

УДК 550.347

ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СКОРОСТНОГО СТРОЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА МЕТОДОМ ФУНКЦИЙ ПРИЕМНИКА

© 2021 г. Академик РАН В. В. Адушкин¹, А. Г. Гоев^{1,2,*}, И. А. Санина¹, А. В. Федоров³

Поступило 18.08.2021 г.

После доработки 09.09.2021 г.

Принято к публикации 10.09.2021 г.

Представлены новые результаты изучения особенностей глубинного скоростного строения двух из трех основных тектонических блоков, слагающих Кольский регион – Мурманского и Беломорского – методом продольных функций приемника на основе данных широкополосных сейсмических станций “Териберка” и “Ковда”. Результаты сопоставлены с аналогичными моделями, полученными поперечными и продольными функциями приемника по данным станций “Апатиты” и “Ловозеро”. Показано, что кора имеет двухслойное строение с границей раздела на глубине 11 км для Мурманского блока и на уровне 15 км для Кольского и Беломорского блоков. Мощность коры составляет 35 и 33 км для Мурманского и Беломорского блоков и 40 км для Кольского блока. Впервые для всех анализируемых тектонических структур выявлено наличие “средне-литосферной неоднородности” или MLD с кровлей на глубине порядка 70 км для Мурманского и Беломорского блоков и 90 км для Кольского блока и подошвой на 130–140 км для всех структур.

Ключевые слова: Балтийский щит, Арктика, литосфера, поперечные волны, PRF, MLD

DOI: 10.31857/S268673972112001X

ВВЕДЕНИЕ

Геологическое строение Кольского региона является предметом пристального исследования на протяжении многих десятилетий. Будучи одной из древнейших известных тектонических структур с высоким потенциалом разработки промышленных месторождений твердых полезных ископаемых, знания о его глубинном строении могут быть полезными для изучения эволюции и развития геодинамических процессов Земли на протяжении ее развития, а также на механизмы формирования и выхода на поверхность мультиметалльных месторождений. Изучаемая область является северо-восточной частью древнего Балтийского (или Фенноскандинавского) щита. Одной из его важных отличительных особенностей является выраженное блоковое строение. Традиционно в его пределах выделяют

три наиболее крупных блока, контактирующих по зонам тектонических разломов – Мурманский, Кольский и Беломорский (рис. 1). Они различаются глубинным строением, характером геологического развития и металлогенией.

Геофизическими методами регион исследован неоднородно. В основном, в фокусе внимания сейсмологии оставалась северо-западная область Кольского региона, где сосредоточены крупные мультиметалльные и иные промышленные месторождения (Печенгский район). Структура верхней мантии известна по данным двух профилей, проходящих через изучаемую территорию – профиль ГСЗ “Кварц” [1] и профиль 1-ЕВ [2]. Тем самым, на территории Кольского региона остаются существенные “белые пятна”, сведения о глубинном скоростном строении которых известны в основном на основе интерполяции.

В последние десятилетия для получения локальных глубинных скоростных разрезов земной коры и верхней мантии в мировой сейсмологии активно применяется метод продольных функций приемника (PRF). В его основе лежит анализ записей обменных волн P–S от телесеизмических событий. Обменные волны формируются на контрастных сейсмических границах, расположенных в среде под регистрирующей аппаратурой, при прохождении через них продольной волны от

¹ Институт динамики геосфер им. М.А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

² Геологический институт Кольского научного Центра Российской академии наук, Апатиты, Россия

³ Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук”, Апатиты, Россия

*E-mail: andr.goev@gmail.com



Рис. 1. Схема тектонического районирования Кольского региона (по [3], с дополнениями). Черными треугольниками показано положение сейсмических станций.

источника и позволяют восстановить локальный глубинный скоростной разрез с высоким вертикальным разрешением. Для Кольского региона этот метод практически не применялся. Известны две работы [4, 5], в которых были использованы данные сейсмических станций Апатиты (АРА) и Ловозеро (LVZ), расположенных в Кольском блоке, для получения скоростных разрезов земной коры и верхней мантии.

