

Скоростное строение мантии пограничья Восточно-Европейской и Западно-Европейской платформ

Т. А. Цветкова, И. В. Бугаенко, Л. Н. Заец, 2021

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина
Поступила 1 апреля 2021 г.

Работа посвящена изучению скоростного строения мантии пограничной области Восточно-Европейской и Западно-Европейской платформ, в коре, разделенной зоной Тейсейра—Торнквиста. Исследуется мантия под территориями Польши и Западной Украины. Использована трехмерная P -скоростная модель мантии, построенная по методу тейлорового приближения, разработанному В. С. Гейко. Преимущества метода состоят в независимости от начального приближения (референтной модели) и в лучшем приближении к нелинейности. В данной области глубина исследования составляет 2500 км южнее 50° с.ш. и 1700 км севернее 50° с.ш. Проведен детальный анализ горизонтальных сечений трехмерной P -скоростной модели мантии до глубины 850 км с шагом 50 км. Проанализировано изменение пространственного распределения нулевой сейсмической скоростной границы на всем протяжении глубин. Указанная граница разделяет высокоскоростную верхнюю мантию Восточно-Европейской платформы и низкоскоростную верхнюю мантию Западно-Европейской. На глубинах переходной зоны верхней мантии названная граница разделяет низкоскоростную верхнюю мантию Восточно-Европейской платформы и высокоскоростную верхнюю мантию Западно-Европейской (в этой геосфере произошла инверсия скоростей относительно верхней мантии).

В широтных сечениях выделяются два наклонных слоя. Один из них связан с верхней мантией под Днепровско-Донецкой впадиной и доходит до мантии под Карпатами, где начинает погружаться в высокоскоростную переходную зону верхней мантии. Второй слой тяготеет к мантии под северо-западным окончанием Балтийской синеклизы и распространяется до мантии под Присудетской моноклиной, где также погружается в высокоскоростную переходную зону верхней мантии. В долготных сечениях выделяются наклонные слои, распространяющиеся от мантии под Южно-Скандинавским мегаблоком Балтийского щита до мантии под Богемским массивом и Карпатами, где погружаются в высокоскоростную переходную зону верхней мантии.

В исследуемой пограничной области выделены три сверхглубинных флюида, которые характеризуются повышенной расслоенностью среды (чередование повышенных и пониженных скоростей). К первому относятся известные нефтегазоносные месторождения Среднеевропейского нефтегазового бассейна (Поморье и Предсудетская моноклиналь (Польша)), ко второму — нефтегазоносные месторождения Северо-Предкарпатского нефтегазового бассейна (юго-восточная Польша) и Карпатского нефтегазового бассейна (Западная Украина). Выделенный сверхглубинный флюид в мантии Балтийского моря соответствует как месторождениям Гданьского залива Балтийского моря, так и Калининградским месторождениям (юго-восток Балтийского моря).

Ключевые слова: сейсмическая томография, мантия, Восточно-Европейская платформа, Западно-Европейская платформа, сверхглубинные флюиды, нефтегазоносные месторождения.

Известно, что проявление нефтегазовых и не только месторождений связано с флюидными процессами [Летников, 1999;

Родкин, Рундквист, 2017; Лукин, Шестопа-лов, 2018; Шестопа-лов, Лукин и др., 2018]. При этом сейсмической визуализации глу-

бинных флюидов соответствует выделение в скоростном строении мантии изучаемого региона участков, связанных с субвертикальной скоростной расслоенностью, т. е. субвертикальных подобластей, характеризующихся чередованием повышенных и пониженных скоростей [Гуфельд, 2007]. Будем рассматривать мантию пограничного региона между Восточно-Европейской (ВЕП) и Западно-Европейской (ЗЕП) платформами.

Тектонической границей между Восточно-Европейской и Западно-Европейской платформами служит линия (зона) Тейсейра—Торнквиста (ТТЛ), правый сдвиг [Хаин, 2001], протягивающаяся от Добруджанского плато на северо-запад параллельно фронту Восточных Карпат в направлении восточной части польского Поморья, затем через п-ов Ютландия и акваторию Северного моря к юго-западной подводной окраине Скандинавского п-ова. Отсюда граница имеет северо-западное простираение между Черным и Балтийским морями и совпадает с зоной разломов сдвигового характера. Считается, что в мантии зона прослеживается до глубины 200 км [Хаин, 2001; Хаин, Ломизе, 2005]. Работы ГСЗ, проведенные в 70—90 годы прошлого века, позволили выяснить скоростное строение коры указанной территории (см., напри-

мер, [Геофизические..., 1993; Строение..., 1978] и литература в них). Современные представления о скоростном строении зоны Тейсейра—Торнквиста показаны в работах [Яновская, Королева, 2012; Janik et al., 2020].

Отмечается резкое различие в скоростном строении между докембрийской ВЕП и более молодой ЗЕП [Grad et al., 2009]. Нашей задачей является выделение согласно скоростному строению мантии возможных областей проявления нефтегазовых месторождений в регионе 14°—25° в.д.×49°—55° с.ш., соответствующем территории Польши и крайней западной части территории Украины, т.е. пограничной области между ВЕП и ЗЕП. В работе использована полученная методом тейлорового приближения [Гейко, 1997] трехмерная *P*-скоростная модель мантии под Евразией и ее окружением. Преимущества метода состоят в независимости от начального приближения (референтной модели) и лучшим приближением нелинейности. Модель представляется в виде горизонтальных (с шагом 25 км) и вертикальных долготных и широтных сечений (с шагом 1°). В данной области глубина исследования составляет 2500 км южнее 50° с.ш. и 1700 км севернее 50° с.ш. В качестве исходных использованы данные бюллетеней

Характеристики стабильной и активизированной мантии в химико-минералогической модели Пушаровских

Геосфера (глубина верхней и нижней границ)	Скоростная характеристика стабильной мантии	Скоростные характеристики активизированной мантии
Верхняя мантия (граница Мохо — 410 км)	повышенные	пониженные
Переходная зона верхней мантии (410—670 км)	пониженные	повышенные
Зона раздела-1 (670—850 км)	повышенные	пониженные
Средняя мантия (850—1700 км)	пониженные	повышенные
Зона раздела-2 (1700—2200 км)	повышенные	пониженные
Нижняя мантия (2200—2900 км)	пониженные	повышенные

ISC с 1964 по 2006 г. Сейсмические границы в мантии определены относительно обобщенной средней скорости, построенной для полученной модели мантии Евразии и ее окружения [Геуко, 2004]. Нулевая скоростная граница определяет раздел рассматриваемой области на подобласти, характеризующиеся повышенными и пониженными скоростями. Скоростное строение мантии изучаемой области частично рассматривалось в работах [Гейко и др., 2005; Цветкова, Бугаенко, 2012].

