

УДК 550.834.32/5:551.14

А. Вітрик, студ.,
E-mail: vitrik1993@gmail.com,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна,
О. Трипільський, д-р геол.-мінералог. наук,
Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, м. Київ, Україна

ШВИДКОСТІ ПОШИРЕННЯ СЕЙСМІЧНИХ ХВИЛЬ У ЗЕМНІЙ КОРІ БАЛТІЙСЬКОГО ЩИТА (ЗА ДАНИМИ РЕГІОНАЛЬНИХ СЕЙСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ)

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

У роботі вивчено особливості швидкостей поширення сейсмічних хвиль у земній корі за даними регіональних сейсмічних досліджень та виконано порівняльний аналіз швидкісних характеристик окремих провінцій Балтійського щита. Для порівняльного аналізу використовувалися дані, насамперед, про швидкості кожної провінції, а також дані відхилень осереднених швидкостей для окремих провінцій від осереднених швидкостей для Балтійського щита в цілому та дані вертикальних швидкісних градієнтів. На основі інтерпретації встановлено, що швидкісні характеристики земної кори Лапландсько-Кольсько-Карельської та Свекофенської провінцій різняться між собою. Це може вказувати на відмінності у речовинному складі та у напруженому стані земної кори цих двох провінцій. Практична значимість запропонованої роботи полягає в тому, що це дослідження виконано вперше і його результати можуть бути використані для складання комплексної геолого-геофізичної моделі земної кори Балтійського щита та для геологічної інтерпретації даних регіональних сейсмічних досліджень.

Ключові слова: Балтійський щит, швидкість поширення сейсмічних хвиль, геотектонічна провінція, вертикальний швидкісний градієнт, графік $V=f(H)$.

Вступ. Балтійський щит площею близько 1,1 млн км² є найбільшим підняттям ранньодорифейського фундаменту Східноєвропейської платформи. Щит складений кристалічними породами архею та протерозою, переважно кислого складу. У східній частині щита розвинені зелені камені пояса пізньоархейського віку.

У структурі Балтійського щита розрізняють три головні геотектонічні провінції: центральну, або Свекофенську, південно-західну, Дальсландську, та північно-східну, Лапландсько-Кольсько-Карельську. Центральна та північно-східна провінції розмежовані Ладозько-Ботнічною зоною глибинних розломів північно-західного простягання. Провінції відрізняються складом та будо-

вою порід, що їх складають, та, перш за все, геологічною історією, утворюючи у сукупності асиметричну зональність. Геологічний вік провінцій збільшується з південного заходу на північний схід.

На території Балтійського щита виконано великий обсяг регіональних сейсмічних досліджень (рис. 1), спрямованих на вивчення глибинної будови літосфери цієї великої структури Східноєвропейської платформи (Prodehl, Kaminski, 1984; Husebye, Hovland, 1986; Grad, Luosto, 1987; Guggisberg et al., 1987, 1991; Kinck, Husebye, 1988; Grad et al., 1991, 1993; Sharov, 1991; Structure., 1991; Литвиненко, 1984; Шаров, 1993) [1, 4–8].

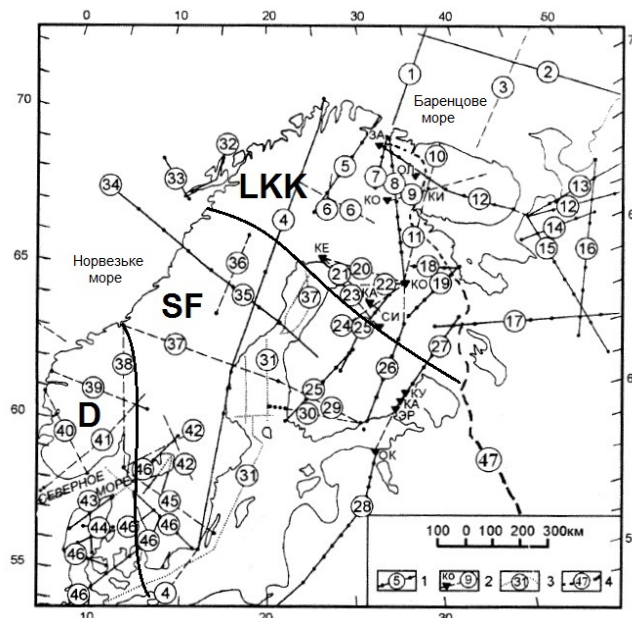


Рис. 1. Схема розташування глибинних сейсмічних профілів на Балтійському щиті та його схилах:

1 – профілі з системою годографів, заломлених та відбитих на поверхні М хвиль, 2 – профілі з системою годографів тільки відбитих хвиль, 3 – морські профілі з пневмоджерелами, 4 – профілі СГТ-ГСЗ; 1-47 – профілі: Феннолора (4), Фінлеп (6), Полар (5), Рибакський-Земля Франца-Йосифа (1), Печенга-Ловно (7), Печенга-Ковдор-Костомукша (8), Печенга-Умбозеро-Ручьи (Кварц) (12), Ковдор-Кировськ (9), Кемі-Каяни (23), Кемь-Ухта (18), Кемь-Тулос (19), Лахденпохья-Сегозеро (27), Балтик (26), Свека (25), Трансскандинавський 1-2 (29), Силен-Порво (30), Кохтла-Ярве-Советськ (28), "Блакитна дорога" (35), профіль у шведській Лапландії (36), Лофотен-Північна Норвегія (33), Лофотен-Вестеролен (32), Трансскандинавські 2-3, 3-4, 2-4, 3-5 та 4-5 (відповідно, 37, 38, 42 і 41), Флора-Оснес (39), Федья-Гримстед (40), Канобе (41), Скагерак-Ютландія (43), Ютландія, профіль ПВ1-ПВ6 (44), ЕУГЕНО-С, п'ять профілів (46), Костомукша-Нижній Тагіл (Рубін) (17), Костомукша-Свека (24), Кемь-Сиіліярві (21), Костомукша-Оулу (22), Кемь-Костомукша (20), Кировськ-Дальні Зеленці (10), Кировськ-Костомукша (11), БАБЕЛ (31), Геотраверс 1 ЕВ (47); провінції: D – Дальсландська, LKK – Лапландсько-Кольсько-Карельська, SF – Свекофенська

Методика регіональних польових досліджень включала точкові профільні спостереження на відстані між станціями (реєстраторами) 3–10 км. Відстань між пунктами вибуху складала переважно 20–100 км, іноді (профіль Феннолора) зростала до 180–370 км.

Вздовж регіональних профілів побудовано глибинні сейсмічні розрізи та визначено швидкості поширення сейсмічних хвиль (скорочено, швидкості) у земній корі. Незважаючи на велике число публікацій, у яких висвітлювалися глибинна будова та, особливо, швидкісні характеристики земної кори Балтійського щита, узагальнюючі публікації з цієї тематики майже відсутні. До таких можна віднести лише такі роботи, як [2, 3].

Зважаючи на це, у даній роботі здійснено спробу частково заповнити прогалину у вивченні швидкісних характеристик земної кори Балтійського щита методом регіональних сейсмічних досліджень.

Спочатку порівнюємо між собою осереднені швидкісні характеристики $V=f(H)$ земної кори Дальсландської, Свекофенської та Лапландсько-Кольсько-Карельської провінцій. На рис. 2. наведено відповідні графіки $V=f(H)$. В інтервалі глибин 3–27 км графіки Свекофенської (СФ) провінції помітно відрізняються від графіків Лапландсько-Кольсько-Карельської (ЛКК) та Дальсландської (Д) провінцій. Особливо яскраво це виражено на рис. 3, де наведено графіки $\Delta V=f(H)$ відхилень осереднених швидкостей для окремих провінцій від осереднених швидкостей для Балтійського щита в цілому.