В представленной работе впервые получены скоростные модели поперечных волн методом PRF до глубины 300 км Мурманского и Беломорского блоков, а также проведено их сопоставление с ранее полученными моделями Кольского блока [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для получения индивидуальных PRF был использован подход, многократно апробированный и детально описанный в литературе (например, [6]). Для анализа использовались источники возбуждений, находящиеся в диапазоне эпицентральных расстояний 40° – 100° . Для получения параметров анализируемых событий (а именно — времени в очаге, глубины и координат) использовался каталог СМТ [7]. Также эмпирически установлено, что события с магнитудой менее 5.5 чрезвычайно редко пригодны для обработки и потому не использовались. Для анализа отбирались события с импульсной формой колебания первой падающей волны и высоким (более 3) отношением сигнал/шум.

Для данных каждой из станций генерировалось по 20000 случайных начальных моделей,

каждая из которых минимизировалась методом Левенберга-Марквардта для получения решения. Свободными параметрами являлись скорости поперечных волн (V_s) и отношение скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s). По каждому набору выбиралось порядка 1% решений, синтетические PRF от которых ближе всего описывали наблюдаемые данные. Медианная модель по полученной выборке считается результирующей моделью. Детальное описание алгоритма приведено в [8].

Глубинные скоростные разрезы были рассчитаны по данным широкополосных сейсмических станций, расположенных в основных геоблоках Кольского региона: станции “Териберка” (TER) в Мурманском блоке и станции “Ковда” (KQDA) в Беломорском блоке. Рассчитанные скоростные модели были сопоставлены с ранее полученными авторами скоростными разрезами Кольского блока, по данным широкополосных станций “Апатиты” (АРА) и “Ловозеро” (LVZ) [5] (рис. 2).

Мурманский блок (рис. 2 а) характеризуется градиентным повышением скорости поперечных волн в коре с 3.2 до 4.1 км/с. На глубине порядка 11 км выявлен скачок скоростей, связанный, вероятно, с границей перехода от верхней к нижней коре. Граница Мохо определена единым разделом на глубине 35 км со скачком скоростей с 4 до 4.3 км/с. Наиболее яркой особенностью верхней мантии является слой относительно пониженных скоростей на глубинах порядка 70–140 км.

Скоростной разрез Беломорского блока (рис. 2б) несколько отличается от модели Мурманского блока. Скорости в коре находятся в диапазоне 3.3–3.9 км/с. Граница перехода верхняя/нижняя

