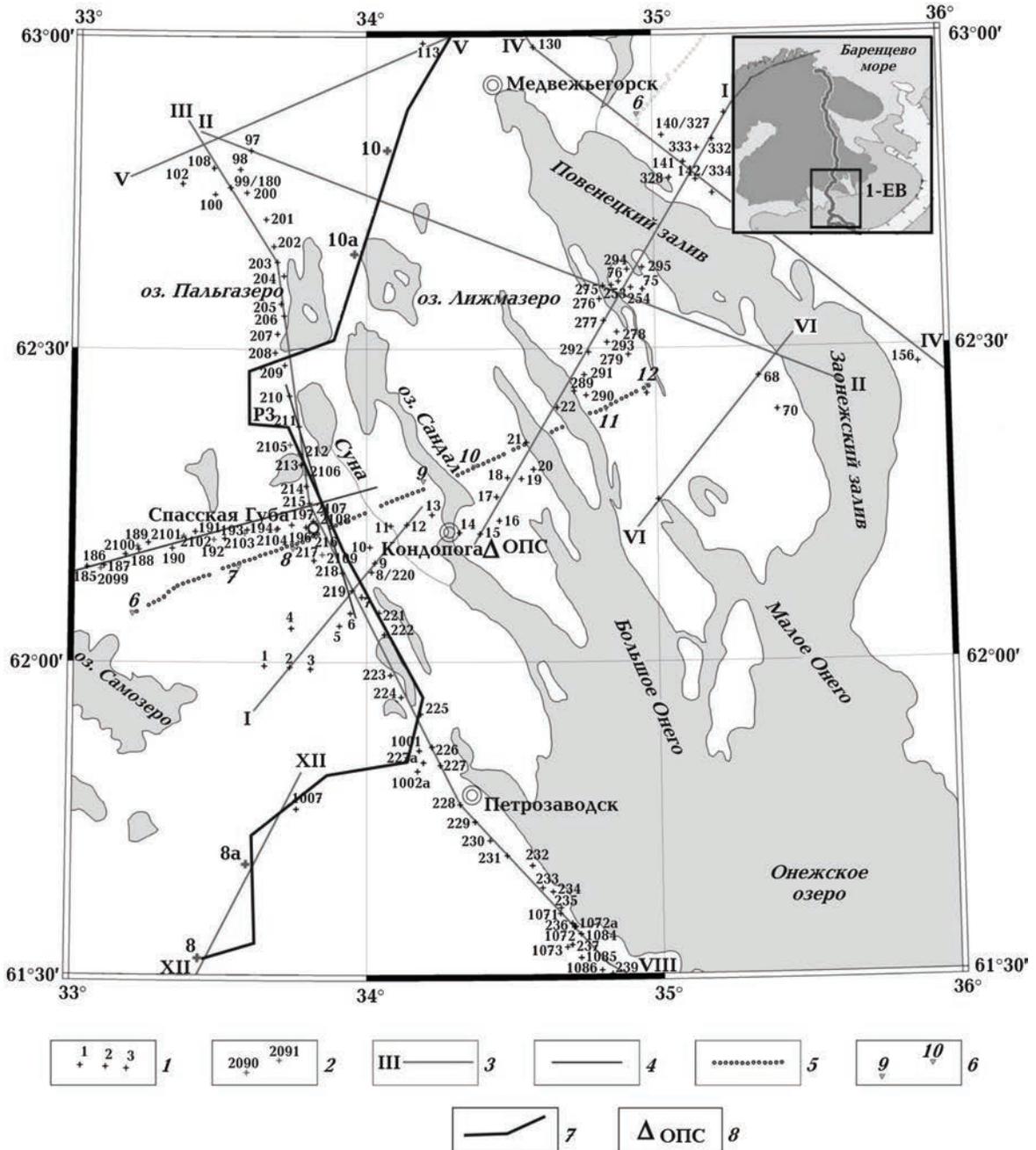


Рис. 1. Схема сейсмической изученности Онежской площади. На врезке показано расположение северной части геотраверса 1-ЕВ. Квадратом отмечен район сейсмических работ: 1 — точки наблюдений МОВЗ, 1980—1988 гг., и их номера (ГП "Невскгеология"); 2 — точки наблюдений МОВЗ, 2000—2002 гг., и их номера (ГП "Невскгеология"); 3 — профили МОВЗ, 1998 г., и их номера (ГП "Невскгеология"); 4 — восточная часть профиля МОВЗ Гдов — Спасская Губа, 2002 г. (ГП "Невскгеология"); 5 — профили МОВ—ГСЗ, 1975 г. (ЗГТ); 6 — пункты взрывов, их номера на профилях МОВ и ГСЗ; 7 — участок геотраверса 1-ЕВ, 2000—2001 гг. (ФГУ ГНПП "Спецгеофизика"); 8 — Онежская параметрическая скважина (ОПС), 2007—2009 гг. (ФГУП "НПЦ Недр").

ской зоной, где от глубин 26—27 км до глубин 43—44 км не прослежено ни одной сейсмической границы. Юго-западное ограничение этого участка характеризуется высокой обмен-

ной способностью среды на уровне подошвы земной коры, что, возможно, связано с преобразованием коры под влиянием близко расположенного мантийного прогретого вещества.

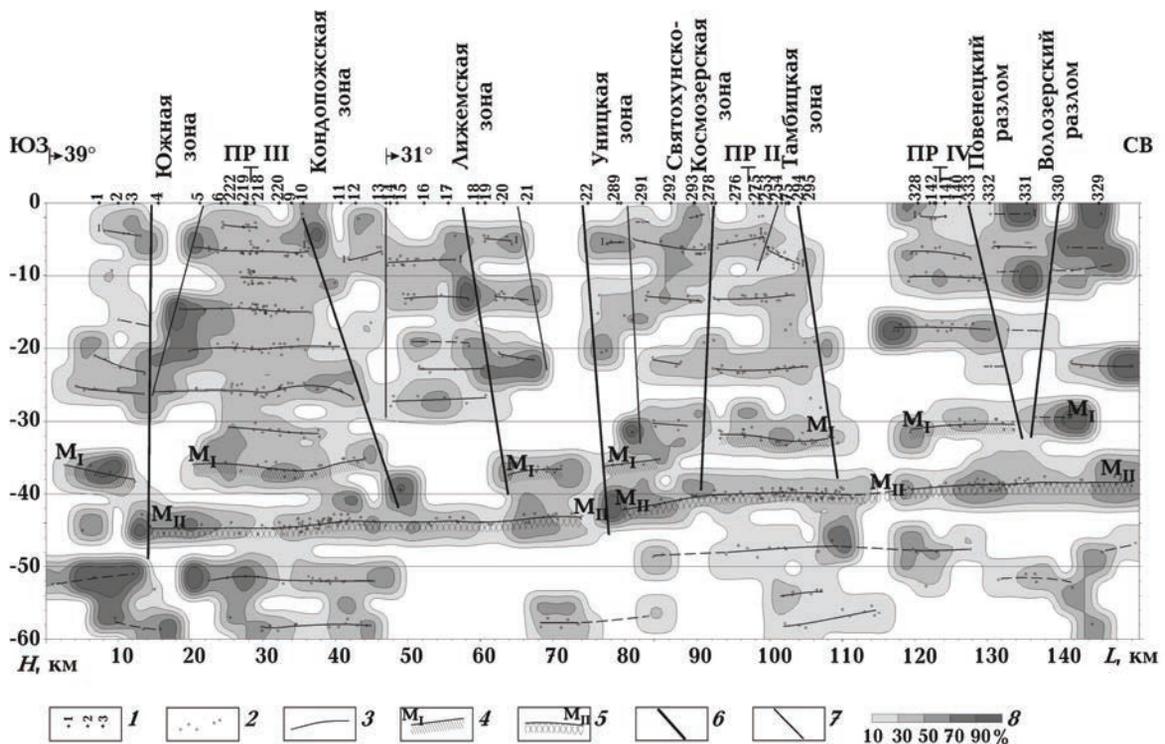


Рис. 2. Глубинный разрез и обменоспособность среды по профилю 1 (Сямозеро — Кондопога — Повенецкий залив). Составили Э.В. Исанина, С.И. Южанинова: 1 — пункт сейсмологических наблюдений и его номер; 2 — точки проявления обменных волн; 3 — границы обменов; 4 — кровля зоны перехода кора—мантия; 5 — подошва зоны перехода кора—мантия; 6 — мантийные разломы, разрывающие границы M_1 и M_2 ; 7 — внутрикоровые разломы; 8 — шкала интенсивности обменных волн.

