

УДК 550.837

КОМПИЛЯЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ЗОНЕ ПЕРЕХОДА ОТ ЕВРАЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА К ТИХОМУ ОКЕАНУ

Н.А. Пальшин¹, Д.А. Алексеев¹, Н. Тада²

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

² Департамент глубинной структуры Земли и динамических исследований Японского агентства морских технологий, г. Йокосука, Япония

Поступила в редакцию 15.06.15

Выполнена модификация глобальной трехмерной (3D) модели электропроводности Земли, предназначенной прежде всего для использования в задачах моделирования и прогноза геомагнитно-индуцированных токов. Уточнение исходной модели, направленное на увеличение детализации распределений электропроводности в зоне перехода от Евразийского континента к Тихому океану, выполнялось с целью повышения информативности моделирования и инверсии электромагнитных (ЭМ) данных в районе границы Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит.

Ключевые слова: электропроводность, геоэлектрика, Филиппинская плита, Тихий океан.

Введение

Изучение глубинного строения и геодинамических процессов, протекающих в зонах границ литосферных плит, является фундаментальной задачей геодинамики. С этими зонами связаны такие явления, как сейсмичность, вулканизм, образование внутренних бассейнов и т.д. Хотя основным инструментом исследования подобных зон остается сейсмология, позволяющая получать данные о реологическом состоянии недр, весьма важную составляющую информации о глубинной структуре также играют геоэлектрические модели, характеризующие распределение электропроводности в Земле. Оценка таких параметров мантийных недр, как содержание воды и температурный режим, не может быть получена без привлечения данных по электропроводности структур земной коры и верхней мантии.

Имеющиеся геофизические (главным образом, сейсмологические) данные указывают на то, что зона перехода между Евразийской и Тихоокеанской литосферными плитами характеризуется сложным глубинным строением. Интерпретация данных глубинной геоэлектрики в этом регионе сильно затруднена ввиду сложной трехмерной геоэлектрической структуры приповерхностной части разреза, характеризующейся существенными контрастами электропроводности. Аномалии, связанные с этими контрастами, в первую очередь с трехмерным береговым эффектом, существенно затрудняют выделение глубинной информации. В этой связи при решении обратной задачи электромагнитного зондирования представляется актуальным привлечение априорных моделей электропроводности, учитывающих значимые контрасты последней, что позволяет существенно сузить область эквивалентности

и повысить геологическую информативность исследований.

Целью настоящей работы является уточнение глобальной априорной геоэлектрической модели Земли в зоне перехода от Евразийского континента к Тихому океану.

Глобальная модель электропроводности верхних слоев Земли

Исходная глобальная модель трехмерного распределения электропроводности Земли в сферическом слое толщиной 100 км, построенная в рамках исследований, направленных на моделирование эффекта геомагнитно-индуцированных токов (Алексеев и др., 2015; Alekseev et al., 2015), состоит из набора квазислоистых геоэлектрических горизонтов, геометрия границ которых задавалась с учетом современных представлений, полученных (и обобщенных) различными авторами с применением различных подходов (Ваньян и др., 1980; Ваньян, Шиловский, 1983; Jones, 1999; Korja et al., 2002; Kuvshinov, 2012; Vozar et al., 2006; рис. 1). Значения электропроводности тех или иных элементов модели задавались исходя из общих представлений о составе и состоянии недр Земли, а в пределах отдельных участков осадочной толщи — с учетом имеющихся обобщенных данных электромагнитных зондирований. Латеральное разрешение модели — 15×15 угловых минут, сетка модели содержит 720×1440 ячеек. Толщина водного слоя морей и океанов задавалась на основе цифрового массива глобальных данных по батиметрии/топографии ETOPO2; значения абсолютных отметок интерполировались на сетку 15×15 угловых минут. Электропроводность морской воды принята равной

