

Сейсмічна томографія мантії та родовища первинного водню на території Дніпровсько-Донецької западини

Т.О. Цветкова, І.В. Бугаєнко, Л.М. Заєць, 2022

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

Надійшла 1 лютого 2022 р.

Згідно з отриманою методом тейлорового наближення тривимірної P -швидкісної моделі мантії під Євразією, проведено аналіз швидкісної будови мантії (до глибини 2500 км на південь від 50° пн. ш. і до 1700 км на північ) на території Дніпровсько-Донецької западини з метою визначення можливих областей виходу первинного водню. Первинний водень формується в ядрі та нижній мантії, може переноситися на поверхню (за І.Л. Гуфельдом). За даними сейсмотомографії на території України виділяється дев'ять надглибинних мантійних флюїдів, траси яких визначаються як субвертикальні колонки чергування високошвидкісних і низькошвидкісних аномалій. На території Дніпровсько-Донецької западини виділено три надглибинні мантійні флюїди. Крім наявності надглибинних мантійних флюїдів на досліджуваній території проаналізовано такі характеристики: глибина залягання головної геодинамічної границі, вплив високошвидкісної перехідної зони верхньої мантії (поширюється в північному напрямку в низькошвидкісну перехідну зону верхньої мантії Східноєвропейської платформи), глибина границі Мохо, гравітаційні мантійні аномалії та тепловий потік. За сукупністю проведених досліджень зроблено висновок, що за даними сейсмічної томографії перспективними областями для виявлення первинного водню на території Дніпровсько-Донецької западини є Ізюмський сегмент та східна частина Лохвицького сегмента Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: тривимірна P -швидкісна модель, мантія, первинний водень, Дніпровсько-Донецька западина, надглибинні мантійні флюїди.

Вступ. Згідно зі статтею [Шестопапов, 2020], утворення геологічного (абіогенного) водню пов'язують з двома групами гіпотез: формування вторинного водню в земній корі та верхній мантії в результаті його виділення з води та деяких мінералів; вихід первинного водню з ядра та нижньої мантії, накопиченого в надрах при акреції планети. Нас цікавить первинний водень. Дегазація ядра воднем і вуглеводнем, які в процесі підйому окиснюються до стану води й вуглекислоти, є причиною формування мантійних плюмів [Летников, 2001; Летников, Дорогокупец, 2001; Гуфельд, 2007; Добрецов, 2008; Пучков, 2009; Жатнуев, 2016] і надглибинних флюїдних процесів.

Гіпотеза мантійних плюмів (МП) отримала початок із праць [Wilson, 1963; Morgan, 1971]. Згодом вона набула розвитку як ідея гарячих полів [Зоненшайн, Кузьмин, 1983, 1992]. Всебічний аналіз проблеми МП наведено у працях [Добрецов, 2008; Пучков, 2009], в яких розглянуто ймовірну природу та механізми їх утворення. Згідно з Ф.А. Летниковим, сформувався уявлення про те, що в геологічній історії Землі від рідкого ядра планети неодноразово відокремлювалися потужні газові потоки, які згодом досягали верхніх горизонтів літосфери, зокрема і земної кори. Ці висхідні потоки флюїдів, у яких переважають гази та леткі компоненти широкого кола елементів, отримали

назву плюмів. З плюмом пов'язане поняття надглибинного високоенергетичного флюїду, що відокремлюється від земного ядра [Летников, 1999]. У швидкісних розрізах плюми виявляються як низькошвидкісні аномалії, що поширюються, ймовірно, від границі (межі) ядро—мантія до кори. Плюм, за уявленнями І. Л. Гуфельда [Гуфельд, 2007], — це локалізована зона інтенсивної водневої дегазації. Горизонтальне винесення водню уздовж границі Мохо та границь бар'єрного ефекту, а також уздовж похилих розривних структур може привести до активізації сейсмічного процесу в неочікуваних зонах і великих масштабах.

Поширення водню в мантії також пов'язується з надглибинними мантійними флюїдними процесами [Гуфельд, Новоселов, 2014]. На цей зв'язок вказує і Ф.А. Летников [Летников, 2001]. За Ф.А. Летниковим, флюїд — це переважно водне, водно-газове, парове або газове середовище, що складається з компонентів флюїду в поєднанні з петрогенними, рудними та іншими елементами. Концентрація водню та гелію у флюїді збільшується з глибиною.

Водень і гелій є найактивнішими в реальній дифузії, що впливає на варіації параметрів середовища. Верхні шари стають на певний період бар'єром (бар'єрний ефект), що обмежує процес дегазації через тверду фазу у вищій горизонті. Це приводить до накопичення легких газів у різних горизонтах середовища починаючи від границі Мохо і вище, а також до формування сейсмічних границь (меж), зокрема і похилих і розшарування середовища через вплив легких газів на структуру та пружні параметри [Гуфельд, 2007]. Природно, що накопичення легких газів в окремих горизонтах не може бути довговічним. За рахунок градієнта тиску розчинених у твердій структурі легких газів і при постійному підкачуванні газів з глибини можливий їх швидкий перехід у горизонті, що залягають вище, тобто реалізується естафетний механізм перенесення енергії знизу нагору. Цими процесами можна пояснити появу сейсмічних границь, чергування зон із підвищеними та зниженими значеннями швидкостей поширення поздовж-

ніх хвиль у широкому діапазоні глибин [Гуфельд, 2007].

Щільність висхідного потоку легких газів не однакова в різних зонах і змінюється у часі. На швидкість висхідного потоку впливають місячні припливи, пружні хвилі віддаленої сейсмічності, геологічні особливості середовища, блокові, міжблокові або розривні структури різного рангу. Будь-яка локалізована за глибиною зона при взаємодії з висхідним потоком легких газів зазнає періодичних варіацій об'єму: розтягування—тиск—розтягування. При цьому стік легких газів (взагалі всіх атомів проникнення) відбуватиметься каналом тверда фаза—флюїд—тверда фаза—флюїд і т. д. За рахунок модуляції висхідних потоків легких газів та бар'єрного ефекту за глибиною встановлюється динамічне чергування зон стиснення та розтягування.