Поскольку обменные волны от землетрясений проходят снизу вверх, на поверхность волновода, который предполагается под Онежской мульдой, ввиду малой мощности этого слоя (300—500 м) обменные волны от поверхности с глубины 2,2—3,0 км появляются спорадически. Первая устойчивая сейсмическая граница построена на глубинах 5—8 км, количество слоев в разрезе изменяется от 2 до 7.

На северо-востоке за Повенецким заливом выделенные Повенецкий и Волозерский разломы имеют встречное падение и конусообразную межблоковую структуру, уходящую глубже подошвы коры. Верхняя часть этого конусообразного блока представляет собой сжатую с северо-востока и разгруженную с северо-запада структуру.

По результатам сейсмических исследований МОВ—ГСЗ (1975) и МОВЗ (1980—1982) выполнено их совместное рассмотрение. На рис. 3 видно, что разная природа волн (проходящие от взрывов P -волны и обменные PS -волны от землетрясений) характеризует различные свойства среды и положение границ,

выделенных по работам ГСЗ и МОВЗ, совпадает не во всех случаях.

На участках горизонтальных структурных границ отмечается совпадение с отражающими границами. Однако в пределах сложенно-строеного разреза не совпадают (а часто противостоят по азимутам, например, в районе ПВ 8) не только глубины залегания границ, но и положение тектонических зон (район ПВ 7). Данное сопоставление выполнено с целью убедить читателя в необходимости проведения многоволновых и многокомпонентных исследований глубинного строения земной коры, что позволит полнее охарактеризовать историю развития, состав и строение изучаемых структур.

ФГУ «НПЦ Недра» в 2007—2009 гг. провело бурение на окраине дер. Улитина Новинка Кондопожского р-на Республики Карелия Онежской параметрической скважины (ОПС) до глубины 3500 м. В процессе бурения изучался керн, а также выполнялась комплексная интерпретация материалов ГИС и ВСП [Горбачев и др., 2008]. В интервале 2751—2944 м вскрыта толща каменной соли, что было

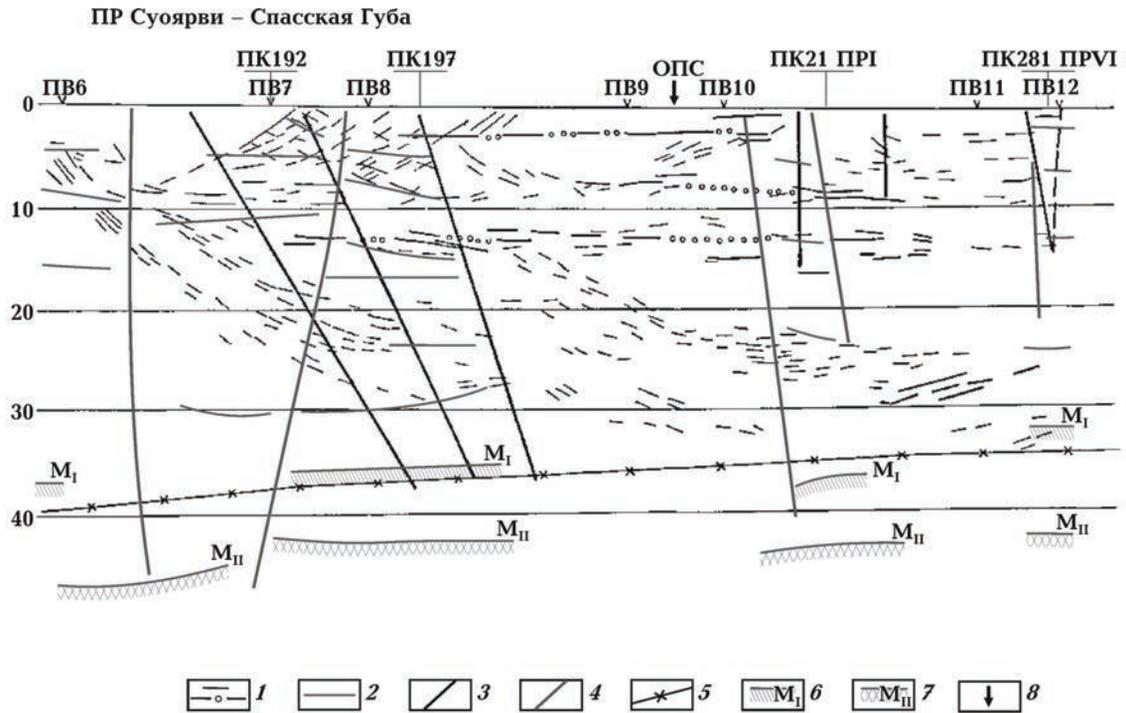


Рис. 3. Сопоставление глубинных разрезов по профилю МОВ, ГСЗ Сямозеро — Повецкий залив (ЗГТ) и участкам профилей МОВЗ Суоярви — Спасская Губа, I, VI (ГП "Невскгеология"): 1 — границы по данным ГСЗ; 2 — границы по данным МОВЗ; 3 — зоны нарушений по данным ГСЗ; 4 — зоны нарушений по данным МОВЗ; 5 — положение границы М по данным гравиразведки; 6 — положение границы M_I по данным МОВЗ; 7 — положение границы M_{II} по данным МОВЗ; 8 — проекция Онежской параметрической скважины на профиль.

неожиданным, так как она залегает в основании раннепротерозойской Онежской структуры и перекрывает мигматизированные гранито-гнейсы архейского фундамента. Сейсмический профиль МОВ—ГСЗ Сямозеро — Повецкий залив (см. рис. 1) расположен в 17 км к северу от участка бурения скважины. Результаты бурения в основном подтвердили прогнозную геолого-геофизическую модель строения региона [Шаров и др., 2008].

На участке профиля Сямозеро — Повецкий залив была предпринята попытка сейсмотомографической обработки годографов 1975 г. Результат построения с учетом скоростной модели ГСЗ 1975 г. показан на рис. 4. Ввиду малой длины годографов и слабого проникания лучей разрез представляет собой ячеистую структуру с редкими сейсмическими лучами. Западная часть сейсмотомографического разреза близка к скоростной модели, полученной по наблюдаемым годографам. Восточная часть (собственно Онежская структура) от ПВ 9 и до ПВ 12 не отражает мнение авторов отчета [Кокорина и др., 1976] о наличии высокоскоростного

горизонта (и даже двух) в верхней части разреза (от 0,6 м до 2,5 км), так как в первых вступлениях не обнаружено волн со скоростями более 5,6—5,7 км/с. Возможно, высокоскоростные волны близко расположены к волнам с этими скоростями, а сам слой маломощный, длина годографа мала. Но это предположение заставляет пересмотреть первичный материал МОВ, ГСЗ и вновь вернуться к современной обработке сейсмоматериала. Планируется выполнить площадные сейсмические исследования в районе ОПС.

Сейсмические исследования ОГТ и ГСЗ.

Северный участок геотраверса 1-ЕВ, отрабатанный УГПП "Спецгеофизика", пересекает несколько крупных тектонических структур Фенноскандинавского щита и зону его сочленения с Русской плитой (см. рис. 1). На участке геотраверса протяженностью 1000 км между городами Петрозаводск и Москва проведены комбинированные исследования методами ОГТ (основан на регистрации близвертикальных отражений) и ГСЗ (регистрирует преломленные и закрытые отраженные волны). При этом

использовалась одна и та же регистрирующая аппаратура, что позволило объективно сравнить особенности полей разных типов волн [Глубинное ..., 2004; Строение ..., 2005].