Следует отметить, что используемая в работе трехмерная *P*-скоростная модель мантии хорошо соотносится с физико-химической моделью мантии Ю. М. и Д. Ю. Пуцаровских [Пуцаровский, Пуцаровский, 2010]. Она учитывает данные сейсмотомографии, данные о составе мантии и сейсмических границах. Структура предложенной модели следующая (см. таблицу).

Горизонтальные сечения. На рис. 1 представлена тектоническая схема исследуемого региона. Рассмотрим горизонтальные сечения области (рис. 2). К северо-востоку от ТТЛ располагается ВЕП, к юго-западу — ЗЕП (в пределах исследуемой области представлена Центрально-Польским валом, Предсудетской моноклиной, Судетами и Богемским массивом) и Паннонская впадина. В интервале глубин 50—100 км расположение нулевой сейсмической скоростной границы остается южнее ТТЛ. Область в основном характеризуется высокими скоростями. Начиная с глубины 150 км наблюдается распространение на юго-запад более высокоскоростной мантии под ВЕП под рассматриваемую область. По скоростным характеристикам мантия под областью объединена с мантией ВЕП и выделяется относительно высокими скоростями на глубинах 150—300 км.

Начиная с глубины 350 до 400 км нулевая сейсмическая изолиния делит рассматриваемую область на две части, северную часть относится к мантии под ВЕП, а южная — под ЗЕП, т.е. южная часть рассматриваемого региона преимущественно высокоскоростная.

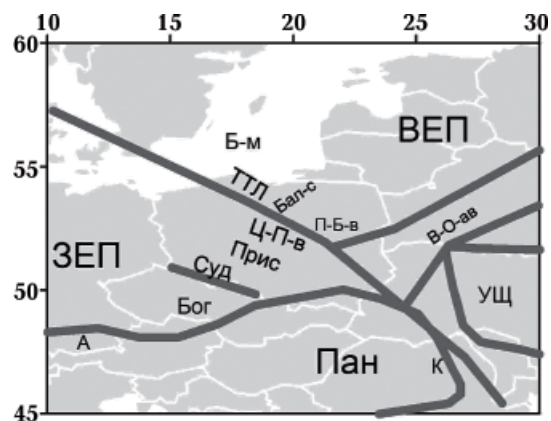


Рис. 1. Тектоническая схема исследуемой территории (по [Хаин, 2001], обобщенно). Белой линией на светло-сером фоне выделены административные границы государств Европы, темно-серой линией — тектонические структуры. Условные обозначения: А — Альпы, Б-м — Балтийское море, Бал-с — Балтийская синеклиза, Бог — Богемский массив, В-О-ав — Вольно-Оршанский авлакоген, ВЕП — Восточно-Европейская платформа, ЗЕП — Западно-Европейская платформа, К — Карпаты, П-Б-в — Подляско-Брестская впадина, Пан — Паннонская впадина, Пред — Предсудетская моноклинали, Суд — Судеты, ТТЛ — линия Тейсейра—Торнквиста, УЩ — Украинский щит, Ц-П-в — Центрально-Польский вал.

Fig. 1. Tectonic scheme of the study area (according to [Khain, 2001], generalized). The white line on a light gray background marks the administrative boundaries of the states of Europe, the dark gray line marks the tectonic structures. Legend: А — Alps, Б-м — Baltic Sea, Бал-с — Baltic syneclise, Бог — Bohemian massif, В-О-ав — Volyno-Orshaaulacogen, ВЕП — East European platform, ЗЕП — West European platform, К — Carpathians, П-Б-в — Podlasko-Brest depression, Пан — Pannonian depression, Пред — Predsudetets monocline, Суд — Sudetes, ТТЛ — Teiseira—Tornqvista line, УЩ — Ukrainian shield, Ц-П-в — Central Polish shaft.

Это свидетельствует, согласно модели Пуцаровских, об активизации мантии на указанной глубине и связи более южных областей данного региона с мантией под ЗЕП. Высокоскоростная часть рассматриваемой области объединена на этих глубинах с мантией под ВЕП, а на глубинах 450—550 км она распространяется и под ЗЕП.

После 550 км происходит очередное изменение скоростных характеристик. На глубинах 600—850 км эта область мантии характеризуется в основном низкими скоростями, как и мантия под ЗЕП.

Приведенные данные показывают, что интересующая нас мантийная часть рассматриваемой области по своим скоростным характеристикам относится: а) на глубинах 50—300 км к ВЕП; б) на глубинах 350—550 км к ЗЕП; в) в интервале глубин 600—850 км к зоне раздела-1, в основном к ВЕП.

Следствием рассмотрения горизонтальных скоростных сечений является выделение расслоенности мантии под рассматриваемым регионом относительно модели мантии Пущаровских (см. таблицу).

- 1) глубина 50—100 км; ВЕП+ЗЕП;
- 2) глубина 150—300 км; ВЕП;
- 3) глубина 350—550 км; ЗЕП;
- 4) глубина 600—650 км; переход к мантии под ВЕП;
- 5) глубина 700—850 км; ВЕП+ЗЕП.

При этом следует учитывать, что на глубинах 50—600 км изучаемая область отличается в основном высокими скоростями, на глубинах 650—850 км — пониженными. Рассмотрим долготные и широтные сечения.

