

СТРУКТУРА ЛАДОЖСКОЙ КОРОВОЙ АНОМАЛИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ РАБОТ 2018-2019 ГГ. В ЮЖНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ

В.А. Куликов¹, А.П. Ионичева¹, П.Ю. Пушкарев¹, Е.Ю. Соколова², А.Г. Яковлев¹.

1 - Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

2 - Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

Введение

Летом 2018 г и зимой 2019 г рабочей группой ЛАДОГА, объединяющей геоэлектриков Геологического факультета МГУ, Института геологии КарНЦ РАН и ИФЗ РАН, в целях изучения юго-восточного продолжения Ладужской аномалии электропроводности были выполнены полевые работы методами МТЗ и ГМТЗ по двум региональным 180-километровым профилям "Кириши-Подпорожье" и "Тихвин-Винницы" (рис. 1). Зимние работы 2019 года по профилю "Тихвин-Винницы" проводились в рамках факультативной геофизической практики для студентов-геофизиков 3 курса Геологического факультета МГУ, после того, как анализ полевых результатов летних работ 2018 г показал, что магнитотеллурические данные сильно "зашумлены" помехами от электрифицированной железной дороги Санкт-Петербург - Мурманск, проходящей вдоль южного берега Ладужского озера.

При проведении работ использовалось два вида магнитотеллурической аппаратуры – низкочастотные станции LEMI-417 (разработка Львовского центра ИКИ НАНУ) и новая магнитотеллурическая станция МЭРИ-ПРО, разработанная в компании ООО «Северо-Запад» (г. Москва). В статье основной акцент сделан на результаты зимних работ по профилю "Тихвин-Винницы" а также приведены некоторые результаты работ по профилю "Кириши - Подпорожье".

История изучения Ладужской аномалии электропроводности

Региональная аномалия электропроводности земной коры, названная в последствии Ладужской аномалией, была выявлена впервые по результатам работ методом магнитовариационного профилирования (МВП) в конце 70х годов прошлого столетия. В последующие десятилетия изучением Ладужской аномалии занимались многие научно-исследовательские и учебные организации, такие как Институт геологии КФ АН СССР, НИИФ Ленинградского университета, Ленинградский горный институт, Институт геофизики АН УССР и др. Работы проводились под руководством видных российских ученых - геоэлектриков: Рокитянского И.И., Ковтун А.А., Жамалетдинова А.А., Фельдмана И.С. и др. [Рокитянский и др. 1981; Жамалетдинов А.А., 2012; Ковтун и др., 2011].

Новый этап изучения Ладужской аномалии рабочей группой ЛАДОГА, в которую вошли опытные исследователи из СПбГУ, Геологического факультета МГУ, ИФЗ РАН, ИГ РАН и ООО «Северо-Запад» с помощью современных технологий комплексных МТ/МВ синхронных зондирований стартовал в 2013 году при финансовой поддержке РФФИ (гранты РФФИ № 13-05-00786, 16-05-00543).

В период с 2013 по 2018 гг. рабочей группой ЛАДОГА были проведены магнитотеллурические исследования в Северном Приладожье (профиль Выборг-Суоярви-2, 2013-2015 гг.) в Восточном Приладожье (профиль Лоймола-Олонец, 2016 г) и в Южном Приладожье (профили Тумаза-Окулово, 2016 г и Кириши-Подпорожье, 2018 г).

Измерения, выполненные рабочей группой ЛАДОГА отличались применением цифровой аппаратуры с GPS навигацией и использованием синхронных схем наблюдения в разведочном и глубинном диапазонах, что позволило улучшить шумоподавление при оценивании традиционных локальных передаточных операторов - тензоров импеданса [Z] и

матриц Визе-Паркинсона [W], а также получить новые ресурсы для анализа индукционных откликов проводящих коровых структур - двухточечные операторы, в том числе, связывающий горизонтальные поля в двух точках магнитный тензор [M] [Бердичевский, Дмитриев. 2010; Варенцов и др., 2003].

Геологический обзор

Профиль "Тихвин-Винницы" располагается на юго-востоке Фенноскандинавского щита на стыке двух крупных тектонических структур - архейского Карельского кратона и позднепалеопротерозойского Свекофеннского аккреционного орогена [Миц, Соколова, 2018].