Система наблюдений ГСЗ (рис. 5) состояла из 8 пунктов взрыва, расположенных на расстоянии 80—120 км друг от друга. Взрывы производились в скважинах. В результате получены записи до расстояний от источника в 250—300 км, что позволило зарегистрировать волны от подошвы земной коры и верхней мантии до глубины 70 км. Среди зарегистрированных волн на удалениях от источника 0—200 км четко выделяются первые вступления (волна P_g) с увеличивающейся с расстоянием кажущейся скоростью от 5,8—6,0 до 6,8—7,2 км/с. На больших удалениях с резким изломом в первые вступления выходят преломленные волны от границы М (волны P_n) со скоростью 8,0—8,4 км/с. По доминирующим скоростям волна P_g делится на три основные ветви. На расстоянии от источника 0—100 км кажущиеся скорости изменяются от 5,8 до 6,3 км/с, затем в первые вступления выходит волна K_1 со скоростью 6,4—6,7 км/с, а на удалениях 150—200 км — волна K_2 с кажущейся скоростью 6,5—6,8 км/с. Смена волн происходит достаточно плавно [Сулейманов и др., 2007]. В последующей части записи наиболее яркими являются отраженные волны от границы М (волны $P_m P$). Кроме них, прослеживаются и достаточно интенсивные отраженные волны от границ внутри коры (волны K_1, K_2) и внутри верхней мантии (M_1). Наблюдается также множество коротких осей синфазности с кажущимися скоростями, типичными для коры (от 6,0 до 6,7 км/с), а также с аномально высокими скоростями (до 8—9 км/с). Последние, очевидно, соответствуют крутонаклонным отражающим границам [Сулейманов и др., 2007]. Построение скоростного разреза по материалам ГСЗ осуществлялось Н.И. Павленковой методом лучевого моделирования: для некоторой стартовой модели рассчитывались лучи и годографы отраженных и преломленных волн, которые сравнивались с наблюдаемыми годографами. В случае их расхождения в модель вносились поправки, и снова решалась прямая задача. Для окончательной модели расхождения между наблюдаемыми и расчетными годографами не превышают 0,1 с [Сулейманов и др., 2007].

Сейсмотомографическая модель 2D по северному участку геотраверса 1-ЕВ Кемь — Тихвин выполнена в системе Firstomo [Рослов и

др., 2001]. Скоростная модель построена как результат кинематической интерпретации времен первых вступлений сейсмических волн ГСЗ. В обработке участвовало 700 пар "источник—приемник" с максимальным удалением 260 км. При этом для ПВ 10—10А, 7, 6 наблюдения велись начиная с малых удалений, для ПВ 8—8А — только с больших удалений. Для построения двумерной модели была выбрана линия продольного профиля, положение которой показано на рис. 5. Переход от 3D (прямоугольных) координат источников и приемников в двумерные профильные координаты осуществлялся следующим образом: положение источников спроецировано на линию спрямления профиля ГСЗ; все расстояния "источник—приемник" сохранены. За нулевую координату профильной системы координат принято положение ПВ 10 (рис. 6).

Сопоставление разрезов ОГТ, ГСЗ, МОВЗ и томографии. В последние годы в связи с возрастающим объемом глубинных исследований комплексом методов ОГТ, ГСЗ, МОВЗ сейсмотомография активно обсуждается как одна из актуальных проблем региональной геофизики — сопоставимость и достоверность получаемых данных о глубинном строении земной коры и верхней мантии. Обработка осуществляется с использованием P — S - и PS -волн широкого класса событий: далеких и близких землетрясений, а также промышленных и специальных взрывов, что позволяет изучать до глубины 100 км и более в едином ключе строение консолидированной коры и верхней мантии. Интерпретация каждого вида данных многоволновой сейсмоки имеет свои методические особенности и дает представление о различных физических параметрах изучаемой среды.

Сопоставление разрезов ОГТ и ГСЗ показывает [Строение ..., 2005; 2006], что тонкослоистая структура нижней коры видна на разрезах ОГТ, а при ГСЗ она может быть за пределами разрешенности метода. Граница М на разрезах ОГТ характеризуется сменой гетерогенного поля волн областью рассеянных площадок. Природа неоднородности в мантии может быть иной, чем в коре. Возможно, верхняя мантия анизотропна под границей М и там есть зоны повышенной и пониженной скорости. Видимое отсутствие внутрикоровых границ, как и их размытость по данным ОГТ, в большей мере может быть связано со сложным рельефом границ (их наклоном, изменением отражающих свойств, поглощения и др.), а также значительным ослаблением уровня сигнала с

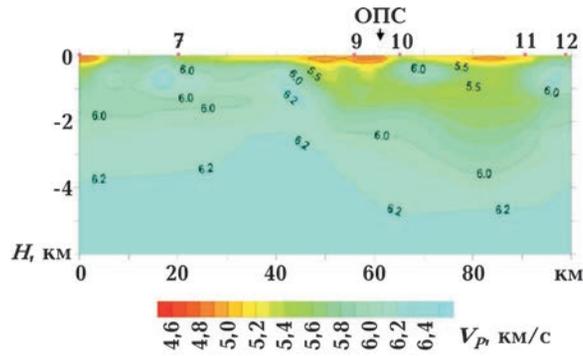


Рис. 4. Результаты сейстотомографического моделирования по профилю Сязозеро — Повенецкий залив. Составили Э. В. Исанина, Н. А. Крупнова, Н. В. Шаров (2009).

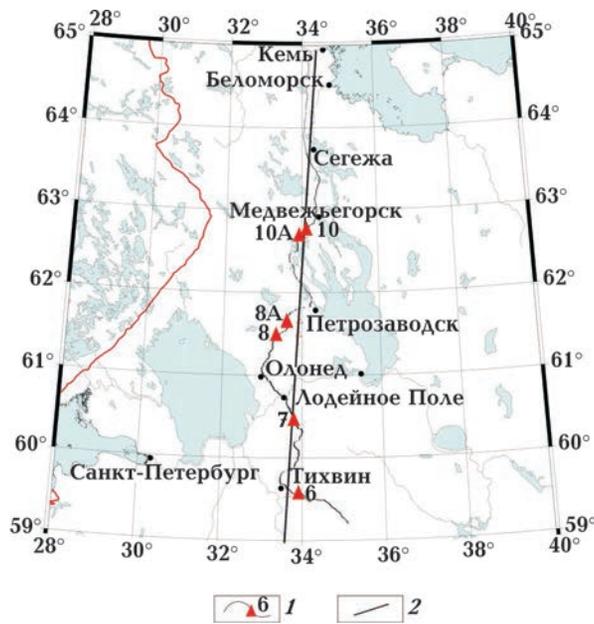


Рис. 5. Схема расположения участка Кемь — Тихвин геотраверса 1-ЕВ. Непрерывные наблюдения методами ОГТ и ГСЗ: 1 — пункт взрыва и его номер; 2 — линия спрямления профиля ГСЗ при томографическом моделировании.

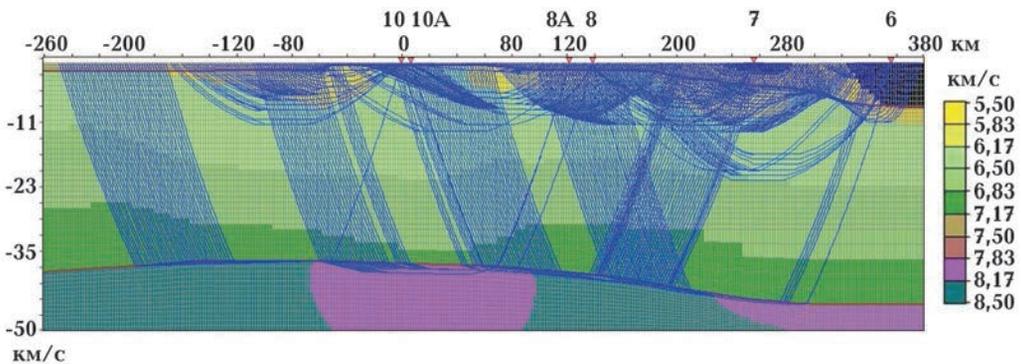


Рис. 6. Результаты сейстотомографического моделирования по участку геотраверса 1-ЕВ, скоростная модель и траектории сейсмических лучей. Составили Э. В. Исанина, Н. А. Крупнова (2010).