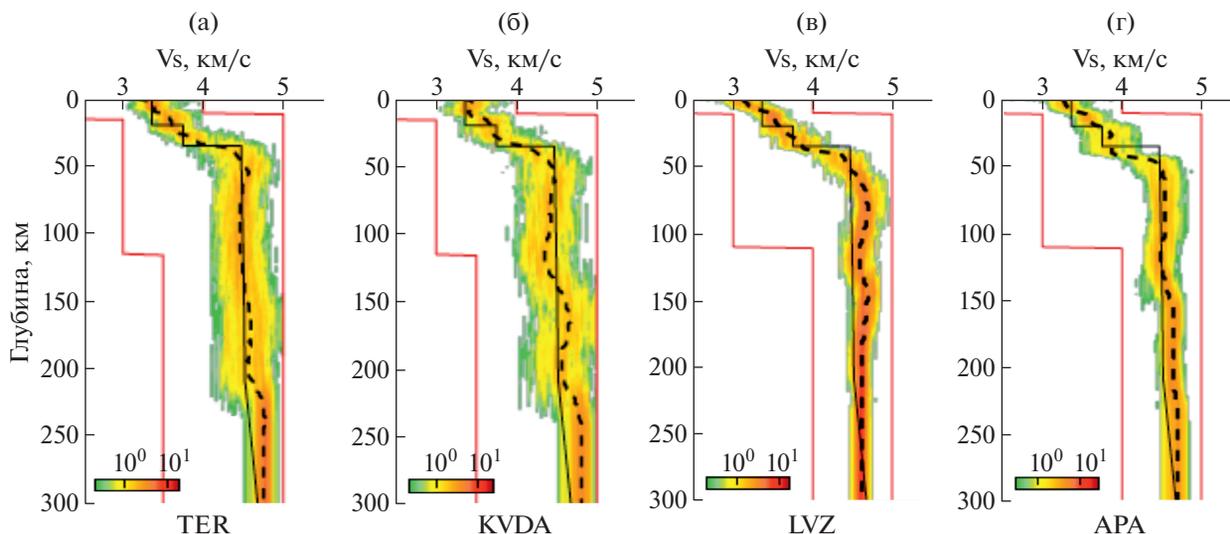


Рис. 2. Скоростные разрезы поперечных волн, характеризующие Мурманский блок (а), Беломорский блок (б), Кольский блок (в, г). Цветами показаны поля сгущения индивидуальных минимизированных случайных моделей. Пунктирными линиями показаны медианные модели. Красные линии обозначают границы формирования случайных начальных моделей. Черные линии представляют модель IASP91.

кора выявляется более явно на глубине порядка 14 км. Общая мощность коры составляет 33 км. Коро-мантийный переход характеризуется скачкообразным увеличением скоростей V_s с 3.9 до 4.2 км/с. В верхней мантии, также как для Мурманского блока, выявляется слой пониженных скоростей на глубинах 70–130 км с наибольшим падением скоростей на глубинах 100–130 км до скоростей 4.35 км/с.

Как видно, скоростное строение коры различных блоков Кольского региона (рис. 2 в, г), несмотря на кажущее сходство, заметно различается. Так, наибольшую мощность имеет кора Кольского блока (40 км) [5]. Мощность коры Мурманского блока несколько больше, чем определено для Беломорского блока (35 и 33 км соответственно). Во всех моделях определена двухслойная кора с границей раздела на глубине порядка 15 км для Кольского и Беломорского блоков и 11 км для Мурманского. Приведенные оценки уточняют результаты, достигнутые с использованием профилей ГСЗ и МОВЗ. Так, по данным интерпретации профиля ГСЗ “Кварц”, граница Мохо определена на глубине 43–44 км и порядка 37 км для Кольского и Беломорского блоков соответственно [1]. По данным профиля МОВЗ “Толстик” – “Хибины” (северная часть профиля 1-ЕВ), мощность земной коры составляет порядка 41–42 км для Мурманского и Кольского блоков с утончением до 40 км в районе Хибинского массива Кольского блока [2].

Особое внимание следует уделить, впервые выявленному для всего Кольского региона, слою пониженных (относительно стандартной ско-

ростной модели Земли IASP91 9) скоростей в верхней мантии. Его подошва на всех моделях находится на глубине 130–140 км, а кровля изменяется от 70 км для Мурманского и Беломорского блоков, до 90 км для Кольского блока. Выявленный слой является “средне литосферной неоднородностью” или MLD. Этот слой обнаружен практически повсеместно под древними кратонами на глубине порядка 100 км [10]. Однако глубины залегания его кровли и мощность различаются для различных тектонических структур [11–13]. Для западной части Балтийского щита он обнаружен на глубинах 90–130 км. [14]. Для Восточно-Европейской и Сибирских платформ параметры MLD, как и его наличие, не определены, что затрудняет выдвижение гипотез его формирования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке ФИЦ ГС РАН – “Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира”.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, грант № 21-17-00161.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павленкова Г.А., Павленкова Н.И. Результаты совместной обработки данных ядерных и химических

