

УДК 550.34

DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322503>

Про глобальну астеносферу Землі

Гордієнко В.В., Логвінов І.М., 2025

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Розглянуто прояви глобальної астеносфери на глибині близько 1000 км у даних геотермії, геоелектрики та сейсміки, отриманих за останні 20 років, та їх доповнення останнього часу. Вони являють собою включення глобальної астеносфери у число геосфер, що мають помітну радіогенну теплогенерацію, появу даних про електропровідність порід зони переходу від верхньої мантії до нижньої і відомостей про поширення швидкісних неоднорідностей в діапазоні глибин глобальної астеносфери.

Ключові слова: астеносфера, аномалії швидкості, температури, електропровідності.

Вступ. Ознаки глобальної астеносфери (ГА) у результатах сейсмологічних досліджень нижньої мантії були помічені вже

70 років тому. Г. Джеффріс та Б. Гутенберг, використовуючи критерій Ф. Берча ($B = 1 - \left(d(V_P^2 - 1.33V_S^2) / dh \right) / g$, де h — глиби-

Citation: Gordienko, V.V., & Logvinov, I.M. (2025). About the global astenosphere of the Earth. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 187—192. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322503>.

Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

ISSN 0203-3100. *Geophysical Journal*. 2025. Vol. 47. № 2

187

на, g — прискорення вільного падіння), визначили на межі шарів С та D (на глибині 1000 км) зону зміни швидкостей сейсмічних хвиль (рис. 1). Вивчався зв'язок цієї аномалії зі зміною складу чи метаморфізму порід [Gutenberg, 1959].

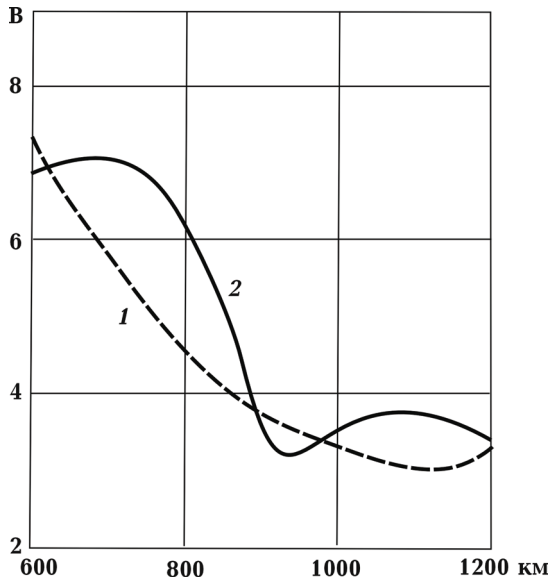


Рис. 1. Зміна критерію B з глибиною: 1 — за Г. Джеффрісом, 2 — за Б. Гутенбергом.

Fig. 1. Change in criterion B with depth: 1 — by G. Jeffris, 2 — by B. Gutenberg.

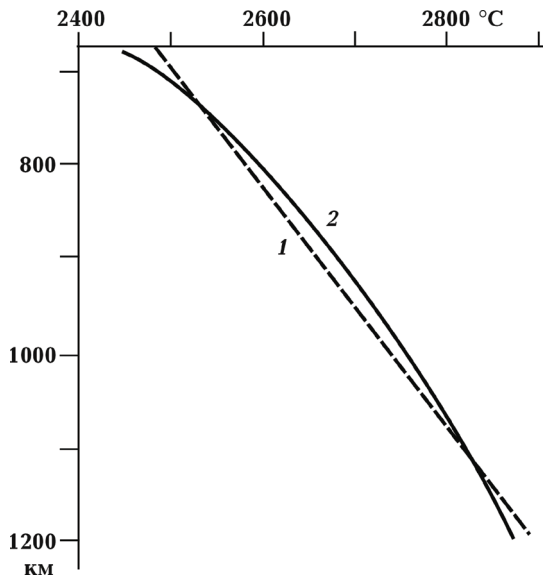


Рис. 2. Температури у нижній мантії Землі: 1 — температура солідуса, 2 — температура під платформою.

Fig. 2. Temperatures in the lower mantle of the Earth: 1 — solidus temperature, 2 — temperature under the platform.

Але з використанням референтних моделей увага до цього об'єкту зникла. Моделі PREM, IASP91, SP6, AK 135 та ін. не демонструють на 1000 км помітних відхилень від фонові зміни швидкості з глибиною.