На границе между Свекофеннским орогеном, сформированным при закрытии одноименного океана, и Карельским кратоном располагается Ладожско-Ботнический пояс шириной от 20 до 50 км (рис. 1). Этот пояс представлен метаморфизованными вулканогенно-осадочными комплексами, сформированными на шельфе и континентальном склоне пассивной окраины, возникшей при раскрытии океана, в пределах которого открыты месторождения медных, никелевых, полиметаллических и других руд.

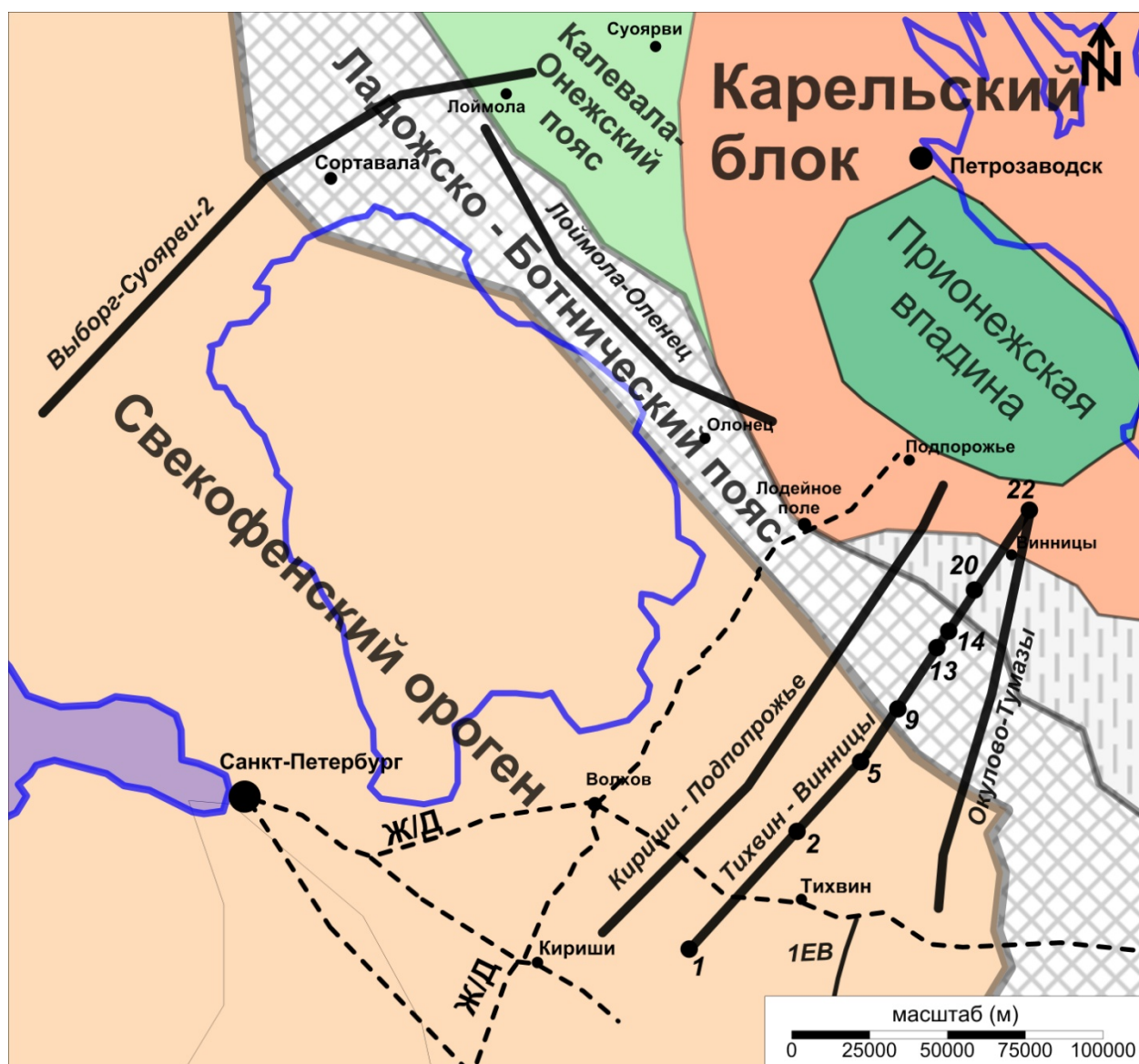


Рис. 1. Расположение профилей МТЗ, выполненных рабочей группой ЛАДОГА в период с 2013 по 2019 гг.

