



Глубинный геоэлектрический разрез по профилю SVEKA по результатам экспериментов BEAR и FENICS

Петрищев Максим Сергеевич

СПбФ ИЗМИРАН, г. Санкт-Петербург

ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк

Цель работы – интерпретация результатов эксперимента BEAR и FENICS с использованием феноменологического подхода.

Задачи:

- Интерпретация данных электромагнитных зондирований BEAR и FENICS в рамках феноменологического подхода.
- Интерпретация данных электромагнитных зондирований по профилю SVEKA.

Считается, что древние кристаллические щиты являются наиболее благоприятными областями для изучения глубинного строения литосферы с использованием электромагнитных методов. Отсутствие осадочного чехла и высокое удельное сопротивление кристаллических пород является основной причиной такого суждения. Фенноскандинавский (Балтийский) щит площадью около 1 миллиона квадратных километров является идеальным объектом в этом отношении.

Поиск возможного появления астеносферы, представляющей собой промежуточный проводящий слой частично расплавленных пород на глубинах в несколько сотен километров, был принят в качестве основной цели эксперимента BEAR (Baltic Electromagnetic Array Research).

Идея и методика эксперимента были основаны на проведении синхронных магнитотеллурических зондирований (МТЗ) в единой сети наблюдений 150 x 150 км для последующей двухмерной и трехмерной интерпретации, поскольку отдельные МТЗ, которые ранее использовались для этой цели, не дали положительных результатов из-за влияния горизонтальной неоднородности среды и неоднородности источника естественных вариаций электромагнитного поля Земли.

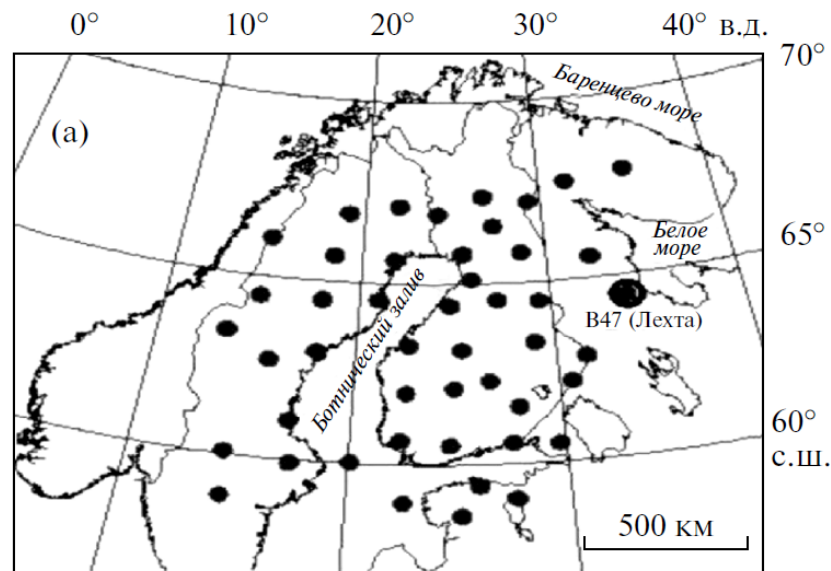
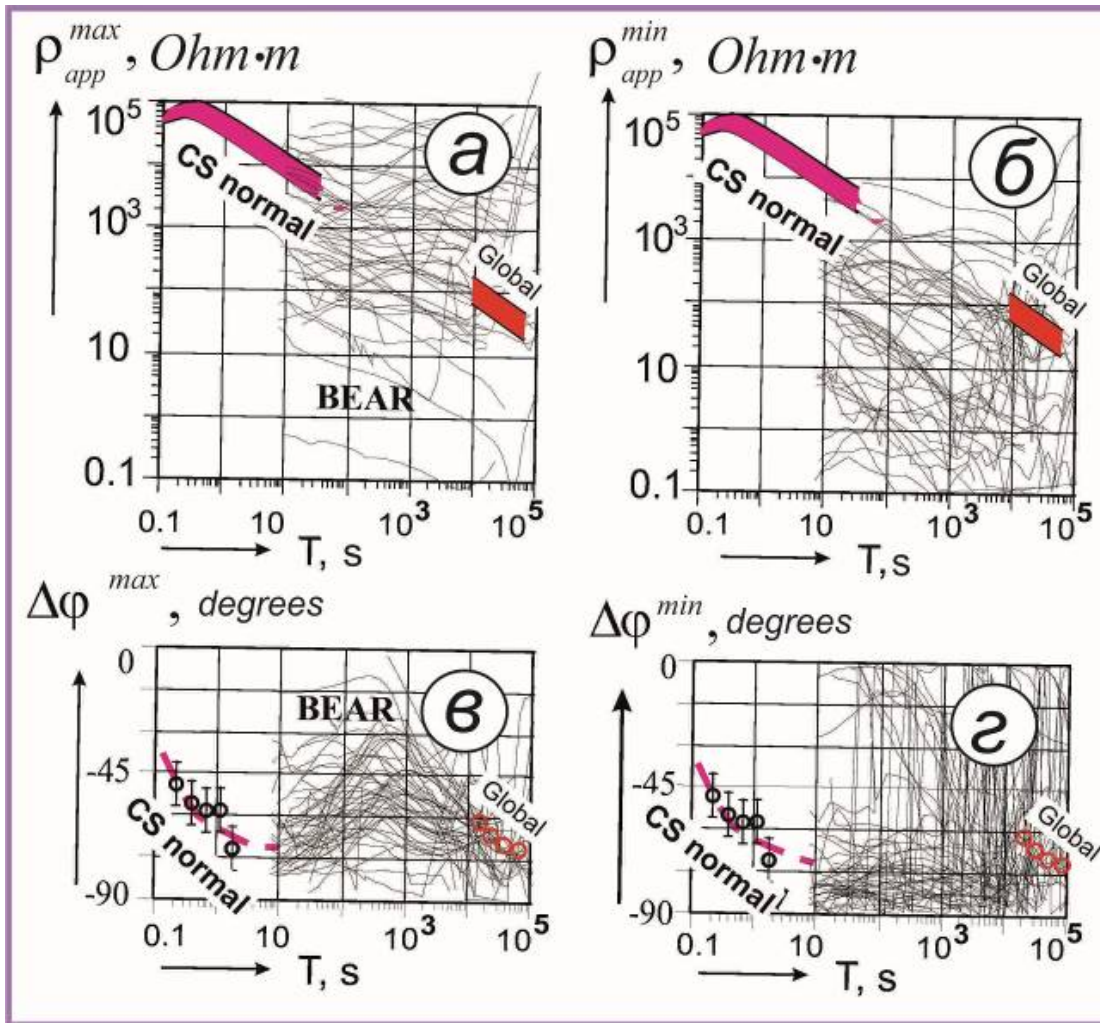