Визначення глобальної астеносфери. У 1998 р. у двох публікаціях було наведено дані про шар підвищеної електропровідності та часткового плавлення у нижній мантії на глибині близько 1000 км [Гордієнко, 1998; Semenov, 1998]. В одному випадку це були 1D моделі за результатами магнітоваріаційного зондування в деяких пунктах Євразії [Semenov, 1998], у другому — розрахунки теплової історії планети (рис. 2).

Температуру на рис. 2 показано під докембрійською платформою, але в нижній мантії вона практично така сама під регіонами з усіма ендегенними режимами. Глибше 800 км розташований шар часткового плавлення з концентрацією рідини в перші відсотки. Доповнення геоелектричної інформації даними МТЗ та МВЗ з України та іншими суттєвими елементами

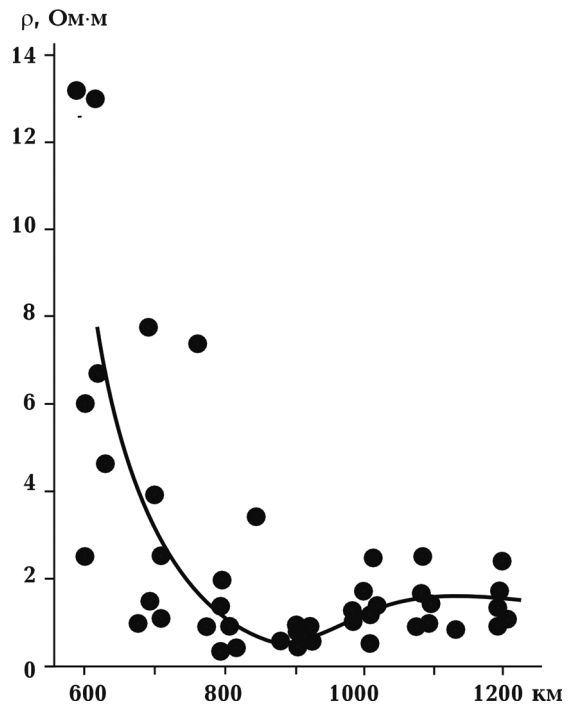


Рис. 3. Розподіл питомого опору (ρ) порід нижньої мантії за даними МВЗ.

Fig. 3. Distribution of specific resistance (ρ) of lower mantle rocks according to MVZ data.

[Gordienko, Logvinov, 2011; Semenov et al., 2008] дало змогу сягнути рівня визначеності ГА, показаного на рис. 3.

Розподіл ρ досить впевнено вказує на мінімум у 0,5 Ом·м на тлі 1,5 Ом·м. Неясно тільки, чи свідчить така аномалія про наявність часткового плавлення порід.

Спроби залучити для вивчення природи ГА сейсмологічні дані стосувалися матеріалу референтних моделей. Використовувалися більш «чутливі» параметри, ніж розподіли V_P та V_S . Це були dV_P/dh та V_P/V_S (рис. 4). Використано названі вище референтні моделі та модель Джеффріса—Буллена.

За наявними даними для верхньої мантії градієнт швидкості з глибиною у зоні солідусу скорочується приблизно на 30 %. Це узгоджується з визначеною аномалією.

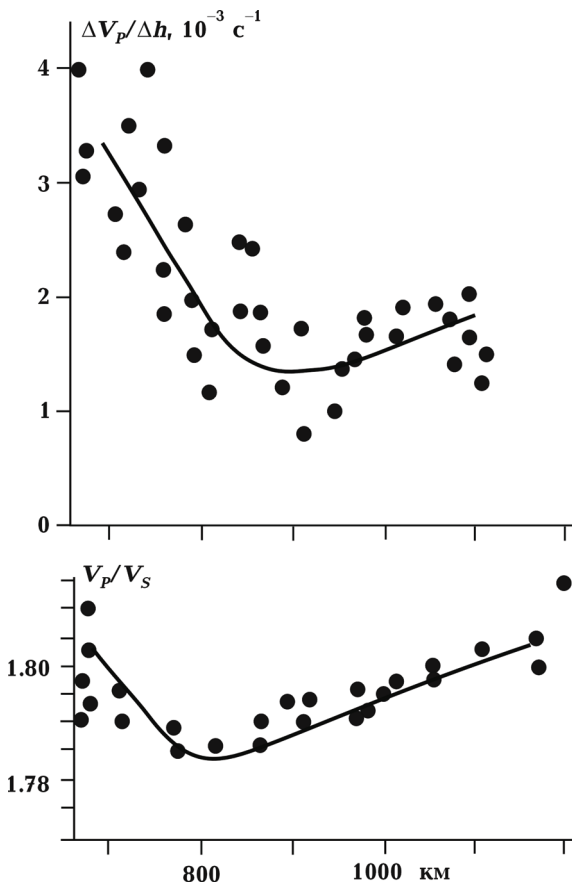


Рис. 4. Розподіл швидкісних параметрів порід нижньої мантії.