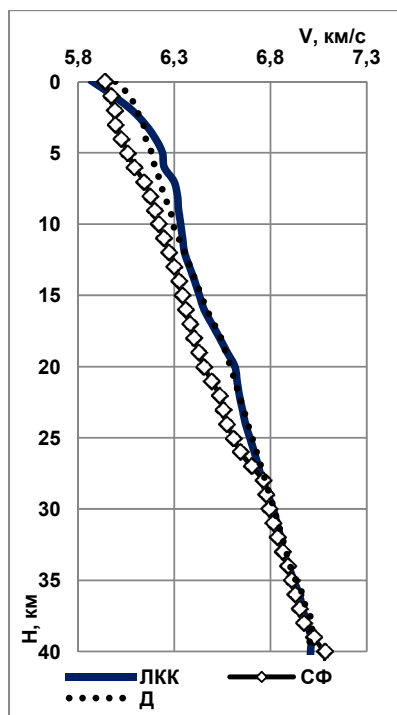


Рис. 2. Осереднені швидкісні характеристики $V=f(H)$ земної кори провінцій Балтійського щита: Д – Дальсландської, СФ – Свекофенської, ЛКК – Лапландсько-Кольсько-Карельської

Розглянемо більш детально різницю між профілями СФ та ЛКК провінцій (рис. 3). У загальних рисах співвідношення між цими графіками має "дзеркальний" характер. Це означає, що якщо один з графіків відхиляється від нульової лінії (осереднені або нормальні швидкості у земній корі Балтійського щита) в один бік, то інший – у протилежний, причому на тій самій глибині. Максимальні відхилення спостерігаються на глибинах 4–5 км та 20 км. У першому випадку абсолютна величина такого

відхилення складає 0,1 км/с (СФ провінція) та 0,08 км/с (ЛКК провінція), у другому – 0,09 км/с (СФ провінція) та 0,07 км/с (ЛКК провінція).

Глибше (28–38 км) "дзеркальний" характер співвідношень між цими графіками зберігається. Різниця полягає лише у тому, що абсолютна величина таких відхилень зменшується у кілька разів (рис. 3).

Графік Д провінції (рис. 3), за винятком інтервалу глибин 0–12 км, майже повністю збігається з графіком ЛКК провінції. Слід зазначити, що результати сейсмічних досліджень у межах Д провінції характеризуються невисокою якістю, що унеможливило їхній глибокий аналіз.

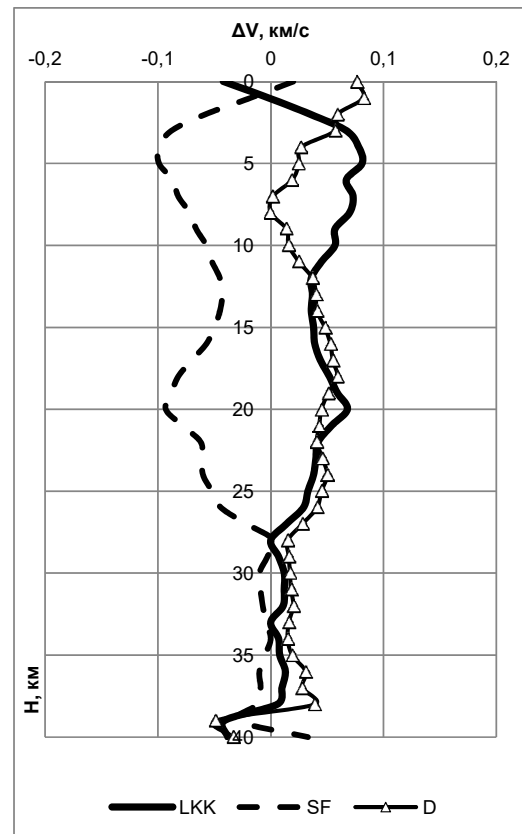


Рис. 3. Графіки $\Delta V=f(H)$ відхилень осереднених швидкостей провінцій Балтійського щита: Д – Дальсландської, SF – Свекофенської, ЛКК – Лапландсько-Кольсько-Карельської

Повернемося до графіків ЛКК та СФ провінцій. З метою можливого з'ясування особливих співвідношень між цими графіками, було складено графіки вертикальних швидкісних градієнтів $G, c-1$ для цих провінцій (рис. 4). Значення графіків розраховувалися методом ковзаючого вікна шириною 2 км з кроком по вертикалі 1 км. Було також розраховано вертикальні градієнти $G, c-1$ провінцій ЛКК, СФ, Д та Балтійського щита у цілому в інтервалах глибин 0–10, 11–20, 21–30 та 31–40 км. Крім того, визначено градієнти в інтервалі 0–40 км (тобто, на усю земну кору). Усі результати розрахунків зведено у табл. 1.