Схема расположения пунктов зондирования в эксперименте BEAR



Результаты эксперимента «BEAR».

a - сводная диаграмма максимальных кривых кажущегося сопротивления,

б – то же, минимальные кривые;

в - сводная диаграмма максимальных кривых фазы импеданса,

г – то же минимальные кривые [Smirnov & Varentsov, 2000]

Результаты работы над проектом BEAR представлены в ряде статей, однако единый подход к анализу данных и, соответственно, общепринятый результат интерпретации пока не получен.

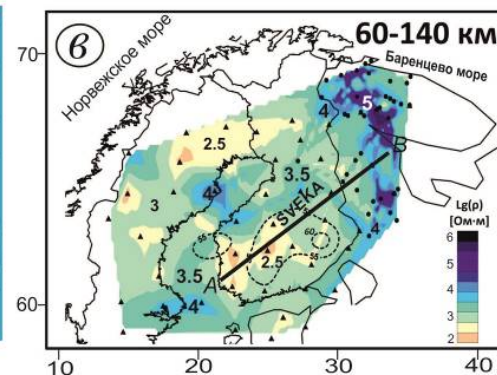
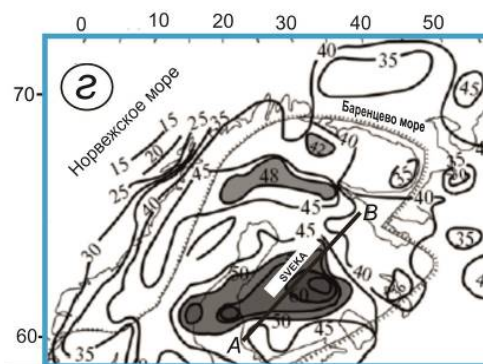
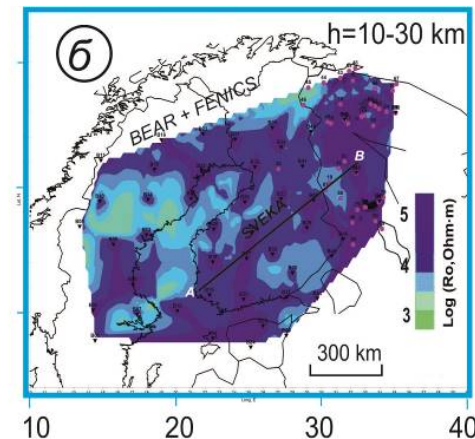
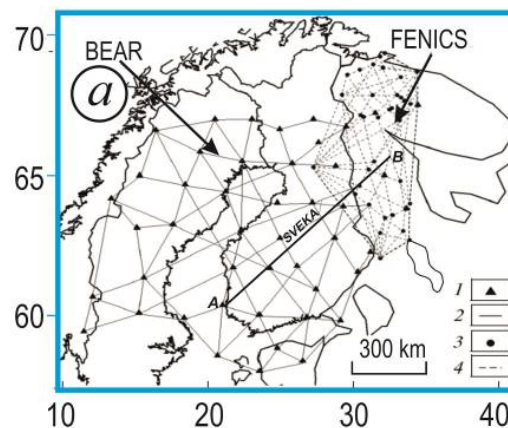
Основной причиной была большая, в основном нерегулярная, вариация значений кажущегося удельного сопротивления.

Указанный разброс значений сокращается при применении феноменологического подхода (Zhamaletdinov & Petrishchev, 2015).

Феноменологический подход основан на использовании регуляризирующих параметров (постулатов), априорных ограничений, установленных на основе предыдущих результатов электромагнитных зондирований, в основном с использованием мощных управляемых источников (Zhamaletdinov, 2011).

Постулаты:

- так называемые «коровые» проводящие аномалии распределены исключительно внутри верхнего слоя земной коры толщиной 10 км;
- верхний неоднородный слой земной коры толщиной 10 км расположен на поверхности горизонтально однородного слабопроводящего слоистого фундамента;
- средняя продольная электропроводность верхнего слоя земной коры толщиной 10 км на территории Фенноскандского щита составляет 1 См.