В умовах нерівноважного стану середовища при проходженні через нього активних потоків водню (гелію в істотно меншій кількості) та одночасної дії майже граничних напружень можна говорити про синергетичний характер поведінки системи. Тут відображається той факт, що за спільної дії будь-яких чинників на фізичну систему (у нашому випадку — геологічне середовище) її відгук може багаторазово зростати, тобто отримуємо систему, параметри якої суттєво відрізняються від тих, які припускали та припускаємо.

Наслідком розглянутих побудов [Гуфельд, 2007] є вияв водню у структурах, пов'язаних з плюмами та надглибинними флюїдами. У свою чергу, вирішення проблем формування родовищ корисних копалин пов'язане з питаннями будови земної кори та мантії. Процеси, що відбуваються в останній, зумовлюють утворення кори, рух її окремих ділянок і блоків, виникнення розплавлених магм, магматизму, виникнення та розвиток глибинних розломів, високопроникних зон, які є джерелами водню.

Результати сейсмотомографії. Для виявлення особливостей глибинної будови мантії на сучасному етапі найінформативнішою залишається сейсмічна томографія. У цій статті використовується тривимірна

R-швидкісна томографічна модель мантиї під Євразією, отримана згідно з методом тейлорового наближення [Geuko, 2004]. Як вхідні дані використано дані бюлетенів ISC за 1964—2006 рр. Розв'язок наведено у вигляді широтних і довготних (через 1°) і горизонтальних (з кроком 25 км) перетинів. Швидкісну будову мантиї під Дніпровсько-Донецькою западиною (ДДЗ) розглянуто у статтях [Цветкова и др., 2020 а, б].

На рис. 1 показано тектонічну карту ДДЗ та області виділених трас надглибинних флюїдів, згідно з працями [Цветкова и др., 2017, 2020 б]. При визначенні можливих родовищ мантийного водню необхідно звернути увагу насамперед на тектонічно активізовану мантию примежевої області та на поведінку головної геодинамічної границі регіону, що розглядається (рис. 2, 3). Максимальне поширення перехідної зони верхньої мантиї з півдня (мантия під Чорним морем) досягає мантиї під ДДЗ.

Глибина залягання головної геодинамічної границі (див. рис. 3) показує, що надглибинним флюїдам у межах розглянутого регіону відповідають глибини 575 км (f4) і 625 км (f3), які характеризують, згідно зі статтею [Добрецов, 2008], області з відповідною плюмовою тектонікою.

Звідси випливає, що розгляду підлягають Лохвицький, Ізюмський та Донбаський сегменти ДДЗ. У статті [Цветкова и др., 2017] показано, що у межах виділених сегментів мантия включає прояви надглибинних флюїдів

— f3, f4 і f12 (див. рис. 3) з такими швидкісними характеристиками (рис. 4, 5):

1) f3 (49° пн. ш. (див. рис. 5)): виділяється високошвидкісна верхня мантия до глибини 300 км; у низькошвидкісній перехідній зоні верхньої мантиї до глибини 675 км виділяється високошвидкісна лінза на глибині 500—550 км, у низькошвидкісній середній мантиї — високошвидкісна зона поділу-1 (швидкісна нев'язка понад 0,05 км/с) і високошвидкісна аномалія (швидкісна нев'язка до 0,025 км/с) на глибині 1700—1775 км;

2) f4 (50° пн. ш. (див. рис. 5)): у високошвидкісній верхній мантиї до 300 км виділяється більш високошвидкісна область на глибині 50—100 км (швидкісна нев'язка понад 0,175 км/с); низькошвидкісна до 580 км перехідна зона верхньої мантиї характеризується двома аномаліями з максимумами нев'язки швидкості до $-0,075$ км/с на глибині 400 км і $-0,2$ км/с на глибині 500 км; високошвидкісна до 1200 км зона поділу-1 містить аномалію із значенням нев'язки швидкості до 0,075 км/с на глибині 600—700 км; також виділяється аномалія у високошвидкісній зоні поділу-2 на глибині 1850—1975 км;

3) f12 (48° пн. ш. (див. рис. 5)): у високошвидкісній верхній мантиї до глибини 380 км виділяється менш високошвидкісна аномалія (менше 0,025 км/с) на глибині 125—225 км; перехідна зона є низькошвидкісною до глибини 700 км із високошвидкісною лінзою на глибині 450—560 км. У низькошвидкісній середній мантиї виділяються дві більш низько-

Рис. 1. Положення ДДЗ у структурі докембрійського фундаменту Сарматії, за [Карта ..., 1992], → та її сегментація, за [Тектоника ..., 2015; Старостенко и др., 2017], з винесеними мантийними плюмами та надглибинними флюїдами [Цветкова и др., 2017]: 1 — межа ДДЗ; 2 — міжсегментні розломи западини (П-Пр — Переяслав-Хмельницько-Прилуцький, В-Лг — Верховцевсько-Льговський); 3 — розломи (а — міжгеоблокові, б — міжмегаблокові, в — міжблокові); 4 — шовні зони першого (а) і другого (б) рангу; 5 — трансрегіональні тектонічні шви (Х-См — Херсон—Смоленськ; Д-Бр — Донецьк—Брянськ); 6, 7 — кінематичні типи розломів (6 — насуви, 7 — зсуви); 8 — ізолінії глибини залягання поділу Мохо (км); 9 — державний кордон. Літери у кружках — головні сегменти в межах ДДЗ: Чн — Чернігівський, Лх — Лохвицький, Из — Ізюмський, Дб — Донбас. Літери у подвійних кружках — сегменти Східноєвропейського кратону: А — Фенноскандія, Б — Сарматія, В — Волго-Уралія. Вулканічні міжсегментні пояси: ОМВП — Осницько-Мікашевичський, СЭВП — Ставропольсько-Єртільський. Шовні зони: ИКК — Інгuleцько-Криворізько-Крупецька I рангу; АВ — Олексіївсько-Вороньцька; ОП — Оріхово-Павлоградська II рангу. Розломи: Я-Тр — Ядловсько-Трактемірський, К-Кр — Криворізько-Кременчуцько-Крупецький. УЩ — Український щит, ВМ — Воронезький кристалічний масив, ПДДА — Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецький авлакоген. На вставці показані сегменти Східноєвропейського кратону і територія досліджень (оконтурена червоною рамкою).