Fig. 4. Distribution of velocity parameters of lower mantle rocks.

Таким же чином встановлено зміну V_P/V_S під впливом появи розплаву з концентрацією близько 2 %. Вона становить 0,02—0,03, що суттєво менше від наведеного на рис. 4. Звісно, наведені висновки спираються на певні припущення і можуть слугувати лише опосередкованими аргументами на користь часткового плавлення у розглянутому інтервалі глибин. Але з такими даними природа ГА стає все більш вірогідною.

Отримані результати про існування та природу ГА підтверджували прогноз, зроблений на основі поліморфно-адвекційної гіпотези, що використано як один з аргументів для її визнання як теорії.

Додатковий розгляд та дискусія. В останній час робота з вивчення глобальної астеносфери була сконцентрована на кількох напрямках. 1. Для з'ясування її ролі у глибинних процесах потрібно було визначити енергетичні ресурси ГА. 2. Використання референтних моделей не дає змоги визначити розповсюдженість ГА, можливу кореляцію проявів з типами ендегенних режимів. Цього можна досягти тільки за умови вивчення конкретних швидкісних моделей мантії. 3. Очевидною є спроба зіставити розподіл ρ нижній мантії, отриманий за даними МВЗ, з результатами лабораторних досліджень порід у відповідних *PT*-умовах. Враховуючи специфіку таких експериментів (зокрема, вибуховий тиск) можна стверджувати, що будуть досліджені тверді породи.

В останні роки вдалося помітно доповнити колекцію даних про накопичення радіоактивних елементів у період акреції Землі. Досвід побудови теплових моделей тектоносфери до глибин 400—700 км з використанням величин радіогенної теплогенерації у корі, верхній мантії та перехідній зоні до нижньої мантії демонструє стабільне досягнення позитивних результатів у сенсі відтворення геологічних явищ у різних ендегенних режимах і узгодженість із незалежно встановленими аномаліями щільності та швидкості. Це свідчить про достатньо точне знання розподілу теплогенерації і можливість припустити її величину на глибині глобальної астеносфери

[Gordienko, 2023 та ін.]. Таким чином отримуємо відповідь на перше із запитань — про можливість участі ГА в активних процесах тектоносфери (таблиця).

Отриманий результат цілком логічний, бо зберігає частину радіоактивних елементів у нижньому фрагменті магматичного океану, де вони всі були сконцентровані у процесі диференціації речовини планети. Він відкриває перспективу вивчення активної ролі ГА. Стає зрозумілою відсутність землетрусів на глибинах дещо більше 700 км. До підшови глобальної астеносфери вони неможливі через низьку в'язкість у шарі часткового плавлення. Нижче ГА — через відсутність джерел енергії.

Відповідь на друге питання можна знайти у роботі [Ballmer et al., 2015], в якій наведено розповсюдження на територіях океанів і суходолу пунктів з наявними аномаліями розподілу швидкостей поздовжніх та поперечних сейсмічних хвиль (розрива-

ми) у діапазоні глибин 700—2000 км. Петрологічний та геодинамічний бік статті викликає багато заперечень і тут не розглядається. Отриманий авторами розподіл пунктів наведено на рис. 5.

Очевидно, що пункти з аномаліями на зазначеній глибині розповсюджені у регіонах океанів та континентів із практично всіма типами ендегенних режимів. Інтенсивність аномалій, представлену авторами статті у петрологічній та щільнісній термінології, можна вважати відповідною не менш як 0,1—0,2 км/с у швидкості. Це робить досить імовірним часткове плавлення порід.

Третє питання, яке було одним із предметів розгляду І.М. Логвіновим в останній час, вирішувалося у відборі потрібної інформації з публікацій про лабораторні дослідження електропровідності мінералів та гірських порід у різних *PT*-умовах.