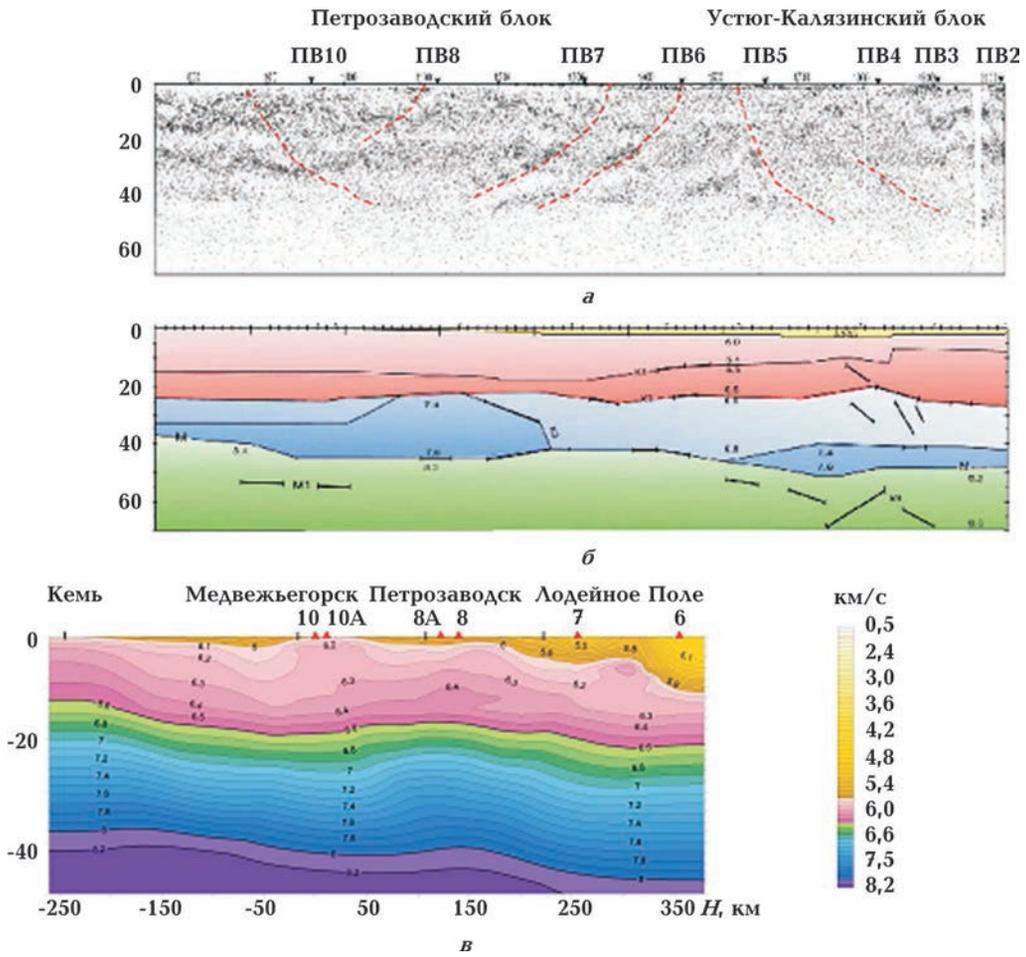


Рис. 7. Сейсмические разрезы по участку геотраверса 1-ЕВ, полученные методами ОГТ (а), ГСЗ (б), и томографический разрез (в). На рис. а красными штриховыми линиями отмечены глубинные нарушения и границы блоков коры; на рис. б — изолинии скорости (км/с), утолщенные линии — отражающие площадки; ПВ — пункты взрыва; на рис. в — изолинии скорости в км/с.

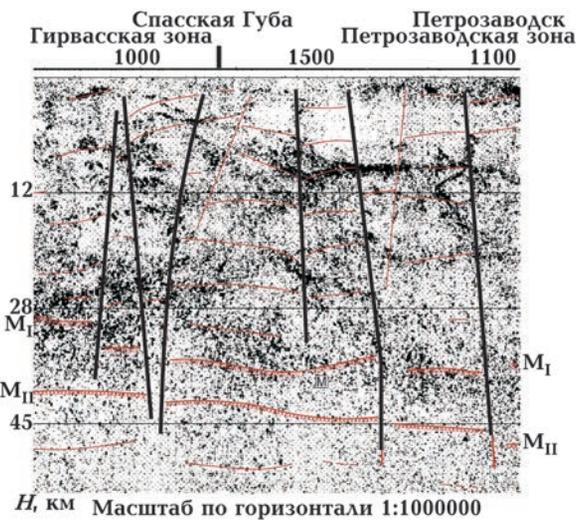


Рис. 8. Совмещенный глубинный разрез ОГТ (ФГУ УГГП “Спецгеофизика”) и МОВЗ (ГП “Невскгеология”) по участку геотраверса 1-ЕВ.

больших глубин. Малые базы суммирования по методу ОГТ не позволяют уверенно выделять глубинные границы в таких сложных геологических зонах, а зоны с большими углами наклона не могут быть выделены уже методически. Данные ГСЗ на близкритических и закритических отражениях (а также с учетом низких частот) по отношению к данным ОГТ на докритических отражениях являются более интегральными (осредняющими), но в то же время более достоверными при определении как структуры границ М, так и средней скорости в земной коре и граничной скорости по поверхности М. Сочетание методов ОГТ и ГСЗ очень важно для понимания строения земной коры и верхней мантии региона. Их не надо противопоставлять, они дополняют друг друга.

С учетом трехкомпонентной современной цифровой регистрации сейсмических сигналов в широком динамическом диапазоне (до 130 дБ) и возможности расстановки станций с помощью спутниковой навигации исследования МОВЗ—МРС (метод разведочной сейсмологии) приобрели весьма универсальную сейсмическую направленность. Появилась реальная возможность одновременного изучения строения земной коры от 0,4—0,5 км до верхней мантии (100 км и более) с помощью широкого спектра сейсмических источников (специальные взрывы, карьерные и шахтные взрывы, пневмоизлучатели в акватории, близкие и далекие землетрясения, фоновые микросейсмические помехи). К сожалению, часто сравниваются просто глубинные разрезы, отражающие статическую картину. Это происходит по причине отсутствия каких-либо динамических или анизотропных характеристик среды на разрезах ОГТ, в то время как разрезы МОВЗ—МРС отображают геопространство и статически (положение и количество границ, блоковость, положение зон разломов практически любых углов наклонов, их трассировка на глубину и определение современной сейсмической активности), и динамически (состояние напряженности, жесткость контактов, анизотропные свойства массивов, трещиноватость и др.). Безусловно, различная природа отраженной продольной (ОГТ) и проходящей обменной (МОВЗ) волн довольно часто создает (особенно в сложнопостроенном геологическом пространстве) рисунок "случайных" несовпадений. На деле оказывается, что существенный интерес представляют совпадение границ и их расхождение. Совместный ана-

лиз результатов этих методов позволяет значительно приблизиться к пониманию строения и истории развития изучаемого геопространства.

Сейсмические разрезы дают разные изображения земной коры. Разрез ОГТ (рис. 7, а) описывает среду не по сейсмическим скоростям, а по свойствам отдельных отражающих элементов, их количеству, характеру распределения в пространстве, наличию тонкой горизонтальной и вертикальной неоднородностей среды. На разрезах ОГТ отмечаются "мутные" и "прозрачные" участки. По смене гетерогенности выделяются основные сейсмические границы, чаще всего крутонаклонные, а также субгоризонтальные. Среди последних наиболее протяженные границы прослеживаются в нижней коре на глубине 30 км. Граница М редко представлена четкими отражениями, обычно это граница между гетерогенной нижней корой и практически прозрачной верхней мантией. На отдельных участках профиля границу М вообще невозможно выделить [Сулейманов и др., 2007].

Разрез ГСЗ (рис. 7, б) представляет кору в виде скоростного разреза и нескольких субгоризонтальных границ [Сулейманов и др., 2007], из которых подошва коры, граница М, является наиболее стабильной. Скоростной разрез в верхней коре спокойный, но существенно неоднородный в ее низах: мощность слоя со скоростями более 7,4 км/с изменяется вдоль профиля от 0 до 20 км. Скорость вдоль границы М варьирует от нормальной (8,0—8,1 км/с) в центральной части профиля (Русская плита) до аномально высокой в северо-западной его части (Фенноскандинавский щит).

Сейсмотомографический разрез (рис. 7, в) более дифференцировано характеризует верхнюю часть коры. На разных участках профиля скорость распространения продольных волн изменяется от 5,1 до 6,3 км/с на глубине 10 км. Средняя и нижняя части земной коры освещены сейсмическими лучами (см. рис. 6) менее надежно по сравнению с разрезом ГСЗ (см. рис. 7, б).