швидкісні аномалії (більше $-0,025$ км/с) на глибині 1175—1290 і 1500—1880 км, у високошвидкісній зоні поділу-2 — високошвидкісна аномалія на глибині 2030—2240 км.

Розглянута область належить до Північноазовського та Волино-Оршанського мантийних доменів. Область розтікання головок плумів показано на рис. 6. Однак для

області, що нас цікавить, важлива глибина залягання кори цього регіону. На рис. 1 показано, що глибина залягання границі Мохо під східною частиною Лохвицького сегмента та під Ізюмським сегментом визначена, як 34—35 км, на фоні глибини в середньому 40 км. Це дає змогу припустити для вказаної області наявність енергетично по-

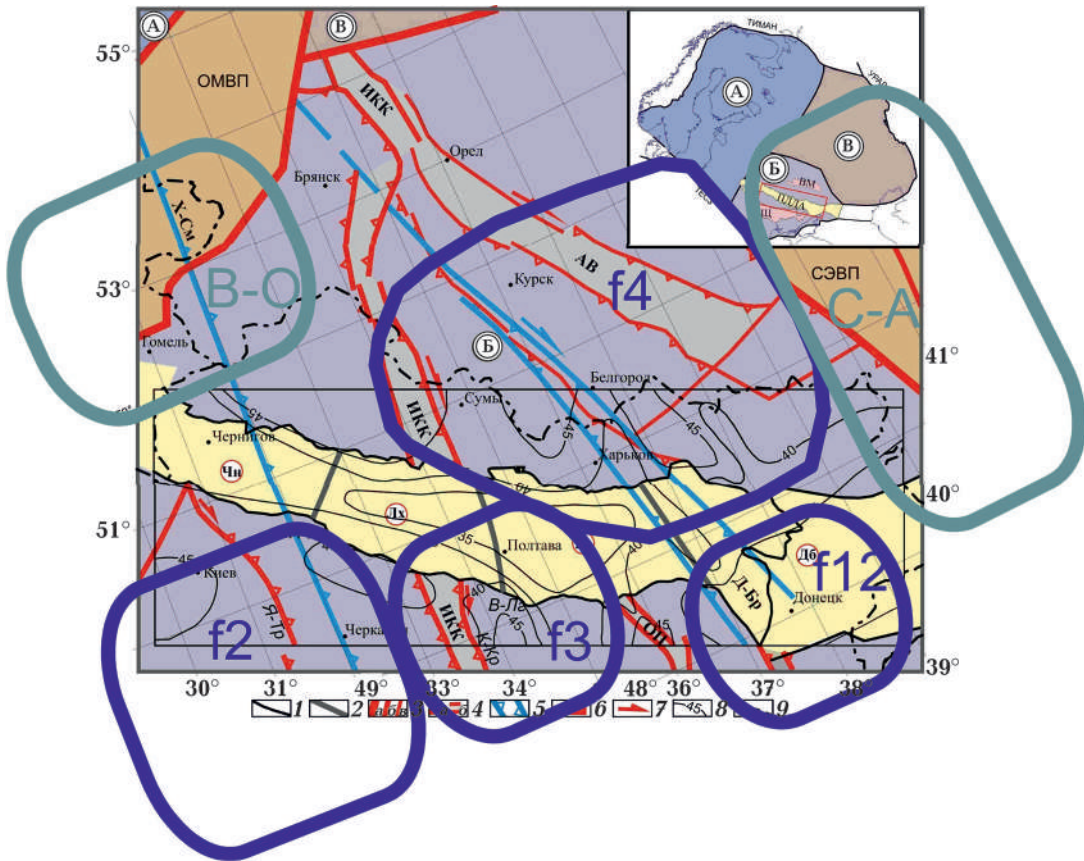


Fig. 1. The position of the DDV in the structure of the Precambrian basement of Sarmatia according to [Galetskiy, 1992] and its segmentation according to [Starostenko, Rusakov, 2015; Starostenko et al., 2017] with carried mantle plumes and superdeep fluids [Tsvetkova et al., 2017]: 1 — the border of the Dnieper-Donetsk depression; 2 — intersegmental faults of the depression (П-Пр — Pereyaslav-Khmel'nitsky-Priluksky, В-Лг — Verkhovtsevsko-Lgovsky); 3 — faults (*a* — intereoblock, *b* — intermegablock, *b* — interblock); 4 — suture zones of the first (*a*) and second (*b*) rank; 5 — transregional tectonic seams (Х-См — Kherson—Smolensk, Д-Бр — Donetsk—Bryansk); 6, 7 — kinematic types of faults (6 — thrust faults, 7 — strike-slip faults); 8 — isolines of the depth of the Moho section (km); 9 — state border. Letters in circles — the main segments within the DDD: Чн — Chernigovsky, Лх — Lohvitsky, Із — Izyumsky, Дб — Donbass. Letters in double circles — segments of the East European craton: А — Fennoscandia, Б — Sarmatia, В — Volga-Uralia. Volcanic inter-segment belts: ОМВП — Osnitsko-Mikashevichsky; СЭВП — Stavropol-Ertil'sky. Suture zones: ИКК — Inguletsko-Kryvyi Rih-Krupetskaya 1st rank; АВ — Oleksiyivsko-Voronetska; ОП — Orikhovo-Pavlogradska 2nd rank. Faults of the Ukrainian Shield: Я-Тр — Yadvolsko-Traktemirovsky; К-Кр — Kryvyi Rih-Kremenchug-Krupetsky. УЩ — Ukrainian Shield, ВМ — Voronezh massif, ПДДА — Pripyat-Dnieper-Donetsk aulacogen. The inset shows the segments of the East European craton and the study area (outlined with a red frame).