Відповідна література зараз практично

Розподіл радіогенних джерел енергії в оболонці Землі (*E* — енергія)

Шар	Глибина, км	Об'єм, 10^{12}км^3	ТГ, Вт/км ³	<i>E</i> , 10^{12}Вт
Кора	0—40	0,021	500	10,5
Верхня мантія	40—470	0,201	50	10,0
Перехідна зона	470—800	0,130	19	2,5
Глобальна астеносфера	800—1100	0,116	19	2,2

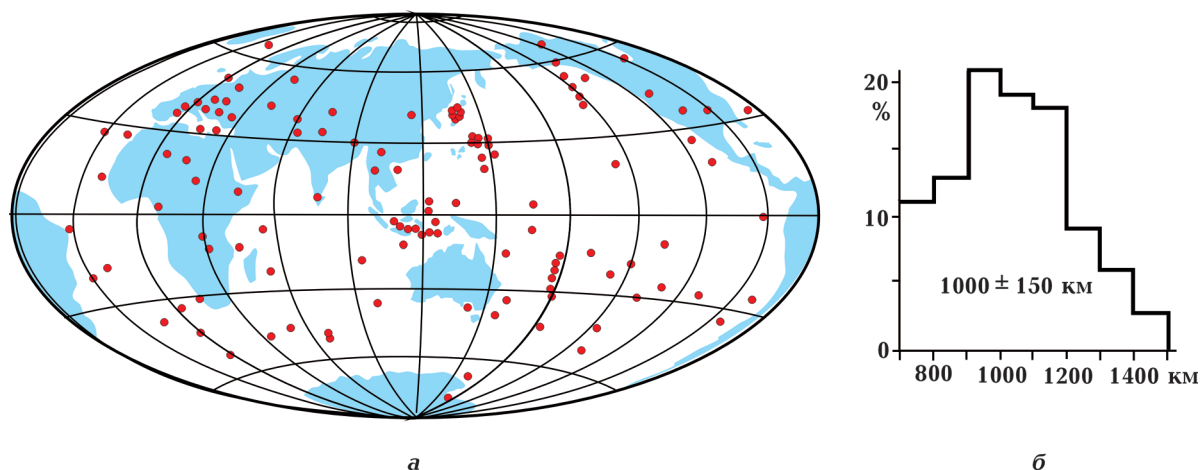


Рис. 5. Пункти визначення сейсмічних розривів у нижній мантії в діапазоні глибин від 700 до 2000 км (а) та гістограма розподілу глибин (б).

Fig. 5. Seismic discontinuities detection points in the lower mantle range from 700 to 2000 km (a) and depth distribution histogram (b).

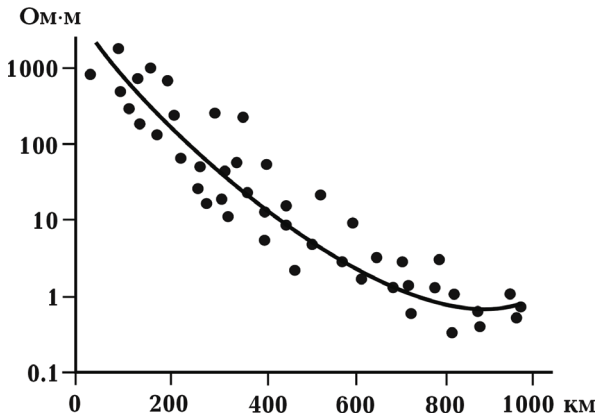


Рис. 6. Розподіл ρ порід мантії за даними лабораторних експериментів та модельних розрахунків.

Fig. 6. ρ distribution of mantle rocks according to data from laboratory experiments and model calculations.

безмежна [Noler, 2005; Dai et al., 2020, etc.]. Кількість посилань у статтях часто перевищує сотню. Звісно, більшість стосується умов експерименту, обмежених діапазоном звичайного лабораторного обладнання, тобто — верхньої мантії. Але германатні імітаційні моделі та вибухові пристрої високого тиску надають можливість зазирнути у умови існування не тільки вайд-

слеїту та рингвудіту перехідної зони, а й у верхню частину нижньої мантії з перовскітом та магнезійюститом. Звісно, у межах кожної індивідуальної моделі розподілу ρ у мантії залежність від глибини має вигляд комбінації «сходинок». Згладжений вигляд виникає під впливом об'єднання даних.

Для зіставлення з результатами глибинного МВЗ було об'єднано дані шести моделей розподілу ρ (рис. 6).

Мінімальні значення питомого опору твердих порід на рис. 6 становлять 0,7 Ом·м, на рис. 3 — 0,5 Ом·м. Різниця невелика та все ж може слугувати вказівкою на часткове плавлення порід у глобальній астеносфері.

Висновки. Проведені за останні роки дослідження дозволили помітно підкріпити новими даними факт існування глобальної астеносфери та деталізувати уявлення про її властивості. Зараз вже можна припускати її участь у глобальному тепломасопереносі (хоча цей напрямок роботи ще не приніс конкретних результатів). Більш предметно (але поки що — гіпотетично) можна говорити про її участь у формуванні магнітного поля Землі [Gordienko, 2024].