Аппаратура и методика работ

На профилях "Кириши-Подпорожье" и "Тихвин-Винницы" все измерения были выполнены новой магнитотеллурической станцией МЭРИ-ПРО, разработанной в компании ООО "Северо-Запад" (г. Москва). Эта пятиканальная станция предназначена для измерения двух электрических и трех магнитных компонент ЭМ поля. Для синхронизации с базовой точкой станция оснащена системой GPS с выносной антенной. Частотный диапазон станции 0.0001 - 1000 Гц. Для регистрации разных частотных диапазонов предусмотрен режим децимации с автоматическим переключением частот дискретизации сигнала - 2400, 150, 15 Гц. Датчики магнитного поля IMS-010 разработаны в ООО «Вега» (г. Санкт-Петербург).

Обработка сигнала проведена с помощью новой программы EPI-KIT [Епишкин, 2018], разработанной в ООО "Северо-Запад" (автор - Епишкин Д.В.). Предлагаемый в программе алгоритм включает в себя как хорошо известные статистические процедуры, так и ряд новых процедур, разработанных автором.

Качественный анализ результатов

По форме кривых кажущегося сопротивления и фазы импеданса профиль можно разделить на три части (рис. 2). В северо-восточной части (МТЗ № 19-22) тип кривых ρ_k - НК. Минимум в левой части кривой ρ_k отвечает влиянию осадочных пород, а восходящая ветвь связана в высокоомными породами кристаллического фундамента. В центральной части профиля (МТЗ № 11-17) кривые ρ_k имеют тип Q. На отдельных точках, восходящая ветвь кривой, отвечающая влиянию высокоомных пород фундамента, практически отсутствует. Низкочастотная нисходящая ветвь связана с влиянием корового проводника. В юго-западной части профиля (МТЗ № 1-10) кривые ρ_k имеют тип НК с ярко выраженным элементом «К». Глубина до корового проводящего слоя при формальной оценке по асимптоте к левой нисходящей ветви составляет 12-25 км.

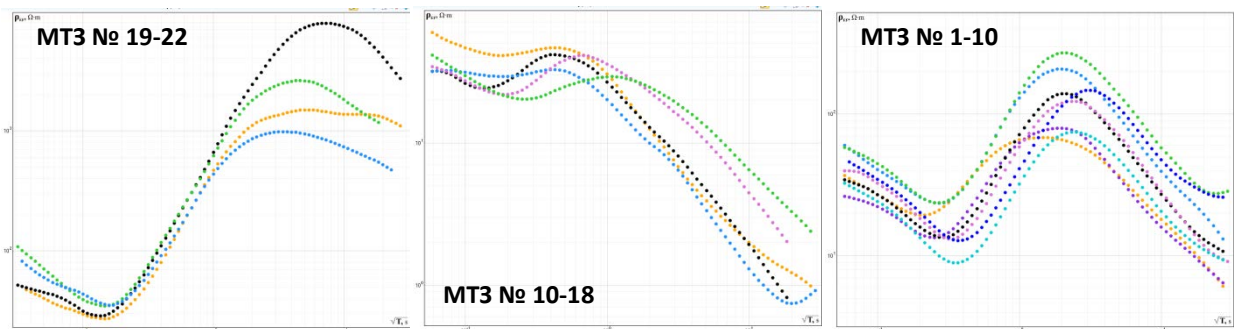


Рис. 2. Типичные кривые кажущегося сопротивления для разных участков профиля.

На основе анализа псевдорезов кажущихся сопротивлений и фаз импеданса можно выделить следующие характерные черты геоэлектрической модели:

1. Суммарная проводимость верхнего горизонта осадочных отложений плавно увеличивается с северо-востока на юго-запад.
2. В центральной части профиля, на больших периодах выделяется аномальная область, связанная с проводящей зоной в земной коре. Ширина аномальной зоны составляет примерно 100 км (50-150 км профиля). Минимальные глубины залегания проводника фиксируются в районе МТЗ № 17-19, где он практически сливается с верхним горизонтом осадочных пород. В юго-западном направлении наблюдается погружение проводника.
3. В районе МТЗ № 2-3 фиксируется субвертикальная зона пониженных сопротивлений в земной коре.
4. Максимальными значениями удельных сопротивлений характеризуется верхние горизонты земной коры в Карельском блоке (150-180 км профиля).