В 1985 г. ГП "Невскгеология" выполнила работы МОВЗ на профиле Мяндусельга — Вознесенье. Фрагмент этого профиля (Медвежьегорск — Петрозаводск) представлен на сводном разрезе только в статическом варианте (ввиду отсутствия динамических характеристик в материалах ОГТ). В 2001 г. по этому же участку пройден геотраверс ОГТ 1-ЕВ ФГУ УГГП "Спецгеофизика". Сопоставление

построенных разрезов показано на рис. 8. На сводном разрезе по МОВЗ видна зона перехода кора — мантия, ограниченная поверхностями M_I (30—38 км) — кровля зоны перехода, и M_{II} (40—46 км) — подошва зоны перехода, в то время как на разрезе ОГТ индексом М обозначена область, не имеющая параметрических данных и совпадающая то с границей M_{II} (север), то с границей M_I (юг). В земной коре прослежены разные варианты как совпадений, так и различий положения границ. По мнению авторов, совпадающие границы — это так называемые жесткие границы со значительными перепадами скорости. Блоки и зоны, выделяемые по комплексу волновых признаков в МОВЗ, материалам ОГТ, либо весьма размыты, либо не обозначаются вовсе, что связано с невозможностью выделения методом ОГТ границ и зон с углами наклона более 45° ; в МОВЗ такие границы и зоны выделяются по топографии границ, дифференцированной расслоенности, частотным и амплитудным спектрам волн, обменоспособности среды и поляризационным свойствам волновых полей.

В результате анализа совместных материалов МОВЗ, ОГТ, ГСЗ и томографии можно утверждать, что только комплексный подход к построению глубинных сейсмогеологических разрезов позволит приблизиться к пониманию тектонических процессов как в современной коре, так и в протокоре. Взаимно выигрышна комбинация совместного использования P -, S -, PS -волн. Компоненты поперечной и обменной волн позволяют определить иные свойства земной коры, чем волны сжатия — растяжения. Однако ни один из них в отдельности не дает объективной картины глубинного строения литосферы, вместе с тем сочетание этих компонентов позволяет извлечь комплексную, более достоверную информацию. Следовательно, данные различных сейсмических методов должны использоваться в комплексе для взаимного дополнения, информации о геологическом строении среды.

Глубинное строение. В результате сейсмологических исследований составлены схемы глубинного строения для Онежско-Ладожской площади в масштабе 1 : 200 000 (рис. 9—11). Физической основой для его оценки служила сейсмическая неоднородность земной коры по вертикали и латерали. На всех разрезах МОВЗ в низах коры наиболее уверенно прослежены две границы — M_I и M_{II} . Граница M_I по данным ГСЗ на других террито-

риях приурочена к поверхности раздела М, характеризуемой скоростью распространения продольных волн $V_p = 7,9—8,2$ км/с, т. е. является подошвой земной коры. Граница M_{II} прослеживается на всех территориях, где проводились работы МОВЗ (Украина, Россия (Кольский полуостров), Казахстан) и определена авторами как подошва зоны перехода кора—мантия. Слой, расположенный между границами M_I и M_{II} , представлен как зона перехода кора—мантия. По данным ГСЗ, на Кольском полуострове в районе сверхглубокой скважины СГ-3 скорости распространения продольных волн на границе M_{II} слабо отличаются от скоростей в кровле зоны перехода и составляют 8,0—8,3 км/с. Данное обстоятельство является предпосылкой для довольно часто встречающейся оценки: при потере прослеживания одной из границ в работах ГСЗ наблюдается переход на другую границу с близкой скоростью и образуются так называемые корни гор.

Для Онежско-Ладожской площади построены две карты, характеризующие глубинное строение коры: карта мощности коры, построенная по увязанной по площади границе M_I (кровля зоны перехода кора—мантия) (см. рис. 9), и карта мощности зоны перехода (кора—мантия) $M_I—M_{II}$ (см. рис. 10). С учетом материалов указанных карт и глубинных сейсмических разрезов была составлена карта-схема глубинного строения Онежско-Ладожской площади.

На рис. 11 показано районирование земной коры по принципу различной сейсмической расслоенности сред, охарактеризованных количеством границ обменов волн PS . Области сочленения разнорасслоенных блоков литосферы рассматривались как разрывные нарушения, отождествляемые с глубинными и глубокими разломами в геологическом понимании. Разрывные нарушения дифференцировались по глубинности на три класса: мантийные — глубины ниже границы M_{II} (подошвы переходного слоя кора—мантия); транскоровые — нарушающие границу M_I (кровлю переходного слоя кора—мантия), но не пересекающие границу M_{II} ; внутрикоровые — затухающие выше границы M_I .

Основой для построения схемы служили глубинные сейсмологические разрезы, построенные по профилям МОВЗ. Схема строилась по принципу подобия сейсмических сред литосферы, представленных на разрезах. Разрывные нарушения отождествлялись между собой

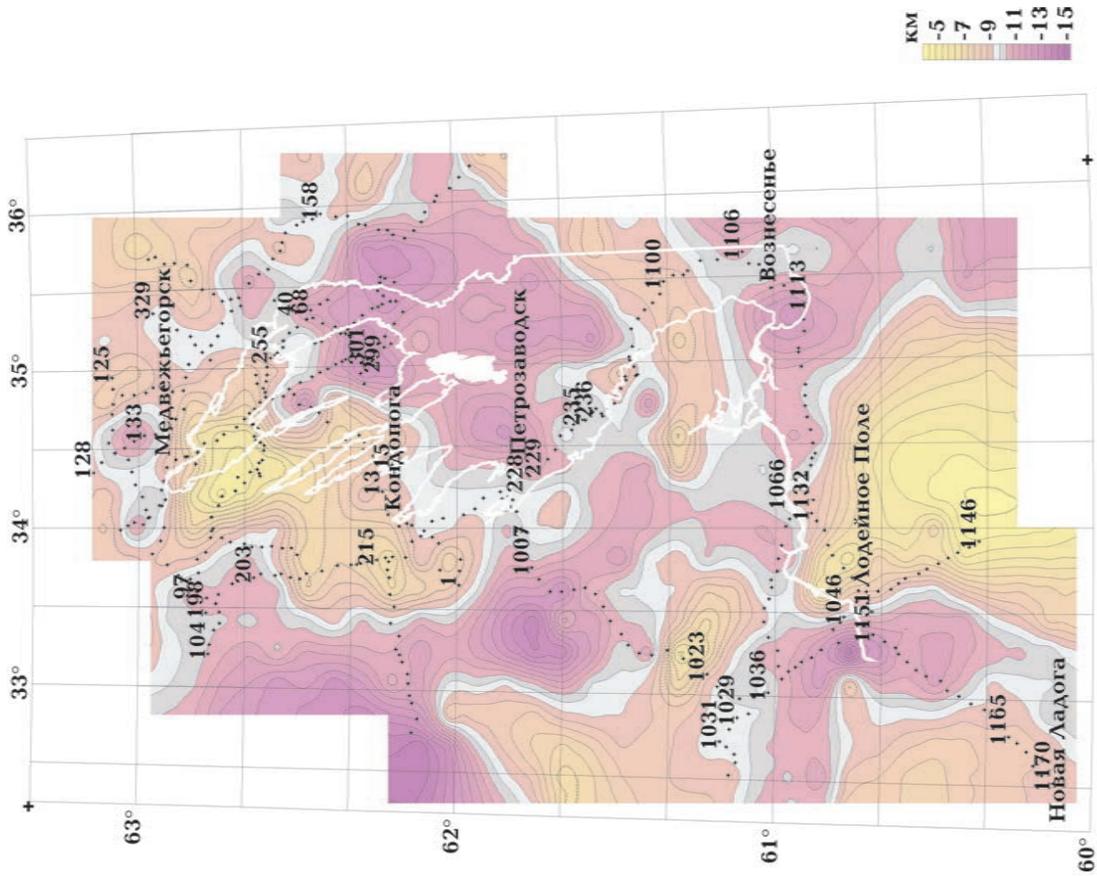


Рис. 10. Мощность коромантинного переходного слоя. Составили Э. В. Исанина, С. И. Южанинова.