- взрывов по сверхдлинному профилю “Кварц” (Мурманск– Кызыл) // *Физика Земли*. 2008. № 4. С. 62–73.
2. *Золотов Е.Е., Костюченко С.Л., Ракитов В.А.* Неоднородности верхней мантии Балтийского щита по данным сейсмической томографии // *Разведка и охрана недр*. 2000. № 2. С. 27–29.
 3. *Мудрук С.В., Балаганский В.В., Горбунов И.А., Раевский А.Б.* Альпинотипная тектоника в палеопротерозойском Лапландско-Кольском орогене // *Геотектоника*. 2013. № 4. С. 13–30.
 4. *Dricker I.G., Roecker S.W., Kosarev G.L., Vinnik L.P.* Shear-wave Velocity Structure of the Crust and Upper Mantle beneath the Kola Peninsula // *Geophys. Res. Lett.* V. 23. № 23. 1996. P. 3389–3392.
 5. *Гоев А.Г., Санина И.А., Орешин С.И., Резниченко Р.А., Тарасов С.А., Федоров А.В.* Скоростное строение литосферы Хибинского и Ловозерского массивов (северо-восточная часть Балтийского щита) методом функции приемника // *Физика Земли*. 2021. № 5. С. 30–40.
 6. *Vinnik L.P.* Detection of Waves Converted from P to S in the Mantle // *Phys. Earth Planet In.* 1977. V. 15. P. 39–45.
 7. *Ekström G., Nettles M., Dziewonski A.M.* The Global CMT Project 2004-2010: Centroid-moment Tensors for 13,017 Earthquakes // *Phys. Earth Planet In.* 2012. V. 200–201. P. 1–9.
 8. *Алешин И.М.* Построение решения обратной задачи по ансамблю моделей на примере инверсии приемных функций // *ДАН. Науки о Земле*. Том. 496. № 1. 2021. С. 63–66.
 9. *Kennett B.L.N., Engdahl E.R.* Traveltimes for Global Earthquake Location and Phase Identification // *Geophys. J. Int.* 1991. V. 105. P. 429–465.
 10. *Thybo H., Perchuc E.* The Seismic 8° Discontinuity and Partial Melting in Continental Mantle // *Science*. 1997. V. 275. P. 1626–1629.
 11. *Sun W., Fu L.Y., Saygin E., Zhao L.* Insights Into Layering in the Cratonic Lithosphere Beneath Western Australia // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2018. V. 123. P. 1405–1418.
 12. *Chen C., Gilbert H., Fischer K.M., Andronicos C.L., Pavlis G.L., Hamburger M.W., Marshak S., Larson T., Yang X.* Lithospheric Discontinuities beneath the US Midcontinent—signatures of Proterozoic Terrane Accretion and Failed Rifting // *Earth and Planetary Science Lett.* 2018. V. 481. P. 223–235.
 13. *Rychert C.A., Shearer P.M.* A Global View of the Lithosphere-asthenosphere Boundary // *Science*. 2009. V. 324. P. 495–498.
 14. *Perchuc E., Thybo H.* A New Model of Upper Mantle P-wave Velocity below the Baltic Shield: Indication of Partial Melt in the 95 to 160 km Depth Range // *Tectonophysics*. 1996. V. 253. 1996. P. 227–245.

FEATURES OF THE DEEP VELOCITY STRUCTURE OF THE CENTRAL PART OF THE KOLA PENINSULA BY RECEIVER FUNCTIONS TECHNIQUE

Academician of the RAS V. V. Adushkin^a, A. G. Goev^{a,b,#}, I. A. Sanina^a, and A. V. Fedorov^c

^a *Sadovsky Institute of Geosphere Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b *Geological Institute, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation*

^c *Federal Research Center “Geophysical Survey of Kola Branch of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russian Federation*

[#] *E-mail: andr.goev@gmail.com*

New results are presented on the features of the deep velocity structure of two of the three main tectonic blocks that make up the Kola region — Murmansk and Belomorsk by the P receiver function technique. The research is based on data from broadband seismic stations “Teriberka” and “Kovda”. The results are compared with the models obtained by mutual inversion of PRF and SRF from the “Apatity” and “Lovozero” stations data. It is shown that the crust has a two-layer structure with the boarder at a depth of 11 km for the Murmansk block and at a depth of 15 km for the Kola and Belomorsky blocks. The crustal thickness is 35 and 33 km for the Murmansk and Belomorsk blocks and 40 km for the Kola block. For the first time, for all analyzed tectonic structures, the presence of the MLD was revealed with a top at a depth of about 70 km for the Murmansk and Belomorsky blocks and 90 km for the Kola block and a bottom at 130–140 km for all structures.

Keywords: Baltic shield, Arctic, lithosphere, shear waves, PRF, MLD