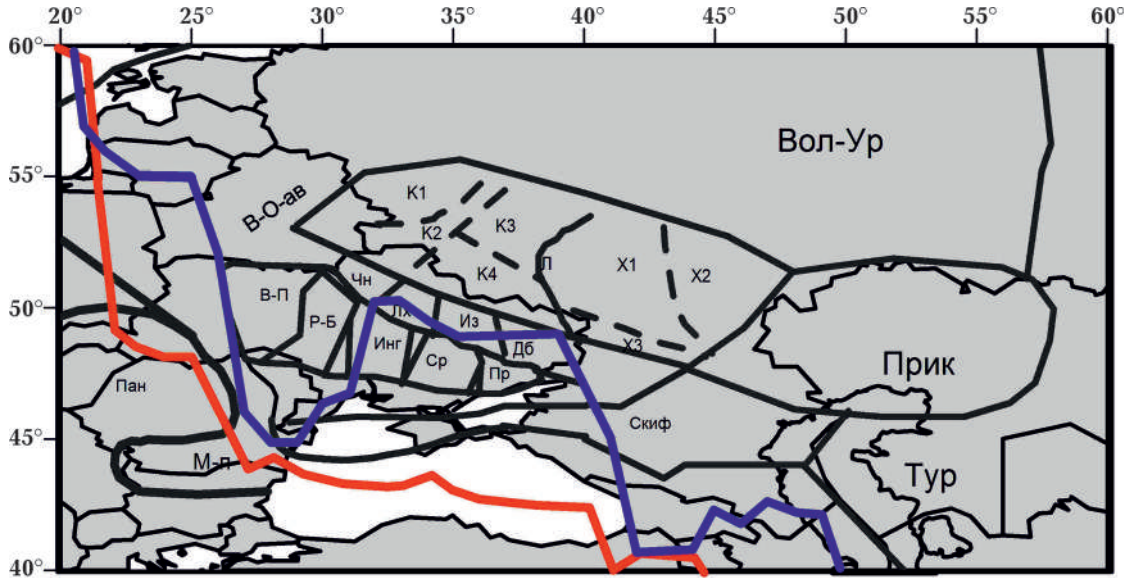


Рис. 2. Межі поширення перехідної зони верхньої мантії: синім — максимального північно-східного поширення високошвидкісної перехідної зони верхньої мантії південно-західного оточення СЕП, червоним — максимального південно-західного поширення низькошвидкісної перехідної зони верхньої мантії СЕП. Умовні позначення: В-П — Волино-Подільський мегаблок Українського щита, В-О-ав — Волино-Оршанський авлакоген, Вол-Ур — Волго-Уралія, Дб — Донбаський сегмент ДДЗ, Из — Ізюмський сегмент ДДЗ, Инг — Інгільський мегаблок Українського щита, к1 — Красногорсько-Рославльський блок Курського мегаблока Воронежського кристалічного масиву, к2 — Брянський блок, к3 — Лівенсько-Єфременський блок, к4 — Курсько-Білгородський блок, Л — Лосівська шовна зона, Лх — Лохвицький сегмент ДДЗ, М-п — Мізійська плита, Пан — Паннонська западина, Пр — Приазовський мегаблок Українського щита, Р-Б — Росинсько-Бузький мегаблок Українського щита, Скиф — Скіфська плита, Ср — Середньопридніпровський мегаблок Українського щита, Тур — Туранська плита, Чн — Чернігівський сегмент ДДЗ, х1 — Калач-Єртільський вулканічний пояс Хоперського мегаблока Воронежського кристалічного масиву, х2 — Камішинський блок Хоперського мегаблока Воронежського кристалічного масиву, х3 — Варваринський блок Хоперського мегаблока Воронежського кристалічного масиву.