Вертикальные широтные и долготные сечения. Спецификой как широтных, так и долготных сечений является проявление наклонных слоев и флюидных процессов (рис. 3, 4).

В широтных сечениях выделяются два наклонных слоя: один из них связан с верхней мантией под Днепровско-Донецкой впадиной (ДДВ) и доходит до мантии под Карпатами, где начинает погружаться в высокоскоростную переходную зону верхней мантии, затем выходит за пределы рассматриваемой территории и доходит до мантии под Рейнским грабеном; второй связывается с мантией под северо-западным окончанием Балтийской синеклизы, распространяясь до мантии под Предсудетской моноклиналью, где также погружается в высокоскоростную переходную зону верхней мантии, далее также выходя за пределы рассматриваемой территории.

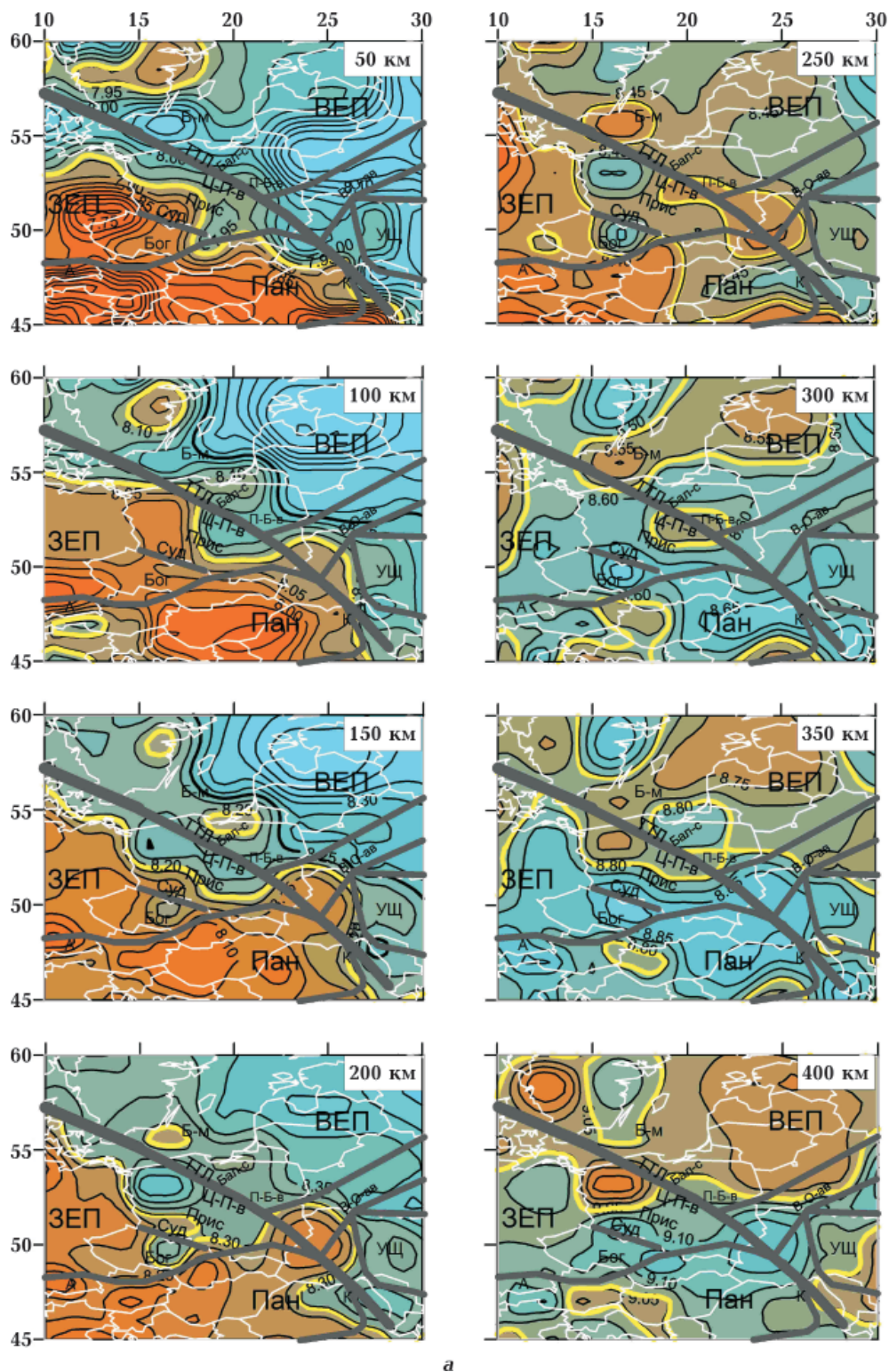
На рис. 3, б видны геосферы мантии исследуемого региона. Так, мантия древней ВЕП характеризуется высокоскоростной

верхней мантией, низкоскоростной переходной зоной верхней мантии, высокоскоростной зоной раздела-1, квазиоднородной низкоскоростной средней мантией, высокоскоростной зоной раздела-2 и низкоскоростной нижней мантией. А ее более молодое юго-западное окружение характеризуется низкоскоростной верхней мантией, высокоскоростной переходной зоной верхней мантии, отсутствием зоны раздела-1, квазиоднородной низкоскоростной средней мантией, высокоскоростной зоной раздела-2 и низкоскоростной нижней мантией.

В долготных сечениях выделяются наклонные слои, распространяющиеся от мантии под Южно-Скандинавским мегаблоком Балтийского щита до мантии под Богемским массивом и Карпатами, где погружаются в высокоскоростную переходную зону верхней мантии (рис. 4). За пределами рассматриваемой области долготные наклонные слои завершаются в мантии под Южными Карпатами и Богемским массивом. Следует отметить отсутствие зоны раздела-1 при наличии наклонных слоев.

На основании вертикальных сечений на рассматриваемой территории выделены сверхглубинные флюиды, характеризующиеся повышенной расслоенностью среды (чередованием повышенных и пониженных скоростей) [Павленкова, 2001; Гуфельд, 2007].