По ориентации индукционных векторов, амплитудных и фазовых полярных диаграмм, главных осей фазового тензора на периодах в первые десятки секунд определилось направление простирания глубинных геоэлектрических неоднородностей (130-150°ЮВ), что обосновало возможность применения двумерного подхода интерпретации магнитотеллурических данных с предварительным поворотом кривых на 50° по часовой стрелке.

Двумерная инверсия в программе ZONDMT2D

Для построения глубинной геоэлектрической модели вдоль линии "Тихвин-Винницы" была проведена серия 2D инверсий ансамбля профильных МТ/МВ передаточных функций. Инверсия проводилась в программе ZONDMT2D (автор – Каминский А.Е., г. Санкт-Петербург), где реализовано несколько вариантов решения обратной задачи магнитотеллурических зондирований.

Наибольшего разрешения модели в верхней коре и наилучшей сходимости расчетных и наблюдаемых данных удалось достичь при проведении бимодальной инверсии по повернутым на 50° компонентам тензора импеданса и типперам W_z . Инверсия выполнялась с весовым приоритетом фазовых данных для уменьшения влияния статических искажений.

Геоэлектрическая модель по профилю "Тихвин-Винницы" приведена на рис. 3,а. На этом же рисунке, для сопоставления с результатами, полученными в Северном Приладожье, представлена модель УЭС (рис. 3,б), полученная по результатам 2D инверсии по профилю Выборг-Суоярви-2 [Минц, Соколова, 2018].