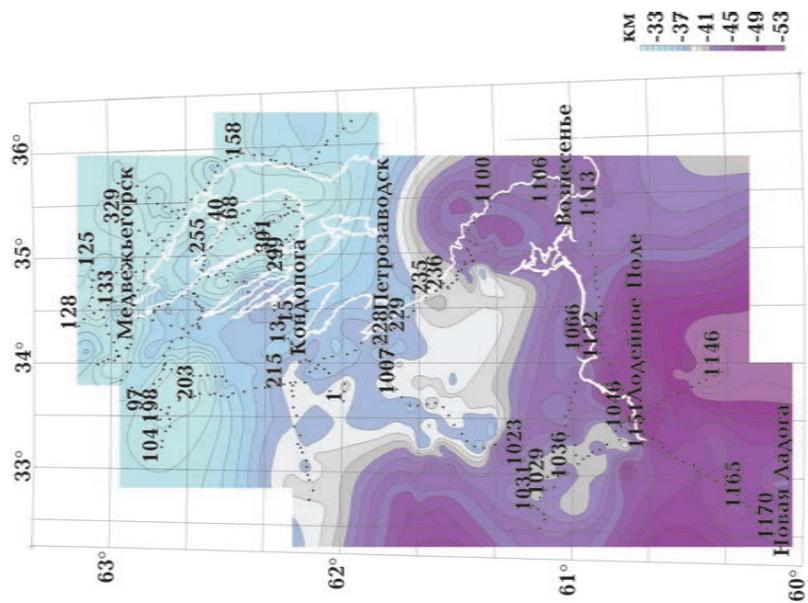


Рис. 9. Мощность земной коры по границе М₁. Составили Э. В. Исанина, С. И. Южанинова.

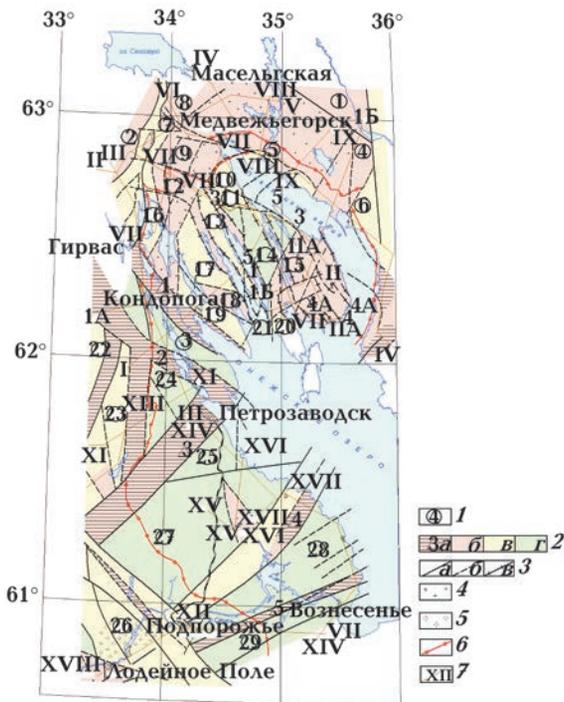


Рис. 11. Схема глубинного строения Онежско-Ладожской площади. Составили Э. В. Исанина, В. Б. Крюков, С. И. Южанинова: 1 — блоки земной коры IV—V порядков, выделенные по данным МОВЗ (цифры в кружках): 1 — Кожозерский, 2 — Сегозерский, 3 — Кенозерский, 4 — Волозерский, 5 — Хижезерский, 6 — Хедостровский, 7 — Кумсинский, 8 — Остреченский, 9 — Северо-Уницкий, 10 — Пергубский, 11 — Пигмозерский, 12 — Карташинский, 13 — Кедрозерский, 14 — Ванчозерский, 15 — Космозерский, 16 — Вайгубский, 17 — Сяргозерский, 18 — Илемский, 19 — Саудальский, 20 — Липовицкий, 21 — Южно-Уницкий, 22 — Сямозерский, 23 — Шуйский, 24 — Петрозаводский, 26 — Олонецкий, 27 — Центральный, 28 — Свирский, 29 — Оятинский); 2 — дифференцирование блоковых структур по сейсмической расслоенности: а — шовные зоны с гомогенизированной средой (слаборасслоенные) и их номера — в треугольниках (1 — Кондопожская, 2 — Петрозаводская, 3 — Петрозаводско-Важская, 4 — Бураковско-Кожозерская, 5 — Псковско-Мезенская); б — блоки с гомогенизированной средой, число границ обменов 1—3; в — блоки средней степени расслоенности, число границ обменов 4—5; г — блоки с гетерогенной, сильно расслоенной средой, число границ обменов 6 и более; 3 — разломные структуры: а — мантйные разломы, разрывающие границы M_I и M_{II} ; б — внутрикоровые разломы; в — складчато-разрывные зоны в нижнепротерозойских образованиях Онежского прогиба; 4 — области развития гранитных массивов и интенсивной гранитизации; 5 — граниты рапакиви; 6 — контуры площади развития нижнепротерозойских вулканогенно-осадочных образований Онежского и Петрозаводского прогибов; 7 — сейсмологические профили с пунктами наблюдений и их номера.

и прослеживались исходя из их глубинности, направления падения линий (границ) раздела разнорасслоенных сред; мощности зон, разделяющих неоднородности блоков; характера расслоенности внутри зон, значительных по мощности; ориентировочного азимутального простирания нарушения, установленного по сейсмическим наблюдениям.

При блоковом районировании анализировалась морфология границ переходного слоя кора—мантия. Учитывая редкую сеть сейсмологических наблюдений и сложное складчато-блоковое строение региона, авторы при создании схемы глубинной тектоники опирались на результаты кондиционных площадных гравиметровых и аэромагнитных съемок и исходили из известных современных представлений о геологическом строении юго-восточной части щита.

Базируясь на волновой природе и возможностях МОВЗ, а также исходя из конкретных результатов, полученных в данном регионе, где верхние сейсмические границы до глубин порядка 8 км прослеживаются методом в большинстве случаев фрагментарно, составленную схему глубинного строения района следует рассматривать в первую очередь как схему сейсмической неоднородности низов земной коры от глубин 5—8 км до верхней мантии.

Схема блокового строения региона составлена по результатам гравиметровых и аэромагнитных съемок последних лет с привлечением материалов дешифрирования космических и разновысотных фотоснимков. Схема блокового строения по результатам гравиразведки характеризует тектонику верхней части земной коры, главным образом отражая геологические структуры кристаллического фундамента протерозойских образований. Таким образом, наличие двух тектонических схем по результатам МОВЗ и гравиразведки позволяет судить о глубинном строении региона практически на всю мощность земной коры.

Глубинное строение по сейсмологическим данным, как и по особенностям поля силы тяжести, можно охарактеризовать как исключительно сложное, аномальное. Типичная особенность района — насыщенность его глубинными трансформными нарушениями различного простирания разной мощности. Кроме того, отмечается высокая степень изменчивости сейсмической расслоенности среды, т. е. раздробленность земной коры на блоки с разным количеством границ обмена. Количество их в блоках варьирует от нуля до восьми.

Предлагаемая схема глубинного строения в целом согласуется с общепринятыми современными представлениями о тектонике щита. Большинство выявленных МОВЗ глубинных нарушений можно отождествить с известными геологическими структурами или гравиманитными аномалиями [Глубинное строение ..., 2004]. Такие нарушения получили соответствующие общепринятые названия геологических структур. Последние, в свою очередь, ранжируются МОВЗ по глубинности заложения, что в значительной степени определяет их роль в блоковом строении региона.

Основная часть площади рассматриваемой схемы находится в пределах Повенецкого блока III порядка, относящегося к Онежскому блоку Карельского мегаблока. На западе площади выделяются Хаутоварская и Гирвасская зоны мантийного заложения. Они имеют субмеридиональное простирание и являются западной границей Онежского и составляющего его северную часть Повенецкого блоков. В юго-восточном углу схемы зафиксирована Бураковская зона, ограничивающая Онежский блок с юго-востока.

По сейсмологическим данным на площади исследований выделены еще две региональные зоны мантийного заложения — Кондопожская и Выжская, которые следует принять за южную и восточную глубинные (коровые) границы Повенецкого блока. Необходимо заметить, что Кондопожская зона хорошо прослеживается в поле силы тяжести как сквозной региональный разлом Карельского мегаблока, в то время как Выжская зона в пределах площади ярко выражена в виде мощной глубинной зоны только на разрезах МОВЗ. Если считать основным признаком границ блоков III порядка мантийное заложение ограничивающих их разломов, то северная граница Повенецкого блока находится севернее площади схемы, вне района исследований.