На рис. 5 из пяти представленных выделенных сверхглубинных флюидов к исследуемой области относятся два, еще один находится севернее, в Балтийском море. Первый сверхглубинный флюид (f1) находится в западной части Польши, координаты 14—18° в.д., 52—54° с.ш. В его северной части присутствуют месторождения Поморья (1) Среднеевропейского нефтегазового бассейна, а к югу от данного флюида расположены месторождения Предсудетской моноклинали (2) Среднеевропейского нефтегазового бассейна. Второй сверхглубинный флюид (f2) расположен в Львовской впадине (территория Западной Украины и крайнего востока Польши), ко-



a

Рис. 2. Горизонтальные сечения 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 и 400 км (а) и 450, 500, 550, 600, 650, 700, 800 и 850 км (б) трехмерной P -скоростной модели мантии исследуемой территории. Желтым цветом выделены границы между повышенными и пониженными скоростями на разных глубинах (нулевая сейсмическая граница). Условные обозначения см. на рис. 1.

Fig. 2. Horizontal sections of 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 km (a) and 450, 500, 550, 600, 650, 700, 800 and 850 km (b) of the 3D P -velocity model of the mantle of the study area. The boundaries between higher and lower velocities at different depths (zero seismic boundary) are highlighted in yellow. The legend is the same as in Fig. 1.

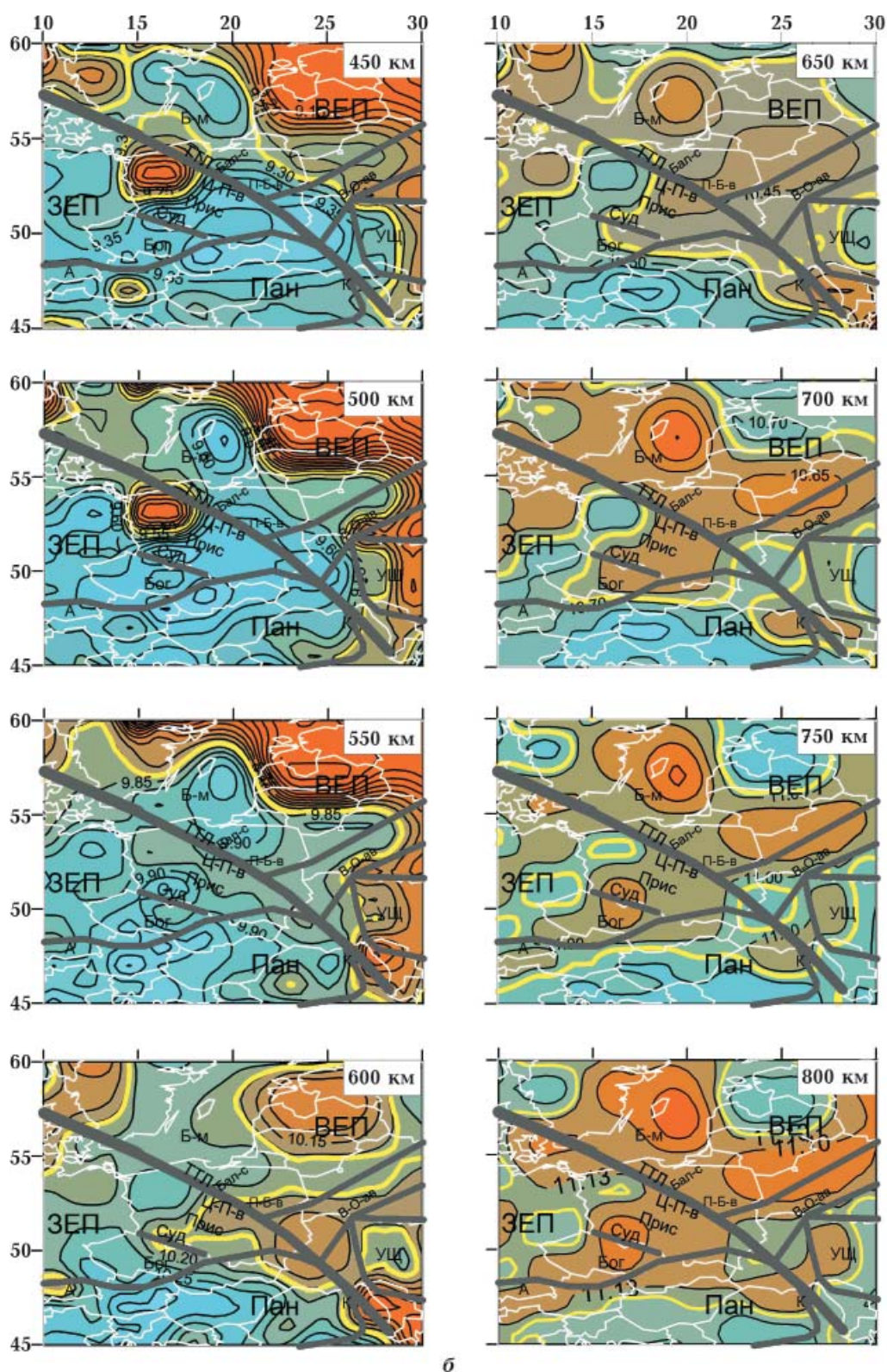


Рис. 26. (Fig. 26).