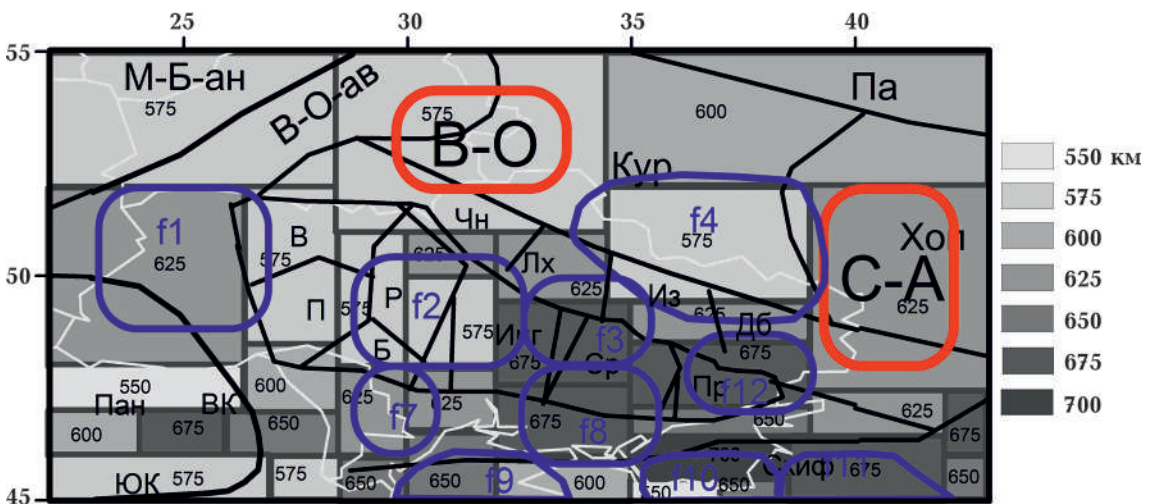


Рис. 3. Глибина залягання головної геодинамічної границі. Червоним виділено плюми (В-О — Волино-Оршанський, С-А — Північноазовський), синім — надглибинні мантіїні флюїди.

Fig. 3. Depth of the main geodynamic boundary. Plumes are highlighted in red (B-O — Volyn-Orsha, C-A — North-Azov), blue — superdeep mantle fluids.

← Fig. 2. The boundaries of the distribution of the transition zone of the upper mantle: blue color is the border of the maximum northeastern distribution of the high-speed transition zone of the upper mantle in the southwestern environment of the EEP, red color is the border of the maximum southwestern distribution of the low-speed transition zone of the upper mantle of the EEP. Symbols: В-П — Volyno-Podolsk megablock of the Ukrainian Shield, В-О-ав — Volyno-Orsha aulacogen, Вол-Ур — Volgo-Uralia, Дб — Donbass segment of DDD, Из — Izyum segment of DDD, Инг — Ingul megablock of the Ukrainian Shield, κ1 — Krasnogorsk-Roslavl block of the Kursk megablock of the Voronezh crystalline massif, κ2 — Bryansk block, κ3 — Livensko-Efremensky block, κ4 — Kursk-Belgorod block, Λ — Losev suture zone, Лх — Lohvitsky segment of the DDD, М-п — Mizian plate, Пан — Pannonian depression, Пр — Azov megablock of the Ukrainian Shield, Р-Б — Rosinsko-Bug megablock of the Ukrainian Shield, Скиф — Scythian plate, Ср — Middle Dnieper megablock of the Ukrainian Shield, Тур — Turan plate, Чн — Chernigov segment of DDD, x1 — Kalach-Ertila volcanic belt of the Khopersky megablock of the Voronezh crystalline massif, x2 — Kamyshinsky block of the Khopersky megablock of the Voronezh crystalline massif, x3 — Varvara block of the Khopersky megablock of the Voronezh crystalline massif.

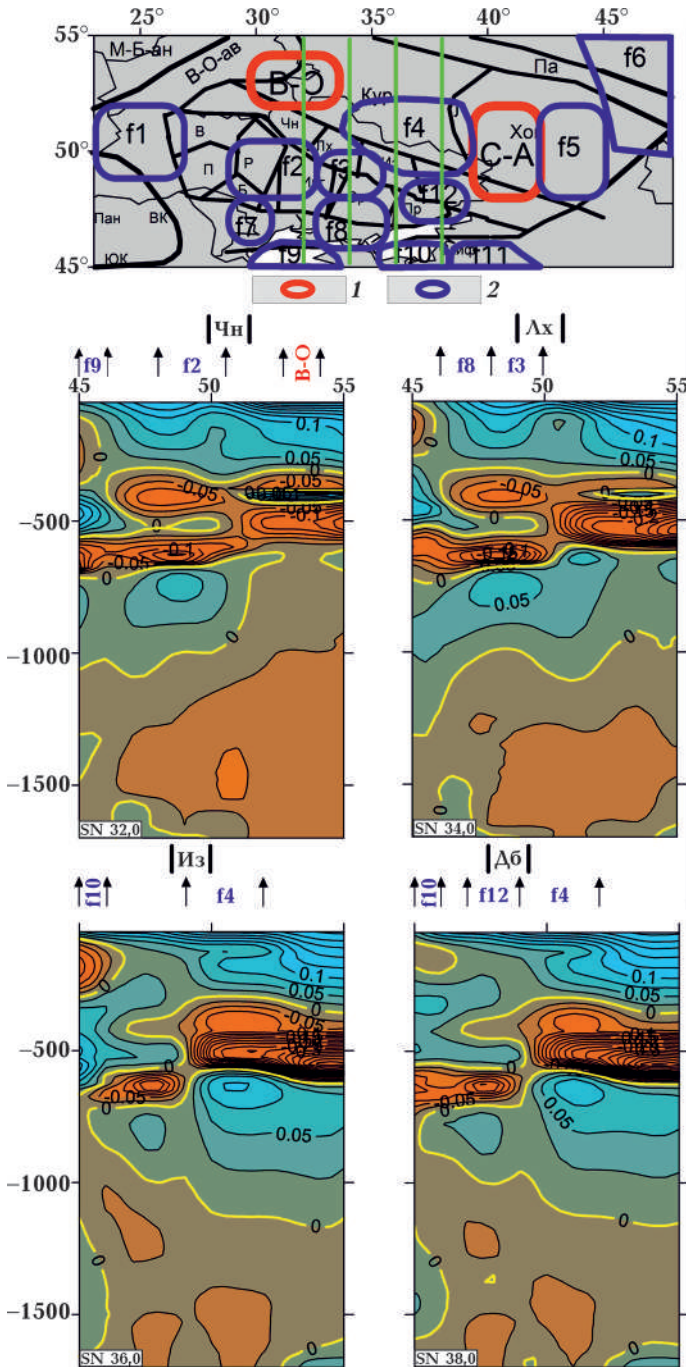


Рис. 4. Довготні вертикальні перетини тривимірної P -швидкісної моделі верхньої мантії 32, 34, 36 і 38° сх.д. до глибини 1700 км, що проходять через Чернігівський (Чн), Лохвицький (Лх), Ізюмський (Из) і Донбаський (Дб) сегменти ДДЗ. Червоним виділено плюми (В-О — Волино-Оршанський, С-А — Північноазовський), синім — надглибинні мантіїні флюїди.