Співвідношення між градієнтами ЛКК і СФ провінцій складне й характеризується певними особливостями (рис. 4):

- У інтервалі 1–4,5 км градієнти ЛКК провінції з глибиною швидко зменшуються, а СФ провінції, навпаки, зростають. Наприклад, величина градієнта на глибині 1 км у ЛКК провінції у 4 рази більша, порівняно з СФ провінцією, на 2 км – у 6 разів, на 3 км – у 3 рази, на 4 км – у 1,4 рази;

• Глибина співвідношення між градієнтами набуває таких рис: інтервал глибин 4,5-12 км – СФ провінція має більшу величину градієнта, далі (інтервал глибин 14-19 км) більшу величину градієнта G вже має ЛКК провінція, далі (інтервал глибин 20-28 км) знову СФ провінція характеризується підвищеним градієнтом. Ще глибше (29-37 км) градієнти обох провінцій за близьких осереднених значень (ЛКК – 0,0230 с-1, СФ – 0,0211 с-1), на відміну від більшої частини земної кори, змінюються у невеликих межах;

• З глибиною вертикальний градієнт G у земній корі ЛКК провінції зменшується (табл. 1). На глибинах 31-37 км величина градієнта G у два рази менша (0,0223 с-1), ніж на глибинах 0-10 км. На відміну від цього, у земній корі СФ провінції таке контрастне зменшення градієнта G не спостерігається. Більше того, в інтервалі 21-30 км спостерігається зростання градієнта G (0,0331 с-1). А у низах земної кори (31-37 км), на відміну від ЛКК провінції, градієнт G усього лише у 1,25 рази менший, ніж у верхах (0-10 км) – 0,0227 с-1 проти 0,0282 с-1.

Таблиця 1

Вертикальні швидкісні градієнти G , с-1 у земній корі Балтійського щита та окремих його провінцій

ΔH , км	ЛКК	СФ	Д	БЩ
0 – 10	0,0447	0,0282	0,0280	0,0359
11 – 20	0,0302	0,0231	0,0311	0,0277
21 – 30	0,0209	0,0331	0,0207	0,0256
31 – 40	0,0223	0,0227	0,0230	0,0227
0 – 40	0,0295	0,0274	0,0262	0,0281

Примітка. ЛКК, СФ та Д – провінції Балтійського щита, відповідно: Лапландсько-Кольсько-Карельська, Свекофенська та Дальска; БЩ – Балтійський щит

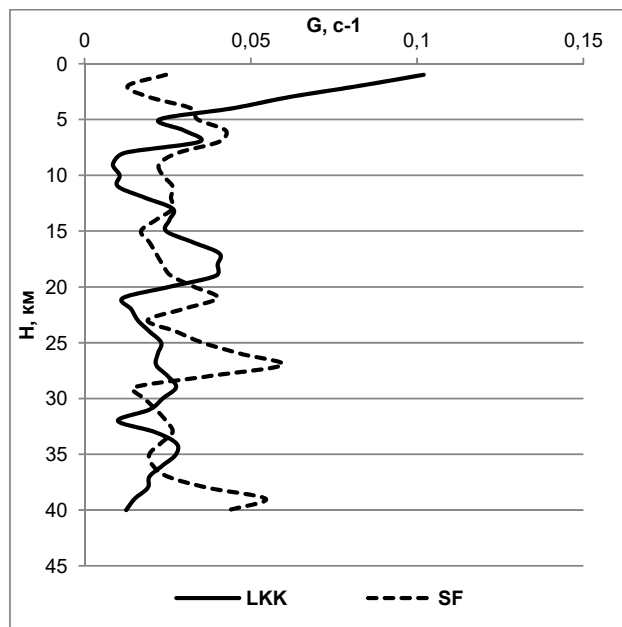


Рис. 4. Графіки вертикальних швидкісних градієнтів G (с-1) у земній корі Лапландсько-Кольсько-Карельської (ЛКК) та Свекофенської (СФ) провінцій Балтійського щита

