

Секция №2, устный

УДК 550.837.21

ГЛОБАЛЬНОЕ МАГНИТОВАРИАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МАНТИИ ЗЕМЛИ.

Мойланен Е.В.¹, Пушкарев П.Ю.¹

¹ – Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, Москва.

Обработаны данные глубинных магнитотеллурических зондирований полученные в новой геофизической обсерватории Александровка (Калужская обл.). Результаты хорошо согласуются с импедансами магнитовариационного зондирования, полученными по данным геомагнитной обсерватории под Москвой. Совместная инверсия обоих индукционных зондирований позволила оценить геоэлектрическое строение коры, верхней мантии и переходного слоя на глубинах до 900 км. Полученные разными авторами и методами результаты сопоставлены с зондированиями на территории Восточно-Европейской платформы в рамках международных проектов SEMES в Центральной Европе и BEAR в Феноскандии.

Произведен анализ и интерпретация магнитовариационных данных по глобальной сети магнитных обсерваторий. Длиннопериодные временные ряды (до 19 лет, с 1991-2009) среднечасовых измерений трех компонент геомагнитного поля проанализированы для 119 обсерваторий. На этапе обработки наибольшее внимание уделялось данным на промежутке периодов от 3 до 100 дней. Выявлен существенный уровень горизонтальных неоднородностей на глубинах от 410 до 1600 км. Максимальное горизонтальное изменение электропроводности было обнаружено на глубинах от 670 до 900 км. На данный момент данные результаты предварительны, так как существенно различаются с похожими работами других авторов, что осложняет качественное сравнение с сейсмической томографией и геодинамическими моделями.

Ключевые слова: магнитовариационное зондирование, электропроводность мантии.

Существует огромный интерес в исследовании свойств земной мантии в глобальном масштабе. Сейсмическая томография хорошо зарекомендовала себя при восстановлении сейсмических скоростей на мантийных глубинах. Эта информация имеет ключевое значение при определении динамических свойств мантии. Например, геодинамические процессы, такие как мантийная конвекция, судьба субдуцирующих слэбов и происхождение континентов, влияют на скорость сейсмических волн. Однако сейсмическая томография неэффективна для разделения эффектов наложений и термальных вариаций [1]. В этом контексте глобальное изучение электромагнитного поля предоставляет дополнительную независимую информацию о земных недрах. Электропроводность отражает зависимость таких компонент как флюиды, частично расплавленные и летучие. Каждый из них может иметь существенный эффект на реологию, а в конечном счете и на мантийную конвекцию, и тектоническую активность.

Глубинные ЭМ зондирования предоставляют информацию о мантийной электропроводности на глубинах от нескольких сотен километров до границы ядро-мантия. Ранкорн [2], изучая электропроводность (σ) мантии, пришел к выводу, что скорость увеличения σ в интервале между 400 и 900 км не может быть объяснена на основе только одного механизма – собственной электронной проводимости однородных силикатов в зависимости от максимальных температурных градиентов, которые допускаются изменением теплового потока (~3 градуса на км). Соответственно Ранкорн сделал вывод, что распределение проводимости более обоснованно интерпретируется на базе фазового перехода, когда имеет место внезапное увеличение электропроводности, связанной с более плотно упакованной решеткой. Эта интерпретация подтверждается экспериментальными определениями изменений σ под давлением перехода оливин – шпинель [3, 4]. Проводимость фаялита при его превращении в структуру шпинели увеличилась примерно в два раза. Это изменение аналогично изменению, отмеченному в мантии [5 - 7]. Ключевым вопросом остается наличие воды в мантии, так как данный фактор влияет не только на физические свойства самих пород, но также на способность переноса свойств, например вязкости, температуры и, не в последнюю очередь, электропроводности [8, 9]. Наиболее интересен вопрос насколько вода увеличивает электропроводность мантийных минералов. Эксперименты в условиях мантийных глубин дают

противоречивые результаты по влиянию воды на электропроводности оливина, вадслеита и рингвудита [10 - 13]. Результаты Есино с соавторами говорят о малом влиянии воды на электропроводность минералов в верхней мантии и транзитной зоне в то время, как Карато и Дай [14] показали гораздо более сильный эффект присутствия воды. Минералы транзитной зоны (вадслеит и рингвудит) подвержены высокой растворимости в воде (до ~3%, [15]).