ординаты 22—27° в.д., 49—52° с.ш. К данному сверхглубинному флюиду приурочены месторождения Северо-Предкарпатского

нефтегазового бассейна (3) и Карпатского нефтегазового бассейна (4), расположенного на территории Украины. К третьему

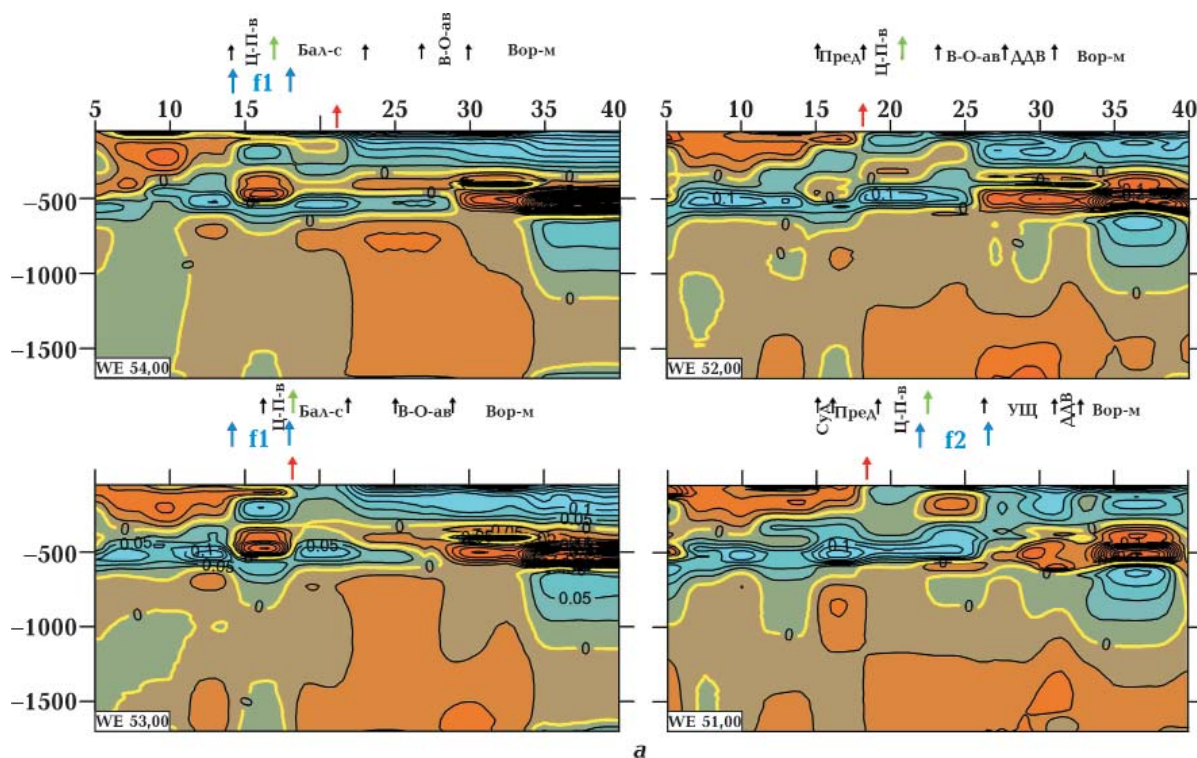
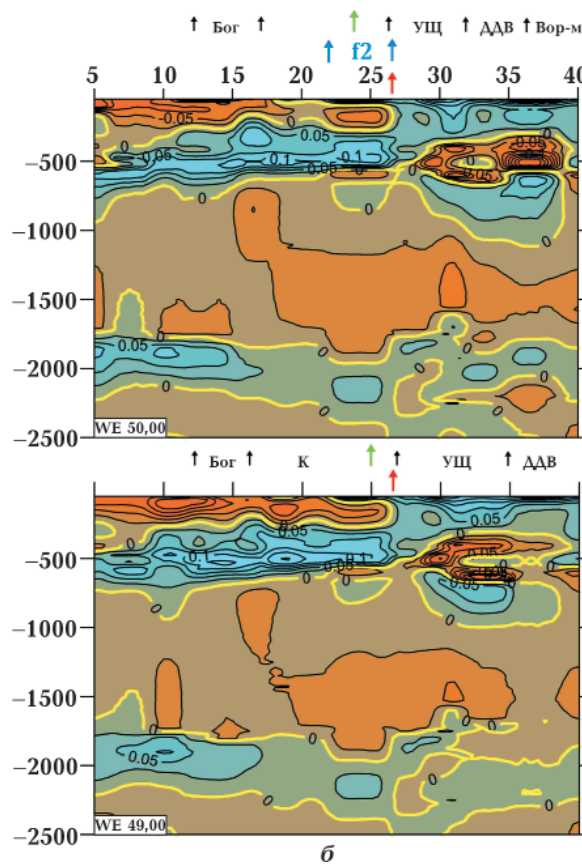


Рис. 3. Вертикальные широтные сечения 51—54°с.ш. до глубины 1700 км (а) и 49—50°с.ш. до глубины 2500 км (б) трехмерной P -скоростной модели мантии исследуемой территории. Желтым цветом выделена нулевая изолиния, которая является границей между повышенными (синий цвет) и пониженными (красный цвет) скоростями. Синими стрелками выделены проекции на поверхность сверхглубинных флюидов, зеленой — расположение линии Тейсейра—Торнквиста, черными — границы между тектоническими структурами, красной — место начала погружения высокоскоростного слоя верхней мантии ВЕП (синий цвет) в юго-западном направлении под низкоскоростную верхнюю мантию (красный цвет) в юго-западном направлении. Усл. обозначения см. на рис. 1, за исключением: ДДВ — Днепровско-Донецкая впадина, Вор-м — Воронежский кристаллический массив.

Fig. 3. Vertical latitudinal sections 51—54° NL to the depth of 1700 km (a) and 49—50° NL to the depth of 2500 km (б) 3D P -velocity model of the mantle of the study area. The zero isoline is highlighted in yellow, which is the border between higher (blue) and lower (red) speeds. Blue arrows indicate the projections onto the surface of superdeep fluids, green — the location of the Teiseira-Tornquist line, black — the boundaries between tectonic structures, red — the place where the high-velocity layer of the upper mantle of the EEP (blue) began to sink in the southwest direction under the low-velocity upper mantle (red) in the southwest direction. The legend is the same as in Fig. 1, except: ДДВ — Dnieper-Donetsk depression, Вор-м — Voronezh crystalline massif.