Висновки. Таким чином, розглянуті нами швидкісні характеристики земної кори Лапландсько-Кольсько-Карельської і Свекофенської провінцій помітно розрізняються між собою. Це може вказувати на відмінності у речовинному складі та у напруженому стані земної кори цих двох провінцій. Результати виконаного нами дослідження у майбутньому можуть бути використані для складання комплексної геолого-геофізичної моделі земної кори Балтійського щита, а також при геологічній інтерпретації даних регіональних сейсмічних досліджень. У подальшому слід порівняти між собою інші характеристики земної кори вказаних провінцій – це середня товщина земної кори, величина горизонтального градієнта швидкості G , можливі локальні аномалії швидкостей та ін.

У роботі [3] показано, що Балтійський, Український та Канадський щити характеризуються близькими осередненими швидкісними параметрами. Це означає, що особливості розподілу швидкостей у земній корі Балтійського щита, досліджені у нашій статті, з великою ймо-

вірністю можуть спостерігатись також і в земній корі Українського щита. У цьому зв'язку, вивчення швидкісних характеристик у земній корі Балтійського щита набуває особливої актуальності.

Список використаних джерел:

Литвиненко І. В. Сейсмические исследования земной коры Балтийского щита / И. В. Литвиненко // Геофизика : XXVII. Геол. Конгресс. – М.: Наука, 1984. – С. 9–20.
 Сопоставление скоростных характеристик земной коры Балтийского и Украинского щитов / Н. В. Шаров, А. А. Трипольский, В. А. Трипольская, О. В. Топольюк // Геофизика. – 2014. – № 3. – С. 25–31.
 Трипольский А. А. Литосфера докембрийских щитов северного полушария Земли по сейсмическим данным / А. А. Трипольский, Н. В. Шаров. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. – 245 с.
 Шаров Н. В. Литосфера Балтийского щита по сейсмическим данным / Н. В. Шаров. – Апатиты: КНЦ РАН, 1993. – 145 с.
 Guggisberg B. Crustal structure of the Fennoscandian Shield. A travelttime interpretation of the long-range FENNOLORA seismic refraction profile / B. Guggisberg, W. Kaminski, C. Prodehl // Tectonophysics. – 1991. – V. 195. – P. 105–137.
 Heikkinen P. On the crustal structure of the Fennoscandian Shield. Results of the seismic deep reflection surveys in Finland. 1986–1994 / P. Heikkinen // Inst. Seismol., Univ. Helsinki. – 1998. – P. 40–78.

Luosto U. Seismic data from the northern segment of the EGT and from nearby profiles / U. Luosto // Data compilations and Synoptic interpretation : Proceedings of the Sixth Workshop on the European Geotraverse (EGT) Project. (Einsiedeln, 29 Nov. – 5 Dec. 1989) ; ed. by R. Freeman and St. Muller. – Strasburg, 1990. – P. 53–63.

The BABEL Project. First Status Report / R. Meissner, D. Shyder, N. Balling, E. Staroste. – Belgium: Commission of the European Communities, 1992. – 155 p.

References:

Litvinenko, I.V. (1984). Seismicheskie issledovaniya zemnoy kory Baltiyskogo schita. Geofizika. XXVII. Geol. Kongress. (pp. 9–20). Moscow: Nauka. [In Russian].

Sharov, N.V., Tripolskiy, A.A., Tripolskaya, V.A., Topolyuk, O.V. (2014). Sopostavlenie skorostnykh harakteristik zemnoy kory Baltiyskogo i Ukrainskogo schitov. Geofizika, 3, 25–31. [In Russian].