Глубинная электропроводность изучается с помощью магнитотеллурического (МТ) и магнитовариационного (МВ) методов зондирования. В доклад включены способы измерения длиннопериодных вариаций электромагнитного поля. Обработка и 1D интерпретация МТ-МВ данных показана для Александровской геофизической обсерватории МГУ (рис. 1). Выполненные зондирования указывают на относительную однородность мантии в пределах Восточно-Европейской платформы. Резкое возрастание проводимости мантии, скорее всего связанное с астеносферой, начинается лишь с глубин 300-400 км (рис. 2). Произведен анализ и интерпретация магнитовариационных данных по глобальной сети магнитных обсерваторий. На данный момент данные результаты предварительны, так как существенно различаются с похожими работами других авторов, что осложняет качественное сравнение с сейсмической томографией и геодинамическими моделями.(рис. 3).

1. Kuvshinov A.V. Deep electromagnetic studies from land, sea, and space. Progress status in the past 10 years // IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth 20th Workshop Review Paper, Giza, Египт , September 18-24, 2010.
2. Runcorn S.K. The electrical conductivity of the earth's mantle. // Trans. Am. Geophys. Union, 36, 191-198, 1955.
3. Bradley R.S., Jamil A.K., Munro D.C., Electrical conductivity of fayalite and spine. // Nature 193, 965-966m 1962.
4. Akimoto S., Fujisawa H., Demonstration of the electrical conductivity jump produced by the olivine-spinel transition. // J. Geophysical Res. 70. 443-449, 1965.
5. Tozar D.C., Electrical properties of the earth's interior. // J. Geophysical Res. 76, 3983-3986, 1959.
6. Bullard E.C., Electromagnetic induction in the Earth. // Quart. J. Roy. Astron. Soc. 8, 143-160, 1967.
7. Banks, R.J., Geomagnetic variations and the electrical conductivity of the upper mantle. // Geophys. J. R. Astron. Soc. 17, 457-487, 1969.
8. Karato S The role of hydrogen in the electrical conductivity of the upper mantle. // Nature 347:272-273, 1990.
9. Karato S., Remote sensing of hydrogen in Earth's mantle. // Rev Miner Geochem 62:343, 2006.
10. Huang XG, Xu YS, Karato SI Water content in the transition zone from electrical conductivity of wadsleyite and ringwoodite.// Nature 434:746-749, 2005.
11. Yoshino T, Manthilake G, Matsuzaki T, Katsura T Dry mantle transition zone inferred from the conductivity of wadsleyite and ringwoodite. // Nature 451:326-329, 2008.
12. Manthilake M, Matsuzaki T, Yoshino T, Yamashita S, Ito E, Katsura T Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content. // Phys Earth Planet Int. doi:10.1016/j.pepi.2008.06.001, 2009.
13. Yoshino T, Katsura T Reply to Comments on "Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content" by Manthilake et al. Discussion. // Phys Earth Planet Interiors 174:22-23, 2009.
14. Karato S, Dai LD Comments on "Electrical conductivity of wadsleyite as a function of temperature and water content" by Manthilake et al. // Phys Earth Planet Interiors 174:19-21, 2009.
15. Inoue T, Yurimoto H, Kudoh Y., Hydrous modified spinel, Mg_{1.75}SiH_{0.5}O₄: a new water reservoir in the mantle transition zone. // Geophys Res Lett 22:117-120, 1995.
16. Varentsov, Iv.M., Engels, M., Korja, T., Smirnov, M.Yu., BEAR WG, A generalized geoelectric model of Fennoscandia: a challenging database for long-period 3D modeling studies within the Baltic Electromagnetic Array Research (BEAR) project. Izvestiya, Phys. Solid Earth 38 (10), 855-896, 2002.
17. Olsen, N., The electrical conductivity of the mantle beneath Europe derived from C-responses from 3 to 720 hr, Geophys. J. Int. 133, 2, 298-308, DOI: 10.1046/j.1365-246X.1998.00503.x., 1998.
18. Tarits P, Manda M., The heterogeneous electrical conductivity structure of the lower mantle. Phys. Earth Planet Int. doi:10.1016/j.pepi.2010.08.002, 2010.
19. Neal SL, Mackie RL, Larsen JC, Schultz A (2000) Variations in the electrical conductivity of the upper mantle beneath North America and the Pacific Ocean. J Geophys Res 105(B4):8229-8242, 2000.
20. Ichiki M, Uyeshima M, Utada U, Guoze Z, Ji T, Mingzhi M (2001) Upper mantle conductivity

structure of the back-arc region beneath northeastern China. *Geophys Res Lett* 28:3773–3776, 2001.