3 См/м. Данные по мощности осадочного чехла заимствовались из ряда источников, включая цифровые базы данных (Laske, Masters, 1997; Whittaker et al., 2013), а также карту поверхности фундамента Северной Америки (Kinney, 1967). Электропроводность пород осадочного чехла принималась равной 0,02 См/м на континентах, 0,5 См/м в шельфовой зоне (глубина моря до 500 м) и 0,7 См/м в глубоких частях океанов (в областях, где глубина моря превышает 500 м). Консолидированная земная кора представлена в модели в виде двух слоев, отвечающих так называемой верхней коре и нижней коре. Геометрия слоев задавалась путем интерполяции данных цифрового массива CRUST 2 (Bassin et al., 2000), отнесенных к сетке $2 \times 2^\circ$. Значения электропроводности консолидированной земной коры (а также литосферной мантии) задавались, следуя данным, приводимым в работе (Jones, 1999). Электропроводность верхней коры на суше и в шельфовых областях принята равной 2×10^{-4} См/м, в морях и океанах (при глубинах акватории свыше 500 м) — 10^{-3} См/м, в зоне океанской коры с возрастом менее 10 млн лет (примерно соответствующей толщине литосферы менее 35 км) — 10^{-2} См/м. Нижняя кора, являющаяся согласно общим представлениям существенно более проводящей по сравнению с верхней, имеет в представленной модели электропроводность 5×10^{-3} , а в зоне молодой океанской коры — 10^{-2} См/м. Электропроводность литосферы на океанских участках принята равной 10^{-5} См/м, на континентальных — 10^{-2} См/м. Для задания нижней границы литосферы использовалась глобальная модель LAB, основанная на измерениях теплового потока (Conrad, Lithgow-Bertelloni, 2006). Электропроводность астеносферы принята равной 0,02 См/м. В полученную описанным образом модель был внесен ряд уточнений, основанных на привлечении данных электромагнитного зондирования. Так, электропроводность осадочного чехла в пределах территории Российской Федерации была переопределена с учетом составленной к текущему моменту карты суммарной проводимости осадков (Шейнкман, Нарский, 2009). Кроме этого, с учетом модели (Korja et al., 2002) корректировались значения электропроводности консолидированной земной коры в диапазоне глубин 10–60 км для района Фенноскандии. В пределах территории США для уточнения модели использовались массивы данных US Array (Meqbel et al., 2014) и EPRI (Fernberg, 2012).

Программное обеспечение, созданное в рамках решения задачи по компиляции модели, позволяет проводить ее дальнейшее уточнение и ассимиляцию различных массивов, полученных с использованием данных электромагнитного зондирования и априорных распределений электропроводности, построенных различными способами.

Модификация глобальной модели электропроводности в зоне перехода от Евразийского континента к Тихому океану

В рамках настоящего исследования нами выполнена модификация исходной модели с целью более детального учета вариаций электропроводности в зоне перехода от Евразийского континента к Тихому океану, включая прежде всего район Филиппинской плиты. С этой целью в модель были введены несколько наборов данных, полученных в результате инверсии ЭМ наблюдений, включая измерения магнитного поля на сети стационарных обсерваторий и донные измерения тензора магнитотеллурического импеданса в акватории Тихого океана в пределах Филиппинской плиты.

В диапазоне глубин, отвечающих средней и нижней частям литосферы, для включения в модель были использованы данные, полученные в результате инверсии обсерваторских наблюдений магнитного поля и представленные в работе (Sun et al., 2015). Распределение электропроводности в интервале глубин 70–100 км в рассматриваемой модели было принято равным глобальному распределению в слое 40–250 км из вышеуказанной работы и отражает более низкоомный характер разреза по сравнению с исходной моделью, построенной на основе априорных данных (рис. 2).

Также с целью улучшения соответствия имеющимся оценкам были внесены изменения в набор значений электропроводности океанской литосферы. На глубинах менее 15 км электропроводность принята равной 7×10^{-5} См/м, в интервале 15–30 км — 3×10^{-4} См/м, в интервале 30–50 км — 7×10^{-4} См/м, в интервале 50–70 км — 8×10^{-3} См/м. Указанный набор значений соответствует величине интегрального поперечного сопротивления 3×10^8 См/м².