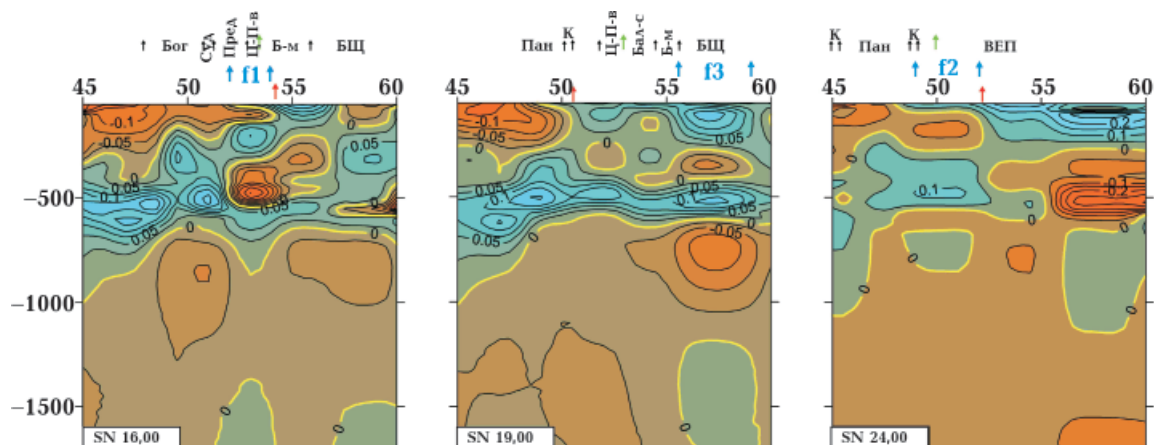


Рис. 4. Вертикальные долготные сечения 16, 19 и 24° с.ш. трехмерной P -скоростной модели мантии исследуемой территории до глубины 1700 км. Желтым цветом выделена нулевая изолиния, которая является границей между повышенными (синий цвет) и пониженными (красный цвет) скоростями. Синими стрелками выделены проекции на поверхность сверхглубинных флюидов, зеленой — расположение линии Тейсейра—Торнквиста, черными — границы между тектоническими структурами, красной — место начала погружения высокоскоростного слоя верхней мантии ВЕП (синий цвет) в юго-западном направлении под низкоскоростную верхнюю мантию (красный цвет) в юго-западном направлении. Усл. обозначения см. на рис. 1, за исключением: БЩ — Балтийский щит.

Fig. 4. Vertical longitudinal sections 16, 19 and 24°EL 3D P -velocity model of the mantle of the study area to the depth of 1700 km. The zero isoline is highlighted in yellow, which is the border between higher (blue) and lower (red) speeds. Blue arrows indicate the projections onto the surface of superdeep fluids, green — the location of the Teiseira-Tornquist line, black — the boundaries between tectonic structures, red — the place where the high-velocity layer of the upper mantle of the EEP (blue) began to sink in the southwest direction under the low-velocity upper mantle (red) in the southwest direction. The legend is the same as in Fig. 1., except: БЩ — Baltic Shield.

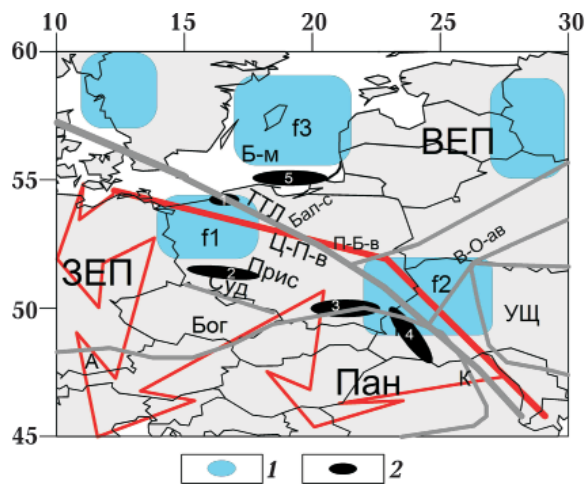


Рис. 5. Сверхглубинные флюиды, высокоскоростные наклонные слои и нефтегазоносные области исследуемой территории: 1 — сверхглубинные флюиды, 2 — нефтегазоносные области. Красными стрелками выделено обобщенное направление распространения высокоскоростного слоя, выделенного на рис. 3 и 4. Условные обозначения см. на рис. 1.

Fig. 5. Superdeep fluids, high-velocity inclined layers and oil and gas bearing areas of the study area: 1 — superdeep fluids, 2 — oil and gas bearing areas. The generalized direction of propagation of the high-velocity layer, highlighted in Fig. 3 and 4, is highlighted with red arrows. The legend is the same as in Fig. 1.

сверхглубинному флюиду Балтийского моря (f3) с координатами 17—21,5° в.д., 55,5—59° с.ш. приурочены месторождения южного шельфа Балтийского моря (5) (Гданьского залива и Калининградские).

Представленные на рис. 5 ТТЛ и распространение наклонных слоев показывают их взаимосвязь.

Следствием рассмотренного скоростного строения изучаемой области является выделение прогнозных областей нефтегазовых месторождений пограничных территорий ВЕП и ЗЕП. Они определяются областями, связанными с проявлением сверхглубинных флюидов.

Выводы. В мантии, соответствующей пограничной зоне между ВЕП и ЗЕП, выделены наклонные слои и проявления сверхглубинных флюидных процессов. Пространственно они связываются как с ЗЕП, так и с ВЕП.

В исследуемой области выделено три сверхглубинных флюида. К первому относятся известные нефтегазоносные месторождения Среднеевропейского нефте-

газового бассейна (Поморье и Предсудетская моноклиналь (Польша)). Со вторым связаны нефтегазоносные месторождения Северо-Предкарпатского нефтегазового бассейна (юго-восточная Польша) и Карпатского нефтегазового бассейн (Западная

Украина). Выделенный сверхглубинный флюид в мантии Балтийского моря соответствует месторождениям Гданьского залива Балтийского моря и Калининградским месторождениям (юго-восточный шельф Балтийского моря).