В расслоенности коры района, отражающей глубинные структуры IV—V порядков, несмотря на сложный характер сейсмических сред, можно наметить ряд закономерностей. Центральная и южная части Повенецкого блока, составляющие центр Онежской структуры, отличаются преимущественно многослойной (гетерогенной) сейсмической средой. В районах же широкого развития гранитоидов телекинско-го комплекса (периода протерозойской протоктивизации) преобладает слабо-расслоенная (гомогенная) кора. Такими районами являются северная и северо-западная части Пове-

нецкого блока и участок на юго-востоке, севернее Бураковской зоны. Это, соответственно, область Телекинского гранито-гнейсового купола, поле развития небольших гранитных массивов (Карташинского и др.) в районе сочленения Гирвасского и Хаутоварского разломов, слепые гранитные тела зоны разлома Гранитного и гранитный массив района Песчаное — Римское.

Области развития "шовных" структур (зеленокаменных поясов), выполненных образованиями лопия, характеризуются, преимущественно, гетерогенной многослойной средой. В нашем случае это зоны Хаутоварского и Гирвасского разломов и ограниченный ими Сямозерский блок. Участки протерозойской гранитизации в шовных структурах лопия (обычно в узлах пересечения разнонаправленных разломов) отмечаются уменьшением количества границ обмена. Примерами могут служить область пересечения Гирвасской и Южной зон, а также зона Гирвасского разлома на профиле I в сравнении с ее восточным экзоконтактом.

Областям развития гранито-гнейсовых образований раннеархейского фундамента в обрамлении Онежской структуры свойственна слабо-расслоенная земная кора, например, на участке профиля II к западу от Хаутоварской зоны.

Глубинные зоны разломов, разделяющие блоки II и III порядков, представляют собой многошовные структуры значительной мощности (от 4 до 12 км) на подошве земной коры. Выделяются, преимущественно, два ограничивающих зону по мощности нарушения — мантийного заложения и транскоровое. Эти граничные плоскости глубинных зон имеют обычно крутое падение навстречу друг другу, образуя на разрезе клиновидную форму.

Во внутренней части большинства глубинных зон не прослеживаются границы обмена или среда слабо-расслоена. Исключение составляют, как уже указывалось, Хаутоварская и Гирвасская зоны, представляющие в верхней своей части шовные структуры, выполненные образованиями лопия и нижнего протерозоя, и отличающиеся многослойностью среды.

В сложной сети разрывных нарушений, проявленных как в нижней, так и в верхней части земной коры, на площади Повенецкого блока можно установить определенную системность. В низах коры четко проявилась, по всей вероятности, наиболее древняя, но подновлявшаяся на последующих этапах развития орто-

гональная система субмеридиональных и субширотных нарушений.

На севере и юге Повенецкого блока наиболее выразительны структуры Кондопожской системы северо-западного простирания ($\approx 300\text{—}310^\circ$) — Рыбозерский и Волозерский разломы, Онежская зона, Сандальский разлом. Особо следует остановиться на Онежской зоне. Последняя была выявлена по сейсмологическим данным при анализе расслоенности среды и проходит преимущественно в пределах акватории Повенецкого и Заонежского заливов, где проведена предположительно. В верхней части земной коры аналоги граничных швов этой зоны проявились лишь фрагментарно в унаследованных, вероятно, структурах, установленных по особенностям гравимагнитных полей и геологическим данным. К таким структурам, по-видимому, можно отнести Кумсинский и Телекинский разломы, а возможно, и Кузарандовскую складчато-разрывную зону. Онежская зона закономерно вписывается в структурный план глубинного строения региона как элемент Кондопожской системы разрывных нарушений, что не противоречит геологическому строению верхней части земной коры; ее плановое положение согласуется с гидрографией района и результатами дешифрирования КФМ.

По материалам МОВЗ достаточно надежно проявляется Волозерский разлом, который в гравиметровом поле выделяется лишь фрагментом в пределах северной части Телекинского гравитационного минимума.

Важская глубинная зона, как и Хаутоварская в пределах исследуемой площади, имеет северо-восточное простирание $25\text{—}30^\circ$. В южной части площади Важская зона меняет простирание на субмеридиональное, наследуя, по-видимому, более раннюю систему нарушений, что хорошо видно на схеме. Хаутоварская и Важская зоны сопровождаются сопутствующими параллельными внутрикоровыми нарушениями, часть из которых прослеживается в верхах коры по гравимагнитным полям, например, Центральный и Остреченский разломы.

Особо следует отметить зону Гранитного разлома, четко выделяющуюся на гравиметрических картах аномальной зоной минимума поля силы тяжести и рассматриваемую как область интенсивной гранитизации протерозойской протоактивизации. Предполагаемые гранитные тела, выполняющие разлом, перекрыты протерозойскими осадочно-вулканогенными образованиями. Наиболее отчетливо Гранитный раз-

лом отмечен МОВЗ на профиле II (УП) в районе ПК 86—88 в виде внутрикоровой гомогенезированной зоны, не выходящей в верхние горизонты литосферы.

В центральной части Повенецкого блока преобладают транскоровые нарушения северо-западного простирания (порядка 330°), отождествляемые с известными рудоперспективными структурами — Лижемской, Уницкой, Святухимско-Космозерской и Тамбицкой. Кузарандовская зона вследствие редкой системы полевых наблюдений МОВЗ, обусловленной автодорожной сетью, не отражена на схеме глубинного строения. Возможно, что она зафиксирована на профиле I как южный борт Онежской зоны. Лижемская и Уницкая зоны прослеживаются как наиболее мощные структуры, что соответствует и данным гравиметровых съемок, причем по сейсмологическим наблюдениям их удастся проследить вплоть до Хаутоварской зоны. Результатами полевых наблюдений МОВЗ установлен сложный характер рудоперспективных зон, прослежено их плановое положение в низах литосферы, оценена глубинность заложения этих структур, выявлены субмеридиональные их ответвления по унаследованной, более ранней системе нарушений, как это подтверждается геолого-геофизическими данными для Пигмозерского разлома.

Выполненные сейсмологические исследования позволяют несколько изменить представления о блоковом строении Онежской структуры. Так, согласно схеме блокового строения восточной части щита, Онежский блок II порядка состоит из двух блоков III порядка: Повенецкого и Петрозаводского. Последний составляет в Онежском блоке южную и восточную части, граница с Повенецким блоком проходит по Кондопожскому и Важскому (Петрозаводско-Важскому) разломам, как бы "охватывая" Повенецкий блок с юго-запада и юго-востока (см. рис. 11). Установленные наблюдениями МОВЗ изменение простирания Важского разлома с северо-восточного на субмеридиональное в районе Заонежского полуострова (что объясняет и переименование разлома с Петрозаводско-Важского на Выжский), а также наличие глубинных субширотных зон на площади исследований (Южная зона) указывают на то, что Петрозаводский блок следует разделить на два: собственно Петрозаводский, к югу от Кондопожского разлома, и самостоятельный блок к востоку от Повенецкого блока, ограниченный Выжским разломом, Бура-

ковской зоной и субмеридиональной структурой на востоке (за пределами схемы).

Сопоставление схемы глубинного строения со схемой блокового строения верхней части земной коры позволяет установить общие черты и различия в структурах разных горизонтов литосферы. Следует отметить, что районирование Повенецкого блока на блоки IV порядка проведено в первую очередь исходя из дифференциации поля силы тяжести по относительным уровням. Это дает основание полагать, что выделяемые блоки IV порядка отражают, главным образом, разный уровень денудационных срезов и блоков архейского фундамента и, соответственно, разную степень гранитизации, которая зависит как от высотных соотношений блоков, так и от наличия очагов магматической деятельности (глубинных разломов).

Основные элементы разрывной тектоники как в верхней, так и в нижней части земной коры в большинстве случаев тождественны. Выявленные МОВЗ наклонные зоны нарушений обычно в плане (на поверхности) сдвинуты по падению относительно нарушений, картируются по гравимагнитным материалам, что в какой-то мере указывает на различную "глубинность" методов, т. е. на разную глубину аномалиеобразующих объектов. Примерами таких разломных структур могут служить Рыбозерский и Волозерский разломы.