Кроме того, для повышения детальности в модель был включен массив данных, описывающих геоэлектрический разрез Филиппинской плиты, полученных в результате решения обратных задач по донным наблюдениям электромагнитного поля (Vaba et al., 2010, 2013). В области модели, представленной японскими коллегами (Tada et al., 2014), для вычисления электропроводности результирующей модели применялось весовое осреднение:

$$\lg \sigma(\varphi, \lambda) = \frac{(w_1 \cdot \lg \sigma_1(\varphi, \lambda) + w_2(\varphi, \lambda) \cdot \lg \sigma_2(\varphi, \lambda))}{w_1 + w_2},$$

где $w_1 = 1$ — вес исходной модели, а вес включаемой модели характеризуется выражением

$$w_2 = w_2(\varphi, \lambda) = e^{-\left(\frac{(\varphi - \varphi_0)^2}{\Delta} + \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{\Delta} \right)}.$$

Параметры $\varphi = 23,875^\circ$, $\lambda = 138,625^\circ$, $\Delta = 1800$ определяют широтную и долготную координаты центра, а также пространственную ширину весового окна соответственно.

Применение весового осреднения в логарифмическом масштабе с использованием гауссовских весов позволило избежать резких несоответствий

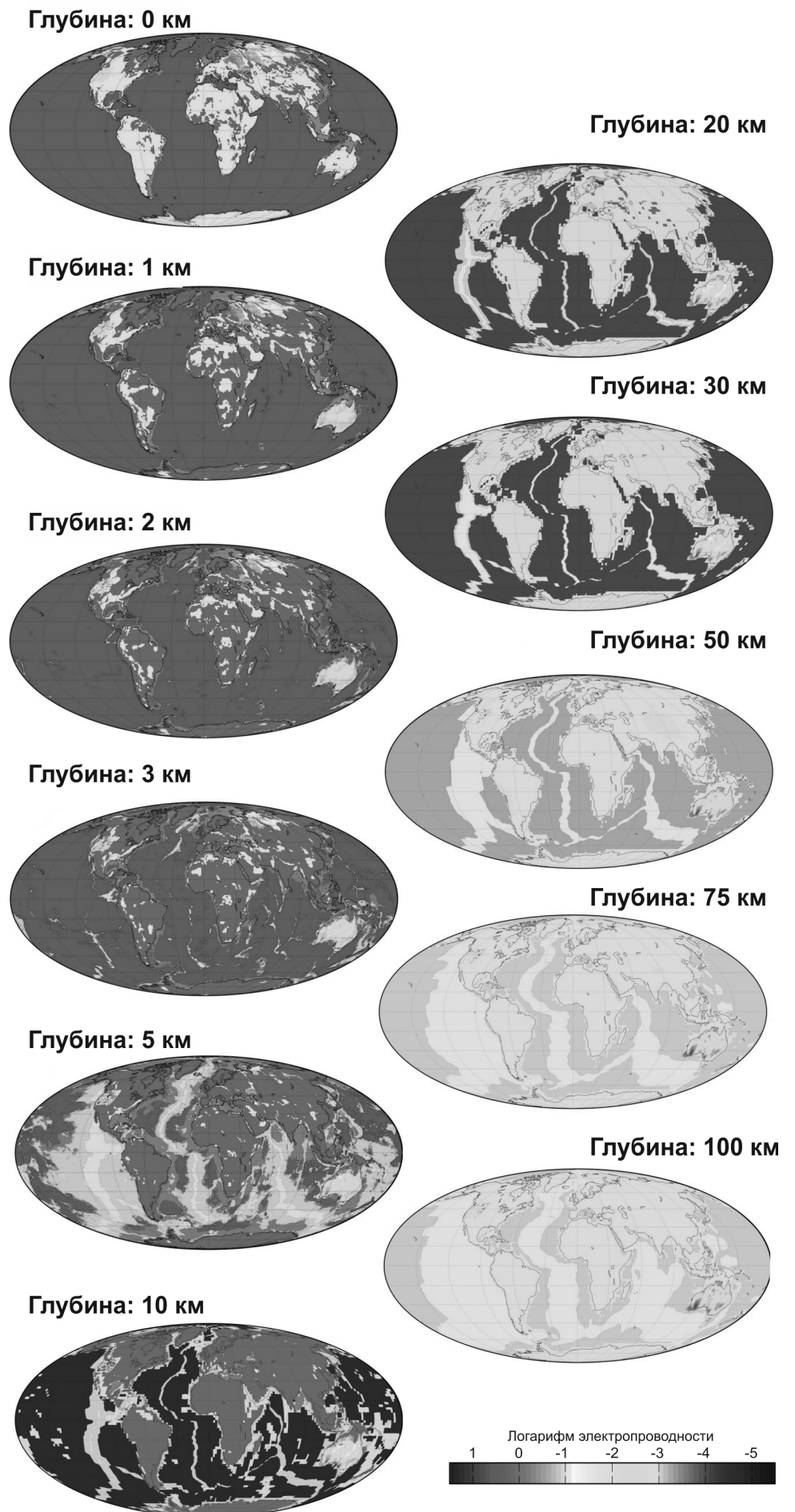


Рис. 1. Глобальные распределения электропроводности литосферы Земли на различных глубинах. Изменено из (Alekseev et al., 2015)

на боковых границах включаемой модели. Результирующая модель (рис. 3) более подробно отражает основные закономерности строения земной коры и верхней мантии зоны перехода от Евразийского континента к Тихому океану и будет использоваться при последующем уточнении глубинного геоэлектрического строения рассматриваемой области.

Заключение

Электропроводность земной коры и верхней мантии является важным параметром, позволяющим оценивать температуру, а также содержание в веществе различных примесей, контролирующих проводимость. Эти данные не зависят от традиционно используемых оценок, получаемых сейсмическими