Список літератури

- Гордиенко В. *Глубинные процессы в тектоносфере Земли*. Киев: Изд. ИГФНАУ, 1998, 84 с.
- Ballmer, M., Schmerr, N., Nakagawa, T., & Ritsema, J. (2015). Compositional mantle layering revealed by slab stagnation at ~1000-km depth. *Science Advances*, 1(11). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500815>.
- Dai, L., Hu, H., Jiang, J., Sun, W., Li, H., Wang, M., Vallianatos, F., & Saltas, V. (2020). An Overview of the Experimental Studies on the Electrical Conductivity of Major Minerals in the Upper Mantle and Transition Zone. *Materials*, 13(2), 408. <https://doi.org/10.3390/ma13020408>.
- Gordienko, V. (2023). On energy balance of the tectonosphere. *Geodynamics*, (2), 62—71. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.062>.
- Gordienko, V. (2024). On the nature of the Earth's magnetic field. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(6), 135—144.
- Gordienko, V., & Logvinov, I. (2011). The global asthenosphere. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 47(2), 109—116. <https://doi.org/10.1134/S1069351311010046>.
- Gutenberg, B. (1959). *Physics of the Earth's interior*. New York: Acad. Press., 260 p.
- Nover, G. (2005). Electrical properties of crustal and mantle rocks. A review of laboratory measurements and their explanation. *Surveys in Geophysics*, 26, 593—651. <https://doi.org/10.1007/s10712-005-1759-6>.
- Semenov, V.Yu. (1998). *Regional conductivity structures of the Earth's mantle*. Warsaw: Publ. of the Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci., 122 p.
- Semenov, V.Yu., Ádám, A., Jóźwiak, W., Ladanyvsky, B., Logvinov, I.M., Pek, J., Pushkarev, P., & Vozar, J. (2008). Electrical structure of the upper mantle beneath Central Europe: Results of the CEMES project. *Acta Geophysica*, 56(4), 957—981. <https://doi.org/10.2478/s11600-008-0058-2>.

About the global asthenosphere of the Earth

V.V. Gordienko, I.M. Logvinov, 2025

S. Subbotin Institute of Geophysics of National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article considers how the global asthenosphere manifests at a depth of about 1000 km in the geothermal, geoelectrical, and seismic data obtained over the past 20 years and recent data additions are considered. The represent include the inclusion of the global asthenosphere in the number of geospheres with noticeable radiogenic heat generation, the emergence of data on the electrical conductivity of rocks in the transition zone from the upper to the lower mantle, and the information on widespread velocity inhomogeneities in the global asthenosphere depth range.

Key words: asthenosphere, velocity anomalies, temperature anomalies, electrical conductivity anomalies.

References

- Gordienko, V. (1998). *Deep processes in the Earth's tectonosphere*. Kyiv: Publ. of the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 84 p. (in Russian).
- Ballmer, M., Schmerr, N., Nakagawa, T., & Ritsema, J. (2015). Compositional mantle layering revealed by slab stagnation at ~1000-km depth. *Science Advances*, 1(11). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500815>.
- Dai, L, Hu, H., Jiang, J., Sun, W., Li, H., Wang, M., Vallianatos, F., & Saltas, V. (2020). An Overview of the Experimental Studies on the Electrical Conductivity of Major Minerals in the Upper Mantle and Transition Zone. *Materials*, 13(2), 408. <https://doi.org/10.3390/ma13020408>.
- Gordienko, V. (2023). On energy balance of the tectonosphere. *Geodynamics*, (2), 62—71. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.02.062>.
- Gordienko, V. (2024). On the nature of the Earth's magnetic field. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(6), 135—144.
- Gordienko, V., & Logvinov, I. (2011). The global asthenosphere. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 47(2), 109—116. <https://doi.org/10.1134/S1069351311010046>.
- Gutenberg, B. (1959). *Physics of the Earth's interior*. New York: Acad. Press., 260 p.
- Nover, G. (2005). Electrical properties of crustal and mantle rocks. A review of laboratory measurements and their explanation. *Surveys in Geophysics*, 26, 593—651. <https://doi.org/10.1007/s10712-005-1759-6>.
- Semenov, V.Yu. (1998). *Regional conductivity structures of the Earth's mantle*. Warsaw: Publ. of the Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci., 122 p.
- Semenov, V.Yu., Ádám, A., Jóźwiak, W., Ladanysky, B., Logvinov, I.M., Pek, J., Pushkarev, P., & Vozar, J. (2008). Electrical structure of the upper mantle beneath Central Europe: Results of the CEMES project. *Acta Geophysica*, 56(4), 957—981. <https://doi.org/10.2478/s11600-008-0058-2>.