21. Kuvshinov A, Utada H, Avdeev D, Koyama T (2005) 3-D modelling and analysis of Dst C-responses in the North Pacific Ocean region, revisited. *Geophys J Int* 160:505–526, 2005.

22. Utada, H., T. Koyama, H. Shimizu, and A. D. Chave, A semi-global reference model for electrical conductivity in the mid-mantle beneath the north Pacific region, // *Geophys. Res. Lett.*, 30, 43-1, 2003.

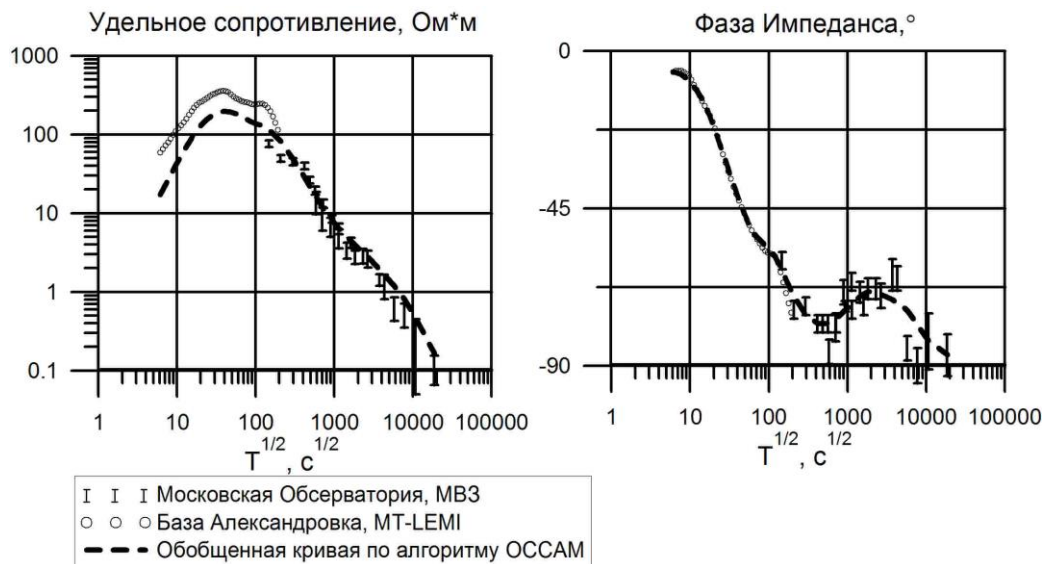


Рис. 1. Результат коррекции значений кажущихся сопротивлений при решении обратной задачи.