Fig. 4. Longitudinal vertical sections of the 3D P -velocity model of the upper mantle at 32, 34, 36 and 38° E to a depth of 1700 km, which pass through: Chernigov (Чн), Lohvitsky (Лх), Izyumsky (Из) and Donbass (Дб) segments of the DDD. Plumes are highlighted in red (В-О — Volyn-Orsha, С-А — North-Azov), blue — superdeep mantle fluids.

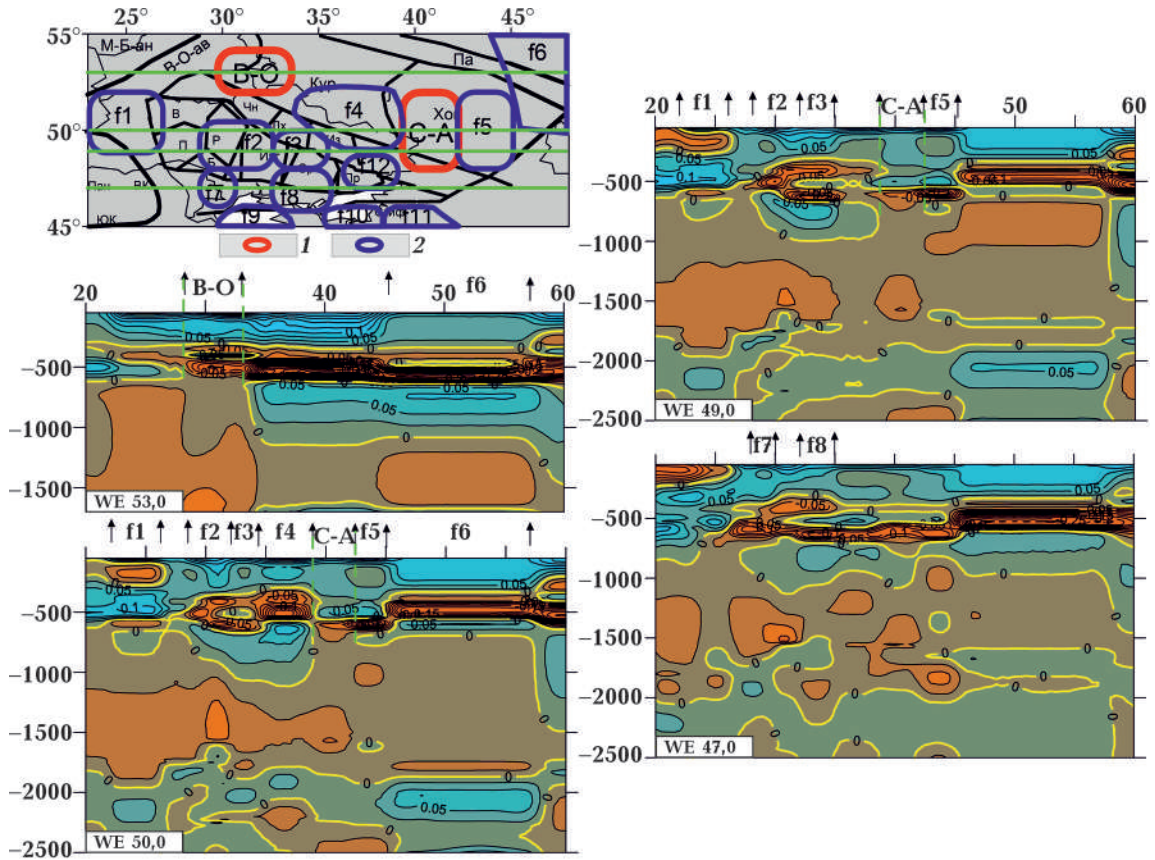
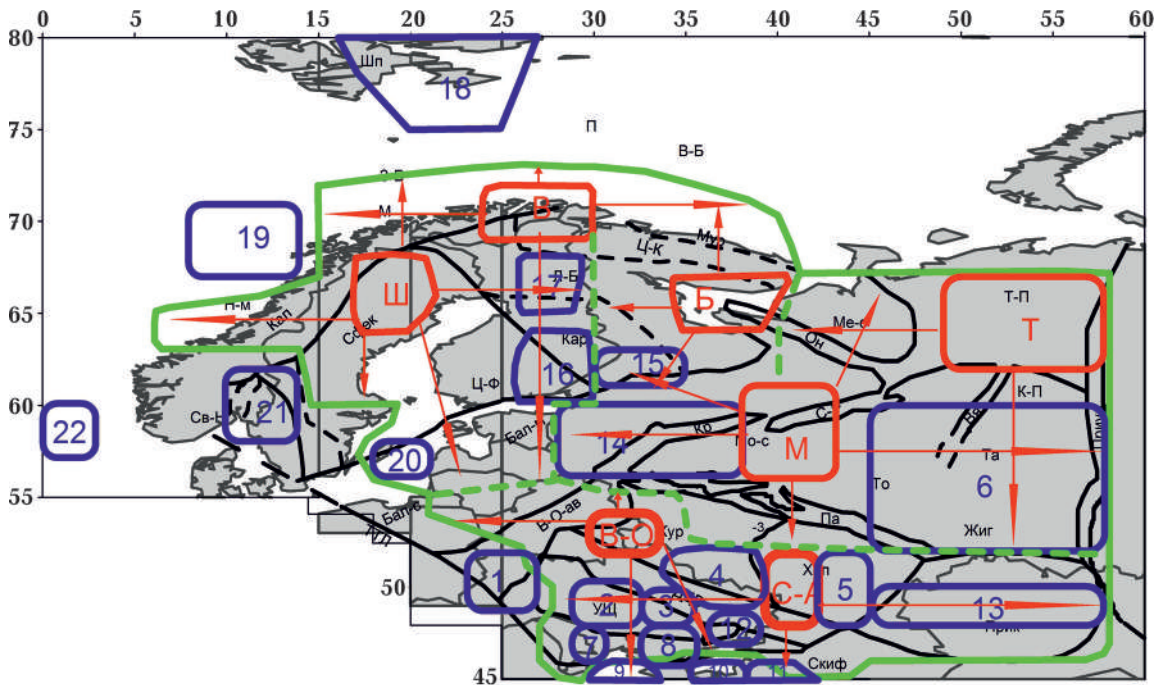