Список литературы

- Геофизические исследования литосферы: Сб. науч. тр. Отв. ред. А. В. Чекунов. Киев: Наук. думка, 1993. 155 с.
- Гейко В. С. Тейлорово приближение волнового уравнения и уравнения эйконала в обратных сейсмических задачах. *Геофиз. журн.* 1997. Т. 19. № 3. С. 48—68.
- Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3-D P-скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-Европейской платформы). *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 927—939.
- Гуфельд И. Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. Научное издание. Королев: ЦНИИМаш, 2007. 160 с.
- Летников Ф. А. Флюидные фации континентальной среды и проблемы рудообразования: Смирновский сборник. Москва: Изд-во МГУ, 1999. С. 63—95.
- Лукин А. Е., Шестопалов В. М. От новой геологической парадигмы к задачам региональных геолого-геофизических исследований. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 4. С. 3—72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i4.2018.140610>.
- Павленкова Н. И. Структура земной коры и верхней мантии и механизм движения глубинного вещества. *Вестник ОГГГН РАН.* 2001. № 4(19). С. 1—18.
- Пушаровский Ю. М., Пушаровский Д. Ю. Геология мантии Земли. Москва: Геос, 2010. 138 с.
- Родкин М. М., Рундквист Д. В. Геофлюодинамика. Приложение к сейсмологии, тектонике, процессам рудо и нефтегенеза. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2017. 288 с.
- Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы. Под ред.
- А. Гутерха, Д. Просена, В. Б. Соллогуба. Киев: Наук. думка, 1978. 272 с.
- Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов. Москва: Научный мир, 2001. 604 с.
- Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. Изд. 2-е. Москва: Изд-во МГУ, 2005. 480 с.
- Цветкова Т. А., Бугаенко И. В. Сейсмотомография мантии под Восточно-Европейской платформой: мантийные скоростные границы. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 5. С. 161—170. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v34i5.2012.116672>.
- Шестопалов В. М., Лукин А. Е., Згонник В. А., Макаренко А. Н., Ларин Н. В., Богуславский А. С. Очерки дегазации Земли. Киев: Изд. ИГН НАН Украины; Науч.-инж. центра радиогидрогеокол. полигон. исследований НАН Украины, 2018. 632 с.
- Яновская Т. Б., Королева Т. Ю. Скоростное строение верхней мантии в зоне перехода от Восточно-Европейской платформы к Западной Европе по данным сейсмического шума. *Физика Земли.* 2012. № 7-8. С. 3—9.
- Geyko, V. S. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 1. С. 3—32.
- Grad, M., Tiira, T., & ESC Working group (2009). The Moho depth map of the European Plate. *Geophysical Journal International*, 176(1), 279—282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x>.
- Janik, T., Starostenko, V., Aleksandrowski, P., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Murovska, A., Zajats, K., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Wójcik, D., Mechie, J., Głuszyński, A., Omelchenko, V., Legostaeva, O., Tolkunov, A., Amashukeli, T., Gryn, D., Chulkov, S. Сейсмический эксперимент TTZ-South. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 3. С. 3—15. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204698>.

Speed structure of the mantle of the border of the Eastern European and West European platforms

T. A. Tsvetkova, I. V. Bugaenko, L. N. Zaets, 2021

S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

This work is devoted to studying the velocity structure of the mantle of the border area of the East European and West European platforms in the crust separated by the Teisserre-Tornquist zone. The mantle under the territory of Poland and Western Ukraine is being investigated. The work uses a three-dimensional P-velocity model of the mantle, constructed using the Taylor approximation method developed by V. S. Geyko. The method's advantages are independent of the initial approximation (reference model) and the best approximation of nonlinearity. In this area, the exploration depth is 2500 km south of 50 °N and 1700 km north of 50 °N. A detailed analysis of horizontal sections of a 3D P-velocity model of the mantle up to a depth of 850 km with a step of 50 km has been carried out. The change in the spatial distribution of the zero seismic velocity boundary is analyzed throughout the depths. This boundary separates the high-velocity upper mantle of the East European Platform and the low-velocity upper mantle of the West European Platform. At the depths of the transition zone of the upper mantle, this boundary separates the low-velocity upper mantle of the East European platform and the high-velocity upper mantle of the West European platform (in this geosphere, a velocity inversion has occurred with respect to the upper mantle).

In latitudinal sections, two inclined layers are distinguished. One of them is associated with the upper mantle under the DDV and reaches the mantle under the Carpathians, where it begins to plunge into the high-velocity transition zone of the upper mantle. The second layer is associated with the mantle under the northwestern end of the Baltic syncline, which extends to the mantle under the Presudet monocline, where it also plunges into the high-velocity transition zone of the upper mantle. In longitudinal sections, inclined layers are distinguished, extending from the mantle under the South Scandinavian megablock of the Baltic Shield to the mantle under the Bohemian massif and the Carpathians, where they plunge into the high-velocity transition zone of the upper mantle.

In the study area, three super-deep fluids were identified, characterized by increased stratification of the medium (alternation of higher and lower velocities). The first includes the well-known oil and gas fields of the Central European oil and gas basin (Pomorje and Presudet monocline (Poland)). The second is associated with oil and gas fields of the North Ciscarpathian oil and gas basin (southeastern Poland) and the Carpathian oil and gas basin (Western Ukraine). The extracted super-deep fluid in the mantle of the Baltic Sea corresponds to both the Gdansk Gulf of the Baltic Sea and the Kaliningrad fields (southeast of the Baltic Sea).

Key words: seismic tomography, mantle, East European platform, West European platform, super-deep fluids, oil and gas fields.