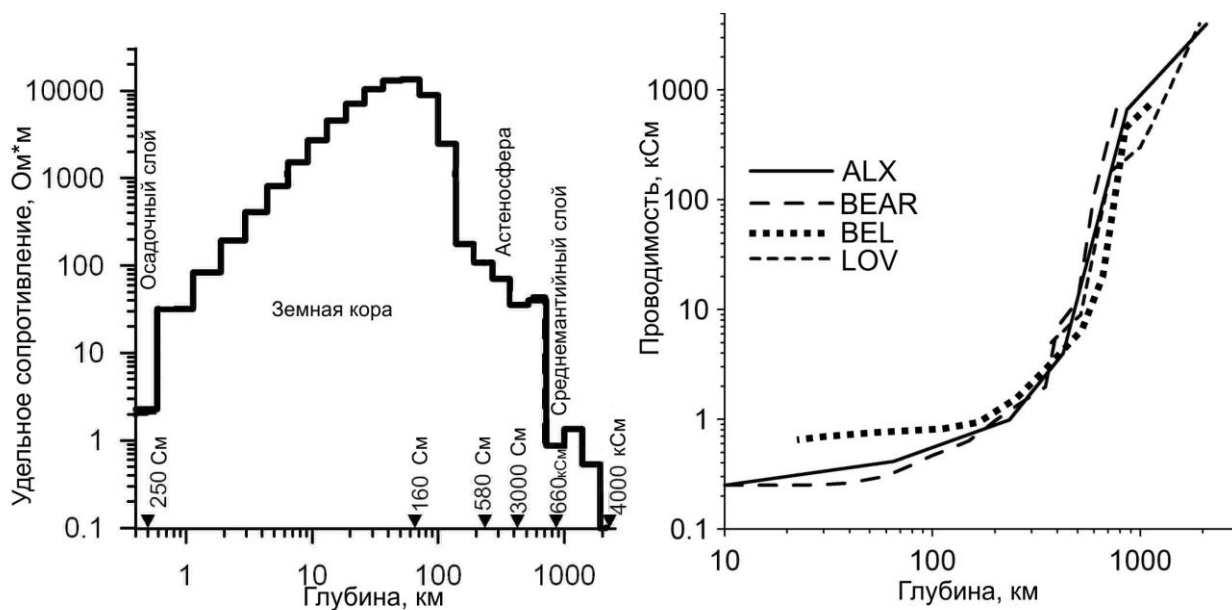


Рис. 2. (слева) Результат решения 1D обратной задачи для данных МТ-МВ зондирований. Приведены удельные сопротивления, полученные на Александровской геофизической базе (решение по D+ показано стрелкой с указанием проводимости). (справа) Суммарные продольные проводимости для Александровской геофизической базы (ALX), проекта BEAR [16], обсерваторий LOV (Швеция) и BEL (Польша).

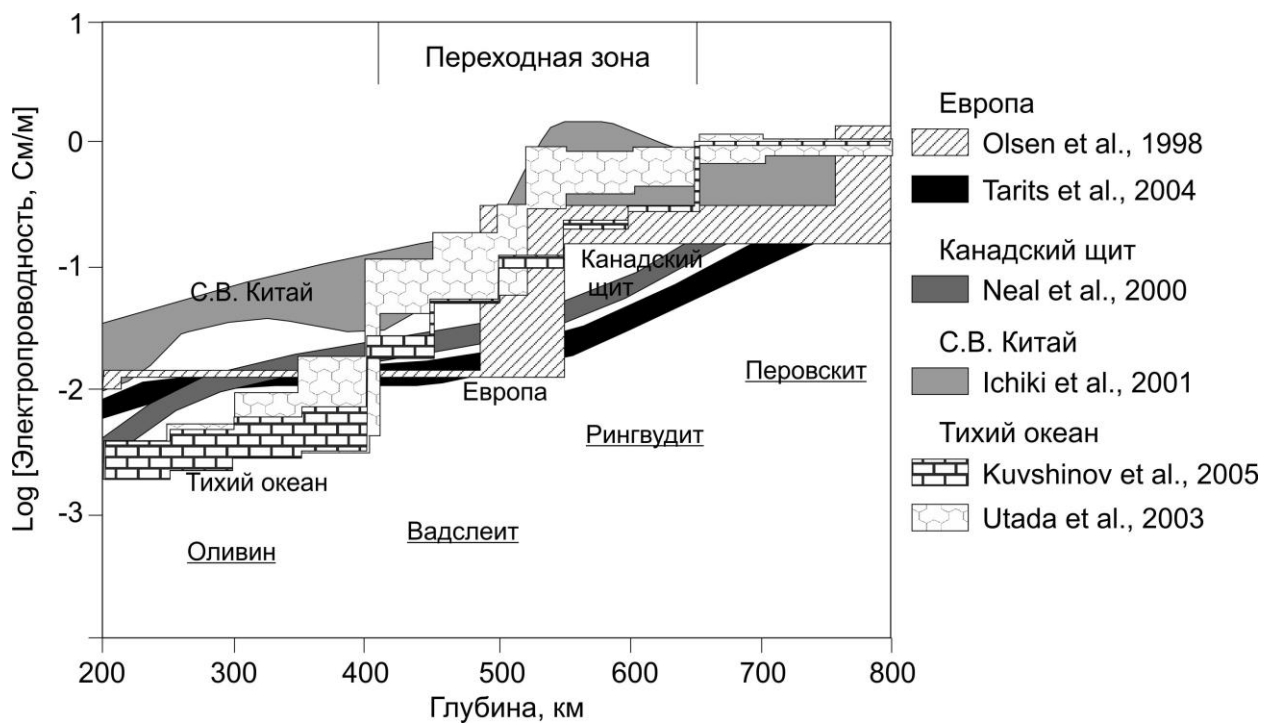


Рис. 3. Электропроводность верхней мантии и переходного слоя, полученная разными авторами в результате региональных 1D исследований [17 – 22].