Рис. 5. Широтні вертикальні перетини тривимірної P -швидкісної моделі верхньої мантії 47° , 49° , 50° пн. ш. до глибини 2500 км і 53° пн. ш. до глибини 1700 км. Червоним виділено плюми (В-О — Волино-Оршанський, С-А — Північноазовський), синім — надглибинні мантіїні флюїди.

Fig. 5. Latitudinal vertical sections of the 3D P -velocity model of the upper mantle 47° , 49° , 50° N to a depth of 2500 km and 53° N to a depth of 1700 km. Plumes are highlighted in red (B-O — Volyn-Orsha, C-A — North-Azov), blue — superdeep mantle fluids.



тужніших структур, що зумовлено проходженням трас надглибинних флюїдів.

Відомо, що плюмовим і надглибинним флюїдним процесам, крім слідів проходження надглибинних флюїдів, мають відповідати підвищений тепловий потік і підвищена гравітаційна аномалія [Богатиков и др., 2010]. Складність цих зв'язків у загальному випадку визначається нелінійністю та глибинністю досліджуваних процесів. Зазвичай для зазначених полів побудовані карти на рівні земної поверхні (теплове поле) або на рівні моря (аномалії Буге і Фая). На карті теплового потоку на рівні земної поверхні [Geothermal ..., 1981] і на карті гравітаційних мантийних аномалій [Кабан, 2001] зазначені вище вимоги виконані. Більш детально питання терміки та гравіметрії цього регіону розглянуто у праці [Тектоника..., 2015].

Наслідком цього розгляду є виділення як області можливих родовищ первинного водню Ізюмського та східної частини Лохвицького сегментів ДДЗ (див. рис. 1).

Висновки. Тривимірна *P*-швидкісна модель мантиї під Євразією дала змогу розглянути модель швидкісної будови мантиї під територією України та суміжними територіями. Наслідком цього стало виділення областей вияву трас надглибинних флюїдів, які характеризуються як субвертикальні області чергування підвищених і знижених

←

Рис. 6. Мантийні домени СЕП (плюми та області їх розтікання). Безперервна зелена крива обмежує області мантийних доменів СЕП, зелена штрихова лінія обмежує розтікання виділених плюмів, червона — плюми (Б — Біломорський, В — Варангер, В-О — Волино-Оршанський, М — Московський, С-А — Північноазовський, Т — Тиманський, Ш — Шеллефтео), червоні стрілки — напрямки розтікання плюмів, сині — надглибинні мантийні флюїди.

Fig. 6. Mantle domains of the EEP (plumes and areas of their spreading). The continuous green curve limits the areas of the mantle domains of the EEP, the green dashed line limits the spreading of the selected plumes, the red line limits the spreading of the selected plumes, the red one — plumes (Б — Belomorsky, В — Varanger, В-О — Volyn-Orsha, М — Moscow, С-А — North-Azov, Т — Timansky, Ш — Schellefteo), red arrows — directions of spreading of plumes, blue — superdeep mantle fluids.

швидкостей. Надглибинним флюїдам властиві (як і плюмам) підвищені тепловий потік і гравітаційне поле. Як можливі області вияву первинного водню в мантиї під ДДЗ виділено Ізюмський сегмент і східну частину Лохвицького сегмента.

Список літератури

- Богатиков О.А., Коваленко В.И., Шарков Е.В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. Москва: Наука, 2010. 607 с.
- Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. Научное издание. Королев: ЦНИИМаш, 2007. 160 с.
- Гуфельд И.Л., Новоселов О.Н. Сейсмический процесс в зоне субдукции. Мониторинг фонового режима. Москва: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 100 с.
- Добрецов Н.Л. Геологические следствия термохимической модели плюмов. *Геология и геофизика*. 2008. Т. 49. № 7. С. 587—604.
- Жатнуев Н.С. Трансмантийные (интрателлурические) флюиды: новая модель плюмов и плюмового магматизма. *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. № 8. С. 1445—1454.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитовый магматизм и его значение для понижения процессов в мантии Земли. *Геотектоника*. 1983. № 1. С. 28—45.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. Москва: Наука, 1992. 192 с.
- Кабан М.К. Гравитационная модель коры и верхней мантии Северной Евразии Мантийные и изостатические аномалии силы тяжести. *Российский журнал наук о Земле*. 2001. Т. 3. № 2.
- Карта структурного районирования докембрия юго-западной части Восточно-Европейской платформы. 1 : 1 000 000. Ред. Л.С. Галецкий. Комплект карт «Геология и метал-