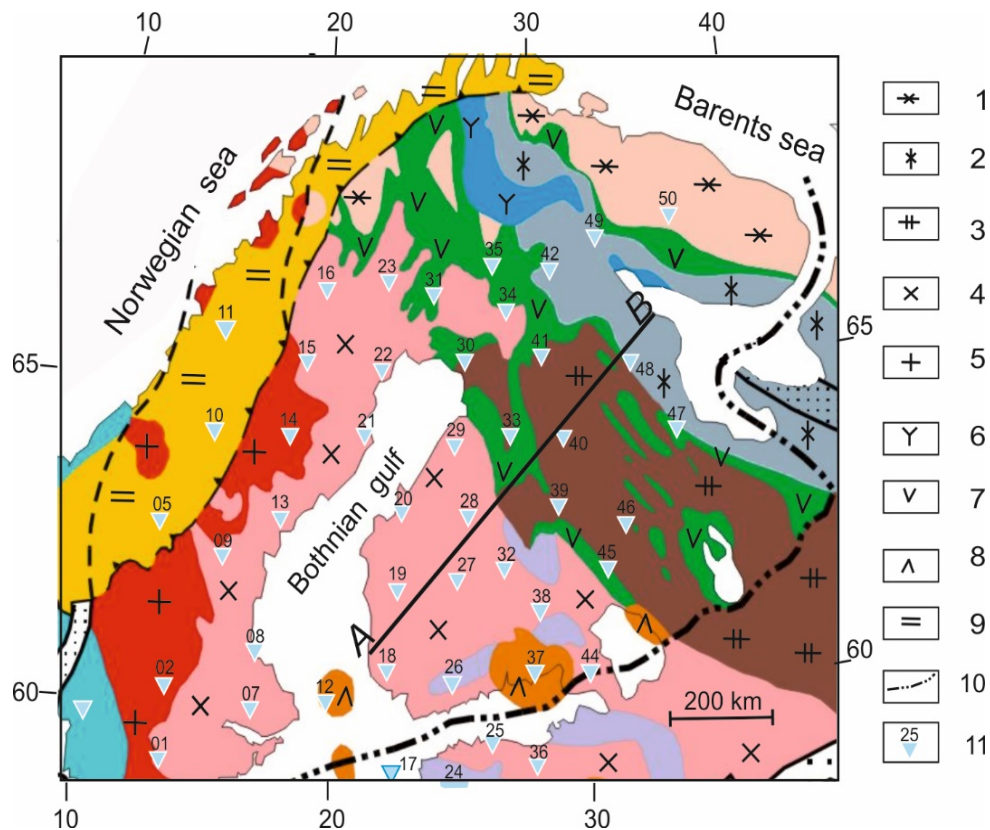


Применение такого подхода по данным экспериментов BEAR и FENICS позволило построить квазитрехмерную модель электропроводности литосферы Фенноскандинавского щита (Zhamaletdinov & Petrishchev, 2015)

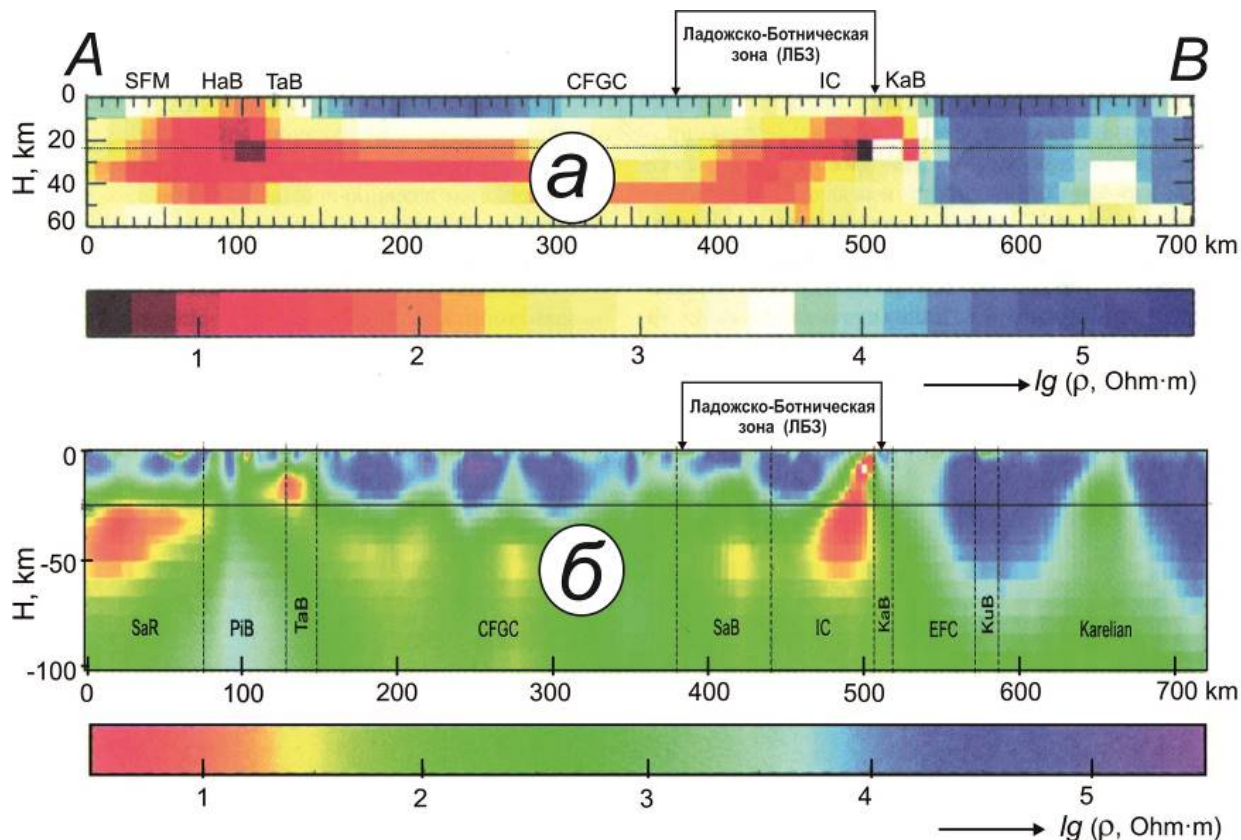
Первые МТ наблюдения на профиле SVEKA были выполнены в начале 80-х годов с использованием скалярных 2-х компонентных

аудиомагнитотеллурических (АМТ) станций [Adam et al., 1982]. Позже, начиная с 1985 года, глубинные геоэлектрические исследования на профиле SVEKA были продолжены финскими геофизиками.