References

- Chekunov, A. V. (1993). *Geophysical research of the lithosphere: Collection of scientific works*. Kiev: Naukova Dumka, 155 p. (in Russian).
- Geyko, V. S. (1997). Taylor approximation of the wave equation and the eikonal equation in inverse seismic problems. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 19(3), 48—68 (in Russian).
- Geyko, V. S., Tsvetkova, T. A., Shumlyanskaya, L. A., Bugaenko, I. V., & Zaets, L. N. (2005). Regional 3-D P-velocity model of the Sarmatian

- mantle (south-west of the East European platform). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 27(6), 27—39 (in Russian).
- Gufeld, I. L. (2007). *Seismic process. Physico-chemical aspects. Scientific publication*. Korolev: TSNIIMash, 160 p. (in Russian).
- Letnikov, F. A. (1999). *Fluid facies of the continental medium and problems of ore formation. Smirnovsky collection* (pp. 63—95). Moscow: Publ. house of Moscow State University (in Russian).
- Lukin, A. E., & Shestopalov, V. M. (2018). From new geological paradigm to the problems of regional geological-geophysical survey. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 40(4), 3—72. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i4.2018.140610> (in Russian).
- Pavlenkova, N. I. (2001). The structure of the earth's crust and upper mantle and the mechanism of motion of deep matter. *Vestnik OGGGGN RAN*, (4), 1—18 (in Russian).
- Pushcharovskiy, Yu. M., & Pushcharovskiy, D. Yu. (2010). *Geology of the Earth's mantle*. Moscow: Geos, 138 p. (in Russian).
- Rodkin, M. M., Rundkvist, D. V. (2017). *Geofluidynamics. Appendix to seismologists, tectonics, processes of ore and oil and gas*. Dolgoprudny: Intellect Publishing House, 288 p. (in Russian).
- Guterh, A., Prosen, D., & Sollogub, V. B. (Eds.). (1978). *Structure of the Crust and Upper Mantle of the Central and Eastern Europe*. Kiev: Naukova Dumka, 271 p. (in Russian).
- Khain, V. E. (2001). *Tectonics of continents and oceans*. Moscow: Nauchnyy Mir, 604 p. (in Russian).
- Khain, V. E., & Lomize, M. G. (2005). *Geotectonics and fundamentals of Geodynamics*. Moscow: Publ. house of Moscow State University 480 p. (in Russian).
- Tsvetkova, T. A., & Bugaenko, I. V. (2012). Seismotomography of the mantle under the East European platform: mantle velocity boundaries. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 34(5), 161—172. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v34i5.2012.116672> (in Russian).
- Shestopalov, V. M., Lukin, A. E., Zgonnik, V. A., Makarenko, A. N., Larin, N. V., & Boguslavskiy, A. S. (2018). *Essays on Earth degassing*. Kiev: Publ. of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine; Radioenvironmental Center, 632 p. (in Russian).
- Yanovskaya, T. B., & Koroleva, T. Y. (2012). The velocity structure of the upper mantle in the transition zone from the East European platform to Western Europe from seismic noise data. *Fizika Zemli*, (7-8), 3—9 (in Russian).
- Geyko, V. S. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 1. С. 3—32.
- Grad, M., Tiira, T., & ESC Working group (2009). The Moho depth map of the European Plate. *Geophysical Journal International*, 176(1), 279—282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03919.x>.
- Janik, T., Starostenko, V., Aleksandrowski, P., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Murovska-ya, A., Zajats, K., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Wójcik, D., Mechie, J., Głuszyński, A., Omelchenko, V., Legostaeva, O., Tolkunov, A., Amashukeli, T., Gryn, D., Chulkov, S. Сейсмический эксперимент TTZ-South. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. № 3. С. 3—15. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204698>.

Швидкісна будова мантії в суміжній зоні Східноєвропейської та Західноєвропейської платформ

Т. А. Цветкова, И. В. Бугаєнко, Л. Н. Заєц, 2021

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

Стаття присвячена вивченню швидкісної будови мантії в суміжній зоні Східноєвропейської та Західноєвропейської платформ, кора яких розділена зоною Тейсейра—Торнквіста. Досліджено мантію під територіями Польщі та Західної України. Використано тривимірну *P*-швидкісну модель мантії, яку побудовано за методом тейлорового наближення, розробленим В. С. Гейком. Переваги методу полягають в незалежності від початкового наближення (референтної моделі) і найліпшому наближенню до нелінійності. В указаній вище зоні глибина дослідження становить 2500 км південніше 50° пн.ш. і 1700 км на північ від 50° пн.ш. Проведено детальний аналіз горизонтальних перетинів тривимірної *P*-швидкісної моделі мантії до глибини 850 км з кроком 50 км. Проаналізовано зміну просторового розподілу нульової сейсмічної швидкісної межі за глибиною. Ця межа розділяє високошвидкісну верхню мантію Східноєвропейської платформи і низькошвидкісну верхню мантію Західноєвропейської. На глибинах перехідної зони верхньої мантії межа розділяє низькошвидкісну верхню мантію Східноєвропейської платформи і високошвидкісну верхню мантію Західноєвропейської (у цій геосфері відбулася інверсія швидкостей відносно верхньої мантії).

У широтних перетинах виділено два похилі шари. Один з них пов'язаний з верхньою мантією під Дніпровсько-Донецькою западиною і доходить до мантії під Карпатами, де починає занурюватися у низькошвидкісну перехідну зону верхньої мантії. Другий шар тягнеться до мантії під північно-західним закінченням Балтійської синеклизи і поширюється до мантії під Передсудетською монокліналю, де також занурюється у низькошвидкісну перехідну зону верхньої мантії. У довготних перетинах виділено похилі шари, що поширюються від мантії під Південноскандинавським мегаблоком Балтійського щита до мантії під Богемським масивом і Карпатами, де занурюються у низькошвидкісну перехідну зону верхньої мантії.

У дослідженій зоні виділено три надглибинні флюїди, які характеризуються підвищеним розшаруванням середовища (чергуванням підвищених і понижених швидкостей). До першого належать відомі нафтогазоносні родовища Середньоєвропейського нафтогазового басейну (Помор'я і Передсудетська монокліналь (Польща)), з другим пов'язані нафтогазоносні родовища Північнопередкарпатського нафтогазового басейну (південно-східна Польща) та Карпатського нафтогазового басейну (Західна Україна). Виділений надглибинний флюїд у мантії Балтійського моря відповідає родовищам Гданської затоки Балтійського моря та Калінінградським родовищам (південний схід Балтійського моря).

Ключові слова: сейсмічна томографія, мантія, Східноєвропейська платформа, Західноєвропейська платформа, надглибинні флюїди, нафтогазоносні родовища.