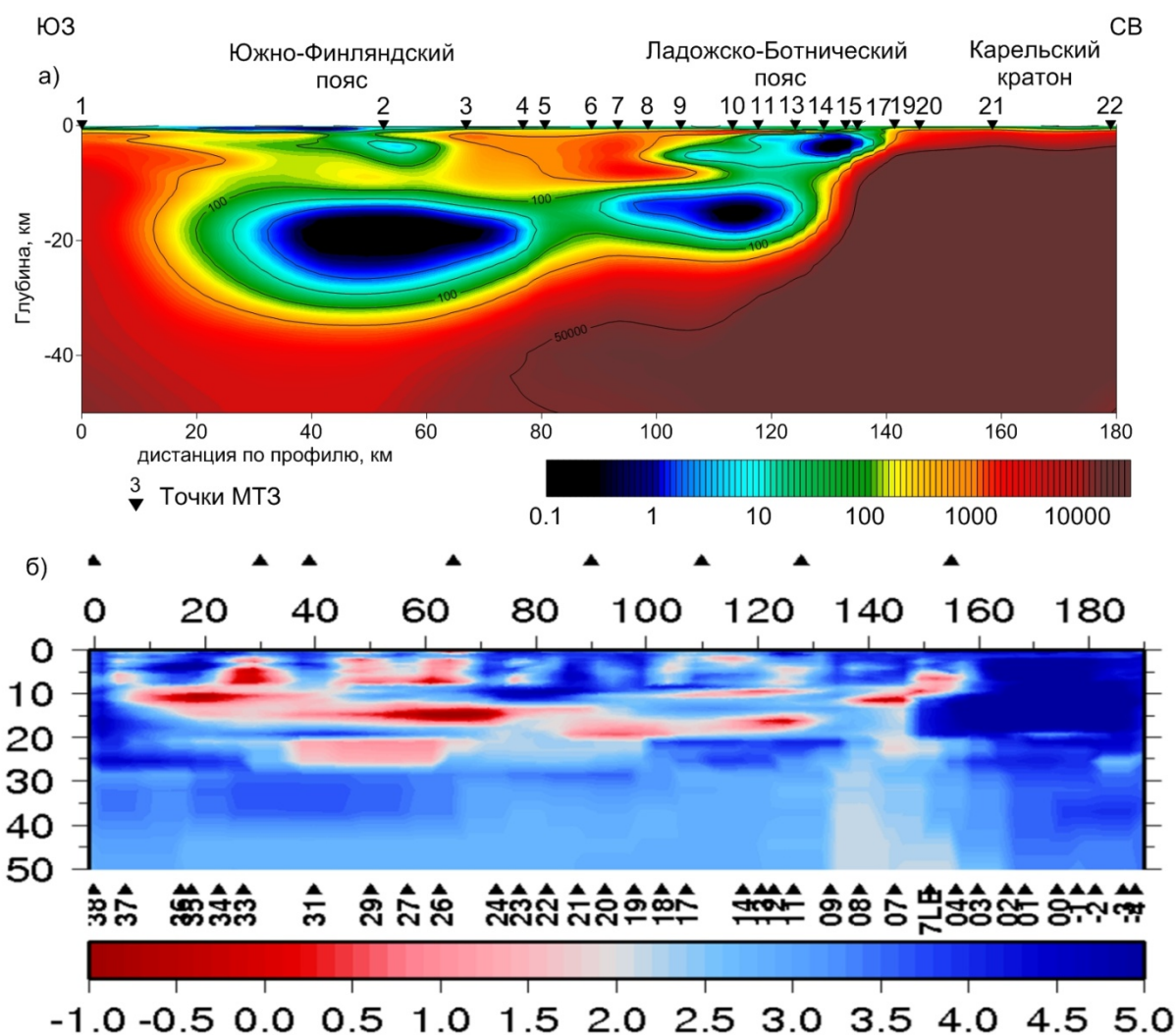


Рис. 3. Геоэлектрические модели полученные на основе 2D инверсии по профилям "Тихвин-Винница" (а) и "Выборг-Суоярви" (б).

Заключение

По результатам двумерной бимодальной инверсии была построена геоэлектрическая модель по профилю "Тихвин-Винницы" до глубины 50 км, демонстрирующая генеральное падение проводящих структур Ладожской аномалии в юго-западном направлении с областью максимальной концентрации теллурических токов на глубинах 15-20 км на южном окончании профиля. Эти проводящие структуры ассоциируются с надвигами на структуры Свекофеннского орогена высокометаморфизованных формаций Южно-Финляндского гранулитогнейсового пояса, включающих кристаллический графит.

Двумерная модель по профилю "Тихвин-Винницы" принципиально совпадает с моделью, полученной в ходе изучения Ладожско-Ботнической зоны в Северном Приладожье по профилю Выборг-Суоярви-2 [Минц, Соколова, 2018].

Полученные в ходе эксперимента результаты дают новые представления о строении земной коры южного крыла Ладого-Ботнической зоны, разграничивающей крупные структуры Восточно-Европейской платформы - Южно-Финляндский гранулитогнейсовый пояс и Карельский кратон. Для более углубленного истолкования полученных результатов в рамках геотектонической модели необходимы дополнительные исследования, в частности, повышение разрешения 2D инверсии, проведение 3D инверсий по Южному Приладожью с учетом новых магнитотеллурических данных, анализ гравимагнитных полей и сейсмических данных.

Литература

- Рокитянский И.И., Кулик С.Н., Рокитянская Д.А. Ладожская аномалия электропроводности // Геофиз. журнал. Украинская академия наук. 1981. №3. С. 97–99.
- Жамалетдинов А.А., Кулик С.Н. Крупнейшие аномалии электропроводности мира. Геофиз. журнал. 2012, Т. 34, № 4. С. 22–39.
- Ковтун А.А., Варданянц И.Л., Успенский Н.И. Сопоставление сейсмической и геоэлектрической моделей Ладожско-Ботнической аномальной зоны. Вопросы геофизики. СПб., 2011. Вып. 44. С. 124–133.
- Соколова Е.Ю., Голубцова Н.С., Ковтун А.А., Куликов В.А., Лозовский И.Н., Пушкарев П.Ю., Рокитянский И.И., Таран Я.В., Яковлев А.Г. Результаты синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований в районе Ладожской аномалии электропроводности. Геофизика. 2016. № 1. С. 48-61.
- Минц М.В., Соколова Е.Ю., Рабочая группа LADOGA. Объемная модель глубинного строения Свекофеннского аккреционного орогена по данным МОВ-ОГТ, МТЗ и плотностного моделирования. Труды Карельского НЦ РАН, Сер. Геология докембрия. 2018. №2. С.34-61. DOI: 10.17076/geo656
- Рокитянский И.И., Соколова Е.Ю., Терешин А.В., Яковлев А.Г. и Рабочая группа LADOGA Аномалии электропроводности в зонах сочленения архейских и протерозойских геоблоков Украинского и Балтийского щитов Геофизический журнал. №5. Т.40. 2018. С.209-244. doi: 10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147490
- Епишкин Д.В. Развитие методов обработки данных синхронных магнитотеллурических зондирований: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.10. - МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 2018 г. - 132 с.