Длина профиля достигла 750 км, а количество МТ-АМТ зондирований увеличилось до 150 точек [Korja et al., 2006]. Профиль SVEKA на своем протяжении пересекает несколько палеопротерозойских комплексов Свекофеннского блока. В северо-восточной части он переходит в район распространения архейских гранитогнейсов карельского мегаблока. В средней части профиль перерезает Ладожско-Ботническую зону

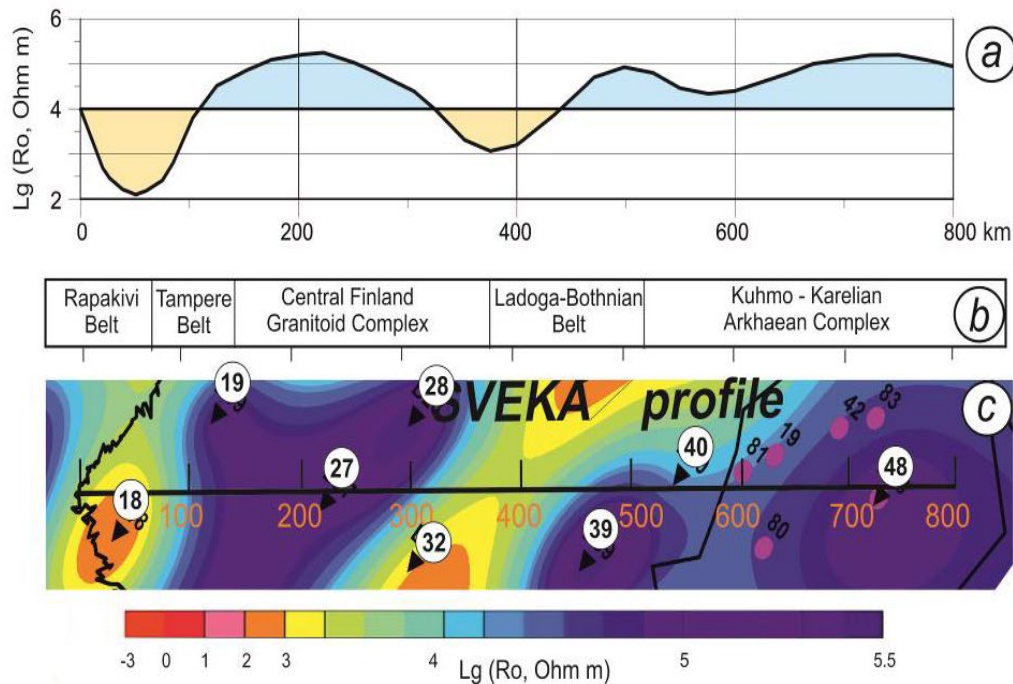


Положение пунктов измерений (треугольники 11) в эксперименте «BEAR» на геологической основе (Glaznev, 2003). Сплошная линия AB показывает положение профиля SVEKA. Легенда: архейские блоки – мурманский (1), беломорский (2), карельский (3); протерозойские блоки – фенноскандинавский (4), готский (5); вулканогенно-осадочные комплексы – гранулиты (6), зеленокаменные пояса (7), рапакиви-граниты (8); каледониды (9); граница между Феннискандинавским щитом и Русской платформой (10)



Варианты интерпретации результатов АМТ-МТЗ на профиле SVEKA по данным [Korja et al., 2002, 2006] (a) и [Lahti et al., 2005] (б).