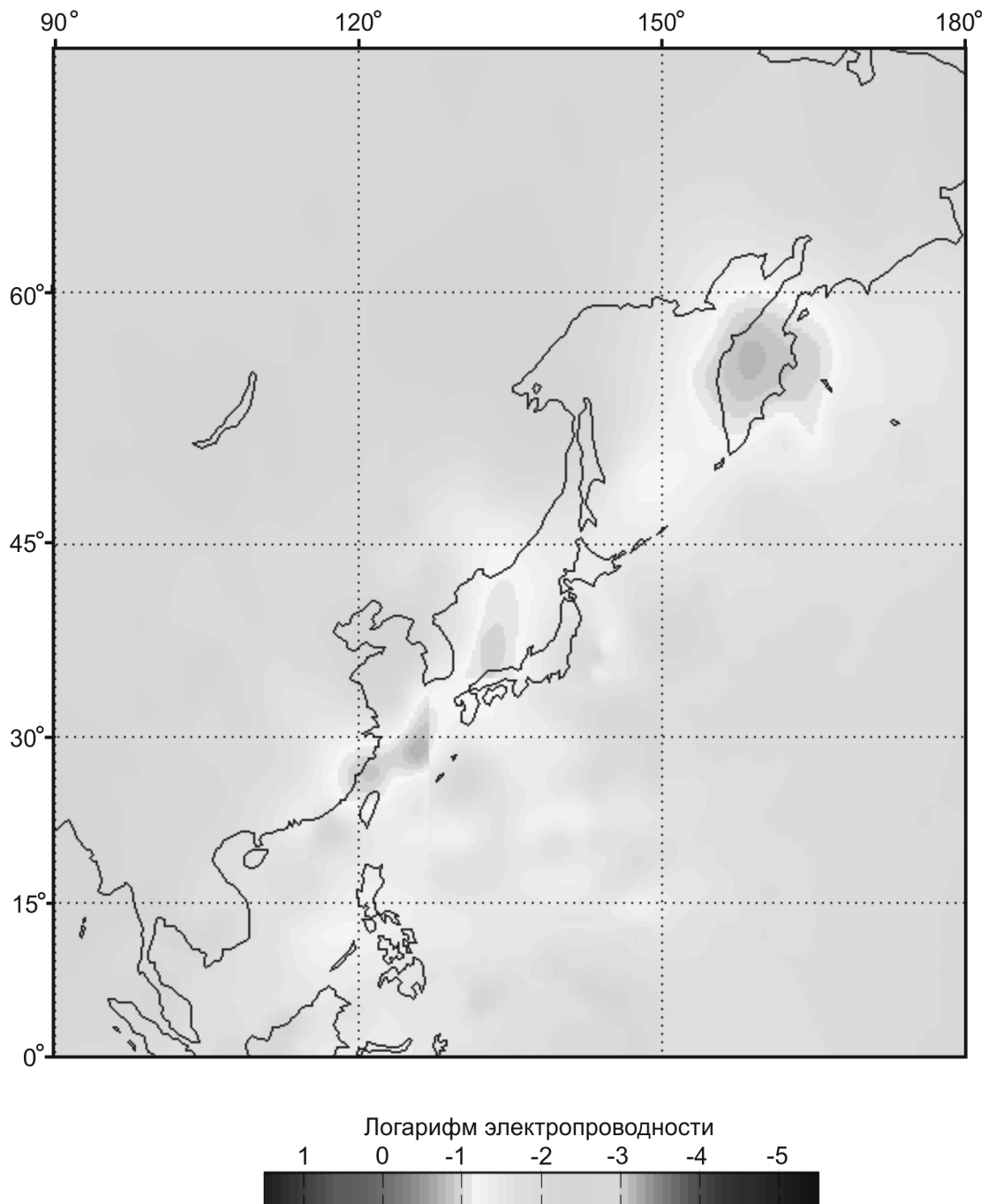