Tripolskiy, A.A., Sharov, N.V. (2004). Lithosfera dokembriyskikh schitov severnogo polushariya Zemli po seismicheskim dannym. Petrozavodsk: Karelskij nauchnyy centr RAN. [In Russian].

Sharov, N.V. (1993). Lithosfera Baltiyskogo schita po seismicheskim dannym. Apatity. [In Russian].

Guggisberg, B., Kaminski, W., Prodehl, C. (1991). Crustal structure of the Fennoscandian Shield. A travelttime interpretation of the long-range FENNOLORA seismic refraction profile. Tectonophysics, 195, 105–137.

Heikinen, P. (1998). On the crustal structure of the Fennoscandian Shield. Results of the seismic deep reflection surveys in Finland. Inst. Seismol. (pp. 40–78). Univ. Helsinki.

Luosto, U. (1990). Seismic data from the northern segment of the EGT and from nearby profiles. Proceedings of the Sixth Workshop on the European Geotraverse (EGT) Project. Data compilations and Synoptic interpretation (Einsiedeln "29 November – 5 December 1989). Freeman R. and St. Muller (Eds.). (pp. 53–63). Strasburg.

Meissner, R., Shyder, D., Balling, N and Staroste, E. (1992). The BABEL Project. First Status Report. Belgium: Commission of the European Communities, 155 p.

Надійшла до редколегії 01.07.16

A. Vitrik, student

E-mail: vitrik1993@gmail.com,

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine,

O. Trypilskiy, Dr.Sci. (Geol.),

Institute of Geophysics National Academy of Science of Ukraine, Kyiv

SPEED OF SEISMIC WAVES TRAVELLING THROUGH THE EARTH CRUST WITHIN THE BALTIC SHIELD (ON THE BASIS OF THE REGIONAL SEISMIC RESEARCH DATA)

The article considers peculiarities of velocity of seismic waves in the Earth's crust, according to regional seismic studies and the comparative analysis of high-speed characteristics of individual provinces of the Baltic Shield. For comparative data analysis, velocity of each province and average velocity data for individual provinces of the Baltic Shield in general and vertical velocity gradients data were used. Based on the interpretation data of crust, Lapland-Kola-Korel'ska and Svekofens'ka provinces revealed different velocity characteristics. This may indicate differences in material composition and stress state in the crust of the two provinces. The practical significance of the work is that this study is performed for the first time and the results can be used for comprehensive geological and geophysical model compilation of the crust of the Baltic Shield and geological data interpretation for regional seismic studies.

Keywords: Baltic Shield, the velocity of seismic waves, tectonic province, vertical velocity gradient, graph $V = f(H)$.

A. Витрик, студ.,

E-mail: vitrik1993@gmail.com,

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,

A. Трипольский, д-р геол.-минералог. наук,

Институт Геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина

СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЗЕМНОЙ КОРЕ БАЛТИЙСКОГО ШИТА (ПО ДАННЫМ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

В работе изучены особенности скоростей распространения сейсмических волн в земной коре по данным региональных сейсмических исследований и выполнен сравнительный анализ скоростных характеристик отдельных провинций Балтийского щита. Для сравнительного анализа использовались данные, прежде всего, скоростей каждой провинции, а также данные отклонений усредненных скоростей для отдельных провинций от усредненных скоростей для Балтийского щита в целом и вертикальные скоростные градиенты. На основании интерпретации установлено, что скоростные характеристики земной коры Лапландско-Кольско-Карельской и Свекофенской провинций отличаются между собой. Это может указывать на различия в вещественном составе и в напряженном состоянии земной коры этих двух провинций. Практическая значимость предлагаемой работы заключается в том, что это исследование выполнено впервые и его результаты могут быть использованы для составления комплексной геолого-геофизической модели земной коры Балтийского щита и геологической интерпретации данных региональных сейсмических исследований.

Ключевые слова: Балтийский щит, скорость распространения сейсмических волн, геотектоническая провинция, вертикальный скоростной градиент, график $V = f(H)$.