Обозначения блоков приведены на рис. б слева направо: SaR - блок Сатакунта Рапакиви, PiB - пояс Пирккала Belt, TaB - пояс Тампере Belt, CFGC – Central Finland Granite Complex, SaB - пояс Savo Belt, комплекс IC – Iisalmi Complex, пояс KaB – Kainu Belt, комплекс EFC - East Finland Complex, пояс KuB – Kuhmo Belt, Karelian - Карельский мегаблок



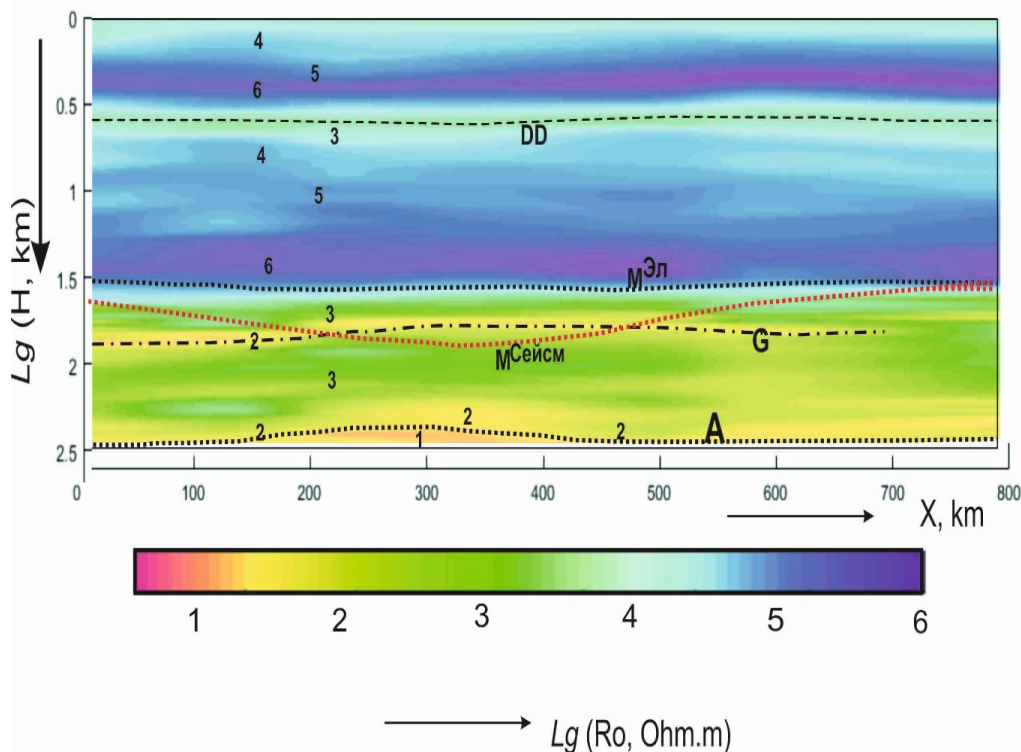
Гранитоидный комплекс Центральной Финляндии (ЦФГК) и архейские кристаллические породы Кухмо и Карельского блоков земной коры на рис. а отличаются высокими значениями удельного сопротивления - до $10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Пониженные значения удельного сопротивления ($10^2 - 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и ниже) наблюдаются в поясах Рапакиви, Темпере и Ладожско-Ботнической зоне. Легко видеть, что контуры аномалий удельного сопротивления на рис. а не совсем совпадают с геологическими границами, показанными на рис. б.

Электропроводность верхней 10-километровой толщи земной коры на профиле SVEKA по результатам интерпретации данных BEAR:

- (a) - график электрического сопротивления земной коры в пределах верхнего 10-километрового слоя,
- (b) - названия геологических блоков, пересекаемых профилем SVEKA;
- (c) - план изолиний удельного сопротивления по профилю SVEKA с указанием положения станций эксперимента BEAR (в кружках).

Различия могут быть объяснены ограниченными возможностями интерполяции данных эксперимента BEAR с редкой сети наблюдений ($150 \times 150 \text{ км}$) при решении обратной задачи.



Квазидвумерный глубинный геоэлектрический разрез по данным BEAR на профиле SVEKA.

Условные обозначения:

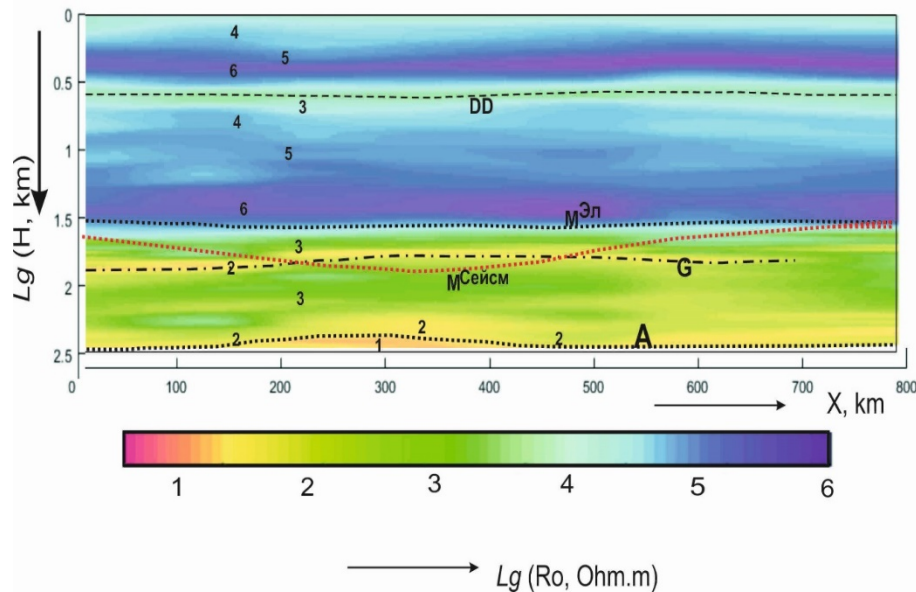
DD – слой дилатантно-диффузионной проводимости, MЭл – граница Мохо по данным геоэлектрики, MСейсм. – граница Мохо по данным сейсморазведки, G – слой Гутенберга, A – кровля предполагаемой астеносферы.

Цифрами показано удельное сопротивление в лг (R_o , Ом·м).

Из рисунка видно, что литосфера может быть разделена на две части. Верхняя часть (земная кора) характеризуется средним высоким удельным сопротивлением (10^4 – 10^6 Ом·м) с резким падением удельного сопротивления до 10^3 Ом·м на уровне границы Мохо.

В районе глубины 3-5 км выделяется промежуточный проводящий слой дилатантно-диффузионной (флюидной) природы (DD-слой) в виде узкой зоны пониженного удельного сопротивления, порядка 10^4 Ом·м.

Впервые слой DD был обнаружен на блоке ЦФГК при проведении частотных зондирований (CSAMT) (Zhamaletdinov et al., 1998). Впоследствии его существование было подтверждено многочисленными наблюдениями CSAMT в восточной части Балтийского щита и, в частности, в Ковдорском и Енско-Беломорском блоках (Zhamaletdinov et al., 2017).



Верхняя мантия, наблюдаемая в диапазоне глубин 40-300 км, характеризуется пониженным удельным сопротивлением (10^2 - 10^3 Ом·м). На этом фоне выделяются две проводящие области. Одна из них, в диапазоне глубин 80-100 км, является прерывистой и имеет удельное сопротивление до 10 Ом·м. Этот слой может быть связан с границей Гутенберга.

Вторая проводящая область относится к основанию литосферы на глубине около 300 км. Она может быть связана с наличием гипотетической астеносферы. Удельное сопротивление в пределах предполагаемой астеносферы падает до 10-100 Ом.м.

В интервале пикетов 150-450 км выделяется широкая зона слабого подъема астеносферного проводящего слоя до уровня 250-280 км с соответствующим увеличением его проводимости. На дневной поверхности этот интервал пикетов соответствует ЦФГК и части Ладожско-Ботнической зоны. Важно отметить, что погружение границы Мохо на глубину 50-60 км (Pavlenkova, 2006; Sharov & Mitrofanov, 2014) появляется в диапазоне пикетов 150-450 км и, по-видимому, его природа может быть связана с небольшим поднятием астеносферы.

На профиле SVEKA установлены следующие особенности строения литосферы:

- Земная кора, вплоть до границы Мохо, характеризуется высоким сопротивлением 10^5 - 10^6 Ом·м.
- В интервале глубин 80-100 км наблюдается прерывистый промежуточный проводящий слой, коррелируемый с сейсмической границей Гутенберга.
- В основании верхней мантии, на глубине около 300 км установлено существование гипотетической астеносферы.
- В интервале пикетов 200-400 км наблюдается подъем гипотетической астеносферы до 250 км по снижению удельного сопротивления вещества до 10 Ом·м. Примерно в этом же интервале пикетов установлено погружение границы Мохо до 55-60 км.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-00528, а также в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ – тема ГИ КНЦ РАН № 0226-2019-0052 и тема ЦЭС КНЦ РАН № 0226-2019-0067.



Спасибо за внимание!