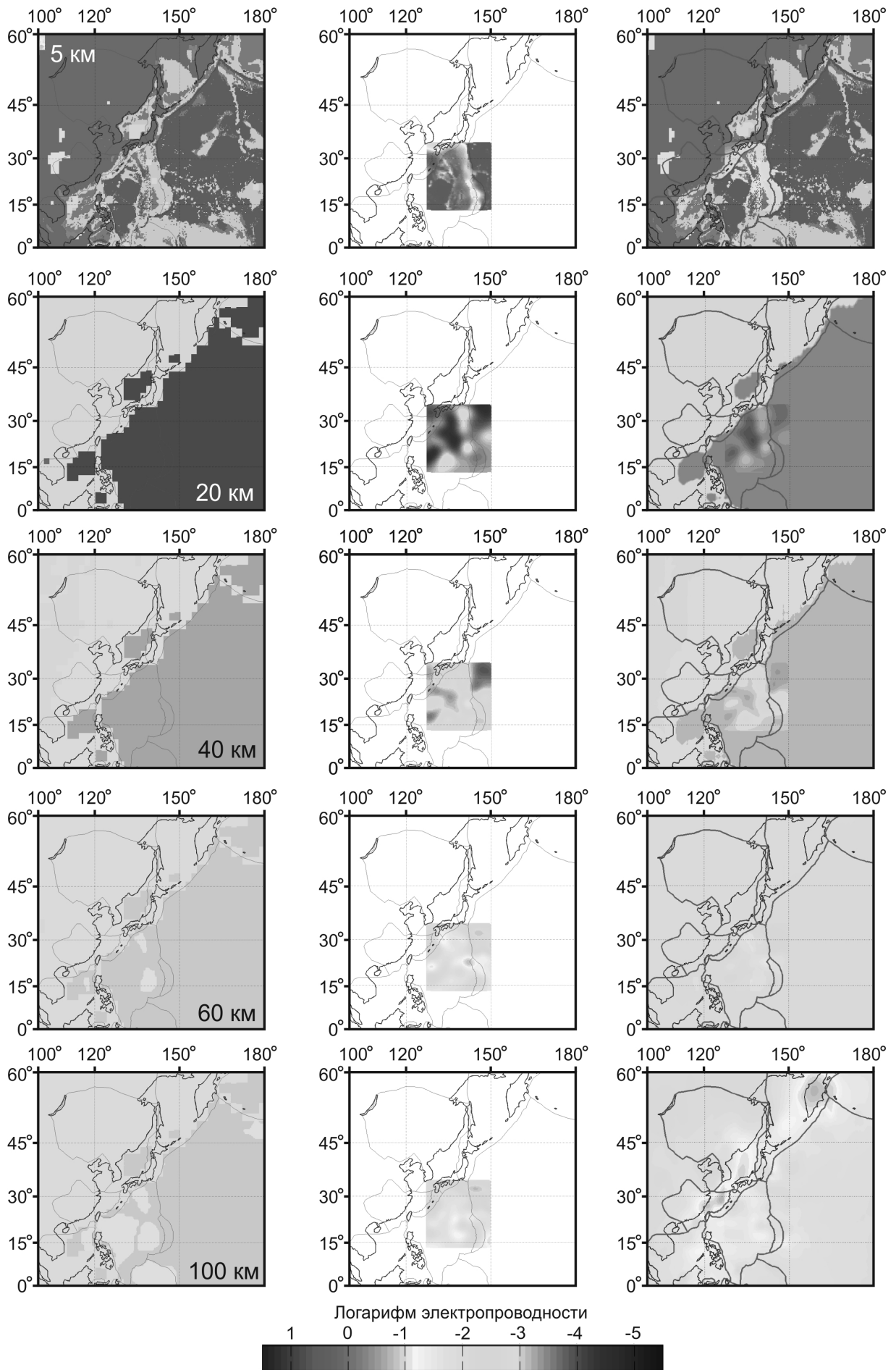