Главным различием схем, отражающих разную блоковость Онежско-Ладожской площади в разрезе земной коры, является различная "проявленность" Выжского нарушения в низах и верхних горизонтах. Выжский разлом как глубинная (коровая) восточная граница Повенецкого блока, надежно выделяемая на разрезах МОВЗ, не имеет яркого отражения в гравиметровом поле в пределах Заонежского полуострова. В то же время сопутствующий Выжскому разлому на глубине внутрикоровый Центральный разлом в верхней части коры представляет собой одну из разломных структур, разделяющих архейский фундамент Онежской структуры на блоки IV порядка. В пределах Заонежского полуострова Центральный разлом отделяет интенсивно гранитизированный Космозерский блок, составляющий южную часть полуострова, от Ванчозерского блока на севере. Последний рассматривается как менее гранитизированный блок, опущенный в разрезе относительно Космозерского и Кедрозерского блоков. Сопоставив результаты МОВЗ и гравиразведки, Космозерский блок можно пред-

ставить как интенсивно гранитизированную область в верхней части глубинного разлома, который, в свою очередь, послужил каналом для магматических образований. Такая трактовка соответствует современным представлениям о разломных структурах земной коры и подтверждает перспективность Космозерского блока на поиски месторождений полезных ископаемых.

Структура Выжской зоны нарушений на разных уровнях литосферы указывает на тектонические перестройки в разрезе земной коры в восточной части Онежского прогиба и вынуждает по-разному картировать глубинные (коровые) и геологические (поверхностные) границы Повенецкого блока. Остается открытым вопрос о восточной границе блока. Как отмечалось, глубинный шов Выжской зоны, по всей вероятности, затушеван в поле силы тяжести интенсивной гранитизацией в верхах разлома. На поверхности за западную границу глубинной структуры можно принять Центральный разлом, падающий, по данным МОВЗ, на юго-восток в сторону глубинного шва зоны и в разрезе оперяющий Выжский разлом. Если исходить из общности геологического строения, как неперемного условия определения границ геологических блоков, то геологическая ситуация Заонежского полуострова и особенности гравимагнитных полей существенно "отодвигают" геологическую границу Повенецкого блока от Выжского разлома на восток, где она, вероятно, будет совпадать с восточной границей всего Онежского блока. Западным бортом этой границы, возможно, является Пяльминский разлом.

Говоря о "проявленности" глубинных разломов на поверхности, следует обратить внимание на Хаутоварскую структуру, которая в пределах исследуемой площади обладает наибольшим количеством признаков, типичных для глубинных региональных разломов. Хаутоварско-Гирвасская система (Хаутоварско-Выгозерская шовная зона) разделяет блоки II порядка, представленные разными структурными этапами; зона имеет мантийное заложение и отмечается в поле силы тяжести резкой гравитационной ступенью. Необходимо отметить еще один характерный признак регионального глубинного разлома — наличие параллельного шва интенсивной гранитизации, каким следует считать зону разлома Гранитного. Таким образом, всю территорию непосредственно от Хаутоварского разлома до Гранитного можно считать зоной регионального разлома со всеми прису-

щими ей особенностями геологического строения и металлогении. В связи с этим повышается поисковая значимость зоны разлома Гранитного.

Не останавливаясь подробно на анализе схемы блокового строения верхней части земной коры, отметим еще одну черту в блоковой структуре района, которая отражена в гравимагнитных полях и особенностях геологического строения: в пределах Повенецкого блока выделяются две крупные структуры (Телекинская и Заонежская), объединяющие в себе блоки IV порядка, которые характеризуются определенной общностью геолого-геофизических свойств. Телекинская структура, определяющее значение в которой играет Телекинский гранито-гнейсовый купол, ограничена Хаутоварским, Рыбозерским, Пяльминским и Кумсинско-Повенецким разломами. Заонежская структура, основой которой являются Кедрозерский, Ванчозерский и Космозерский блоки, ограничена зонами Лижемского, Гранитного и Кузарандовского разломов. Эти две структуры, отличающиеся высокой степенью "раздробленности" на глубине, следует рассматривать как области интенсивной гранитизации позднекарельской активизации, но находящиеся на разном уровне денудационных срезов.

Схема глубинного строения по результатам МОВЗ и схема блокового строения по комплексу геофизических исследований, хорошо дополняя друг друга, дают представление о разломно-блоковой тектонике региона на разных уровнях литосферы и могут служить структурной основой при прогнозировании месторождений полезных ископаемых и планировании поисковых работ.

В заключение отметим, что глубинные сейсмические исследования в пределах Онежско-Ладожской площади позволили получить сей-

мические модели, которые детально характеризуют земную кору и верхнюю мантию и являются базисным инструментом для решения не только фундаментальных геологических, но и практических задач минерагенического прогноза.

Выводы. Полученные результаты поставили новые вопросы перед сейсмическими методами исследований сложных структур консолидированной коры.

1. Данные отдельных сейсмических методов нельзя считать однозначными. Основной путь уменьшения такой неоднозначности заключается в комплексном использовании сейсмических волн разных классов (отраженные, преломленные, рефрагированные) и разных типов (продольные, поперечные, обменные), зарегистрированных на различных удалениях от пунктов взрыва (ближняя и дальняя зоны) при нормальном и наклонном падении волн на сейсмические границы.

2. Для успешного комплексирования наземных сейсмических наблюдений со скважинными следует разработать физические основы, модели и методику, которые смогут обеспечить сопоставимость и совместную интерпретацию данных разных методов. Отсюда следует необходимость проведения региональных исследований на тех же профилях комплексом сейсмических методов, включающих наблюдения методом ОГТ и трехкомпонентные наблюдения ГСЗ и МОВЗ. Результаты этих работ дополняют друг друга и несут разную информационную нагрузку.

Для решения указанных задач необходимо дальнейшее продолжение сейсмических исследований на непрерывно совершенствующейся технологической основе в комплексе с другими геофизическими методами.

Работа выполнена по Гранту РФФИ № 11-05-90 400. Р.

Список литературы

Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н.В. Шарова. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. — 353 с.

Горбачев В. И., Есипко О. А., Неронова И. В., Шахрай А. В. Результаты геофизических исследований в Онежской параметрической скважине // Связь поверхностных структур с глу-

бинными. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. — Ч. 1. — С. 142—144.

Исанина Э. В., Крупнова Н. А., Шаров Н. В. Структура литосферы вдоль профиля МОВЗ Гдов — Спасская Губа // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 2. — С. 112—121.

Клабуков Б. Н. Региональные геофизические

- поля Онежской структуры и их связь с органическим веществом // Геология и полезные ископаемые Карелии. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. — Вып. 3. — С. 113—118.
- Кокорина Л. К., Мурова Э. В., Дворецкая Л. М.* Отчет о региональных сейсморазведочных работах в Пряжинском, Кондопожском и Медвежьегорском районах Карельской АССР в 1975 г. — Ленинград, 1976. — 150 с.
- Рослов Ю. В., Саккулина Т. С., Телегин А. Н., Тихонова И. М.* Комплексная обработка сейсмических записей преломленных волн с получением динамических разрезов // Разведка и охрана недр. — 2001. — № 10. — С. 8—11.
- Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE* / Под ред. А. Ф. Морозова, Н. В. Межеловского, Н. И. Павленковой. — Москва: ГЕОКАРТ—ГЕОС, 2006. — 735 с.
- Строение литосферы российской части Баренц-* региона / Под ред. Н. В. Шарова, Ф. П. Митрофанова, М. Л. Вербы, К. Гиллена. — Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. — 318 с.
- Сулейманов А. К., Заможняя Н. Г., Павленкова Н. И.* Комбинированные сейсмические исследования методами ОГТ и ГСЗ Восточно-Европейского кратона (профиль 1-ЕВ) // Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования. — Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2007. — С. 229—232.
- Шаров Н. В., Клабуков Б. Н., Рычанчик Д. В.* Геолого-геофизическая модель строения земной коры Онежской структуры // Геофиз. журн. — 2008. — 30, № 3. — С. 132—139.
- Шаров Н. В., Клабуков Б. Н., Соколов С. Я., Исанина Э. В., Крупнова Н. А.* Геолого-геофизическая модель строения земной коры по профилю Ладожское озеро — Онежское озеро — Белое море // Урал. геофиз. вестн. — 2007. — № 2—3 (11—12). — С. 126—136.