Рис. 2. Распределение электропроводности в районе границы Евразийской и Тихоокеанской литосферных плит в интервале глубин 70–100 км, по данным (Sun et al., 2015)

Рис. 3. Распределение электропроводности на различных глубинах в исходной и модифицированной моделях. Левый столбец — фрагмент исходной глобальной модели, средний столбец — модель электропроводности Филиппинской плиты Н. Тада, правый столбец — результат ассимиляции массива данных Н. Тада в глобальную модель электропроводности Земли. Линиями показаны берега и границы литосферных плит



методами, поскольку зависимость электропроводности от петрофизических свойств пород основана на отличных от поведения упругих волн физических механизмах. Построение априорной региональной модели электропроводности представляет собой важный этап исследований, направленных на

уточнение представлений о глубинной геоэлектрической структуре в зоне перехода от Евразийского континента к Тихоокеанской литосферной плите.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-92106-ЯФ_а).

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Д.А., Кувшинов А.В., Пальшин Н.А.* Построение глобальной трехмерной геоэлектрической модели Земли для прогноза геомагнитно-индуцированных токов и других задач // Тезисы VII Всерос. школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна. Иркутск, 14–19 сентября 2015 г. Иркутск, 2015. 3 с.
- Ваньян Л.Л., Бердичевский М.Н., Васин Н.Д.* и др. О нормальном геоэлектрическом разрезе // Физика Земли. 1980. № 2. С. 73–76.
- Ваньян Л.Л., Шиловский П.П.* Глубинная электропроводность океанов и континентов. М.: Наука, 1983. 88 с.
- Шейнкман А.Л., Нарский Н.В.* Карта суммарной электропроводности осадочного чехла территории Российской Федерации // Тезисы IV Всерос. школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли. Москва, 1–4 сентября 2009 г.
- Alekseev D., Kuvshinov A., Palshin N.* Compilation of 3D global conductivity model of the Earth for space weather applications // Earth Planets Space. 2015. Vol. 67. DOI: 10.1186/s40623-015-0272-5.
- Baba K., Tada N., Zhang L.* et al. Is the electrical conductivity of the northwestern Pacific upper mantle normal? // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2013. Vol. 14, N 12. P. 4969–4979.
- Baba K., Utada H., T. Goto T.* et al. Electrical conductivity imaging of the Philippine Sea upper mantle using seafloor magnetotelluric data // Phys. Earth Planet. Inter. 2010. Vol. 183. P. 44–62.
- Bassin C., Laske G., Masters G.* The current limits of resolution for surface wave tomography in North America // Eos. Trans. AGU. 2000. Vol. 81. P. F897.
- Conrad C.P., Lithgow-Bertelloni C.* Influence of continental roots and asthenosphere on plate-mantle coupling // Geophys. Res. Lett. 2006. Vol. 33, N 5. L05312. DOI: 10.1029/2005GL025621.
- Fernberg P.* One-dimensional Earth resistivity models for selected areas of continental United States and Alaska // EPRI Technical Update 1026430. 2012. Palo Alto, US.
- Jones A.G.* Imaging the continental upper mantle using electromagnetic methods // Lithos. 1999. Vol. 48. P. 57–80.
- Kinney D.M.* Basement map of North America between latitudes 24 and 60 N // American Association of Petroleum Geologists and the United States Geological Survey. Washington, 1967.
- Korja T., Engels M., Zhamaletdinov A.A.* et al. Crustal conductivity in Fennoscandia — a compilation of a database on crustal conductance in the Fennoscandian Shield // Earth Planets Space. 2002. Vol. 54. P. 535–558.
- Kuvshinov A.V.* Deep electromagnetic studies from land, sea, and space: progress status in the past 10 years // Surveys in Geophysics. 2012. Vol. 33. P. 169–209.
- Laske G., Masters G.* A global digital map of sediment thickness // Eos. Trans. AGU. 1997. Vol. 78. P. 483.
- Meqbel N.M., Egbert G.D., Wannamaker P.E.* et al. Deep electrical resistivity structure of the northwestern U.S. derived from 3-D inversion of US Array magnetotelluric data // Earth Planet. Sci. Lett. 2014. Vol. 402. P. 290–304.
- Sun J., Kelbert A., Egbert G.D.* Ionospheric current source modeling and global geomagnetic induction using ground geomagnetic observatory data // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2015. Vol. 120. P. 6771–6796.
- Tada N., Baba K., Utada H.* Three-dimensional inversion of seafloor magnetotelluric data collected in the Philippine Sea and the western margin of the northwest Pacific Ocean // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2014. Vol. 15, N 7. P. 2895–2917.
- Vozar J., Semenov V.Y., Kuvshinov A.V., Manoj C.* Updating the map of Earth's surface conductance // Eos. Trans. AGU. 2006. Vol. 87. P. 326–331.
- Whittaker J., Goncharov A., Williams S.* et al. Global sediment thickness dataset updated for the Australian-Antarctic Southern Ocean // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2013. Vol. 14, N 8. P. 3297–3305.

COMPILATION OF REGIONAL-SCALE CONDUCTIVITY MODEL OF TRANSITION ZONE BETWEEN EURASIA AND PACIFIC OCEAN

N.A. Palshin, D.A. Alekseev, N. Tada

We have modified a global three-dimensional (3D) model, primarily intended to be employed for space weather applications, namely, the modelling and prediction of geomagnetically induced currents. Refining this global model was aimed at increasing the detail of the conductivity structure within the transition zone between Eurasia and Pacific Ocean. It will help to improve overall reliability and informativeness of electromagnetic (EM) sounding data around the boundary between the Eurasian and Pacific lithospheric plates.

Key words: conductivity, geoelectrics, Philippine Sea plate, Pacific Ocean.

Сведения об авторах: *Пальшин Николай Алексеевич* — канд. геол.-минерал. наук, зав. лаб. ИОАН, e-mail: palshin@ocean.ru; *Алексеев Дмитрий Александрович* — канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. ИОАН, e-mail: alexeevgeo@gmail.com; *Тада Норико* (Tada Noriko) — Японское агентство морских технологий.