- логения юго-западной части Восточно-Европейской платформы». 1 : 1 000 000. Киев, 1992. 6 л.
- Летников Ф.А. К проблеме источника внутреннего тепла Земли. *Докл. РАН*. 2001. Т. 378. № 3. С. 387—389.
- Летников Ф.А. Флюидные фации континентальной среды и проблемы рудообразования. Смирновский сборник. Москва: Изд-во МГУ, 1999. С. 63—95.
- Летников Ф.А., Дорогокупец П.И. К вопросу о роли суперглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах. *Докл. РАН*. 2001. Т. 378. № 4. С. 535—537.
- Пучков В.Н. Великая дискуссия о плюмах: так кто же все-таки прав? *Геотектоника*. 2009. №1. С. 3—22.
- Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Макаренко И.Б., Куприенко П.Я., Савченко А.С. Геодинамическая интерпретация геолого-геофизической неоднородности литосферы Днепровско-Донецкой впадины. *Дол. НАН України*. 2017. № 9. С. 84—94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084>.
- Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины. Ред. В.И. Старостенко, О.М. Русаков. Киев: Галактика, 2015. 212 с.
- Шестопалов В.М. О геологическом водороде. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. №6. С. 3—35. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i6.2020.222278>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Сейсмическая визуализация плюмов и сверхглубинных флюидов в мантии под территорией Украины. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39. № 4. С. 42—54. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i4.2017.107506>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Скоростное строение под Днепровско-Донецкой впадиной и ее окружением. Ч. I. *Геофиз. журн.* 2020а. Т. 42. № 2. С. 71—85 <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i2.2020.201742>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Скоростное строение под Днепровско-Донецкой впадиной и ее окружением. Ч. II. *Геофиз. журн.* 2020б. Т. 42. № 3. С. 145—161. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204706>.
- Geyko, V.S. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 1. С. 3—32.
- Geothermal atlas of Europe. (1981). Potsdam: Hermann Haack Verlagsgesellschaft mbH Gotha.
- Morgan, W.J. (1971). Convective plumes in the lower mantle. *Nature*, 230, 42—43. <https://doi.org/10.1038/230042a0>.
- Wilson, J.T. (1963). A possible origin of Hawaiian islands. *Canadian Journal of Physics*, 41, 863—866. <https://doi.org/10.1139/p63-094>.

Seismic tomography of the mantle and primary hydrogen deposits in the Dnieper-Donetsk basin

T. O. Tsvetkova, I. V. Bugaenko, L. M. Zaets, 2022

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

According to the three-dimensional *P*-velocity model of the mantle under Eurasia obtained by the Taylor approximation method, the analysis of the velocity structure of the mantle (to depths of 2500 km south of 50° N and 1700 km north) in the territory of the Dnieper-Donetsk depression was carried out in order to determine the possible areas of primary hydrogen release. Primary hydrogen is formed in the core and lower mantle, can be transferred to the surface (according to I.L. Gufeld). According to seismotomography, nine superdeep mantle fluids are isolated on the territory of Ukraine, the routes of which are defined as subvertical columns of alternation of high-speed and low-speed anomalies. In addition to the presence of superdeep mantle fluids in the study area, the following characteristics were analyzed: the depth of the main geodynamic boundary, the influence of the high-velocity transition zone of the upper mantle (propagating northward into the low-velocity transition zone of the upper mantle of the East European platform), the depth of the Moho boundary, gravity mantle anomalies and heat flow. The totality of the studies performed allowed us to conclude that, according to seismic tomography data, the Izyumsky and the eastern part of the Lokhvitsky segment of the Dnieper-Donetsk depression are promising areas for detecting primary hydrogen in the territory of the Dnieper-Donetsk depression.

Key words: three-dimensional *P*-velocity model, mantle, primary hydrogen, Dnieper-Donets depression, superdeep mantle fluids.

References

- Bogatikov, O.A., Kovalenko, V.I., & Sharkov, E.V. (2010). *Magmatism, Tectonics, Geodynamics of the Earth*. Moscow: Nauka, 607 p. (in Russian).
- Gufeld, I.L. (2007). *Seismic process. Physico-chemical aspects. Scientific publication*. Korolev: TSNIIMash, 160 p. (in Russian).
- Gufeld, I.L., & Novoselov, O.N. (2014). *Seismic process in the subduction zone. Background monitoring*. Moscow: MGUL, 100 p. (in Russian).
- Dobretsov, N.L. (2008). Geological consequences of the thermochemical model of plumes. *Geology & Geophysics*, 49(7), 587—6004 (in Russian).
- Zhatnuev, N. S. (2016). Transmantle (intratelluric) fluid flows: a new model for plumes and plume magmatism. *Geology & Geophysics*, 57(8), 1445—1454 (in Russian).
- Zonenshayn, L.P., & Kuzmin, M.I. (1983). Intraplate magmatism and its significance for understanding the processes in the Earth's mantle. *Geotectonics*, (1), 28—45 (in Russian).
- Zonenshayn, L.P., & Kuzmin, M.I. (1992). *Paleogeodynamics*. Moscow: Nauka, 192 p. (in Russian).
- Kaban, M.K. (2001). Gravitational model of the crust and upper mantle of Northern Eurasia. Mantle and isostatic anomalies of gravity. *Russian Journal of Geosciences*, 3(2) (in Russian).
- Galetskiy, L.S. (Ed.). (1992). Precambrian structural zoning map of the southwestern part of the Eastern European platform. 1 : 1 000 000. Set of maps «Geology and metallogeny of the southwestern part of the Eastern European platform». 1 : 1 000 000. Kiev, 6 p. (in Russian).
- Letnikov, F.A. (2001). To the problem of the sour-

- ce of the Earth's internal heat. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 378(3), 387—389 (in Russian).
- Letnikov, F.A. (1999). *Fluid facies of the continental environment and ore formation problems. Smirnovsky collection* (pp. 63—95). Moscow: Publishing House of the Moscow State University (in Russian).
- Letnikov, F.A., & Dorogokupets, P.I. (2001). On the question of the role of superdeep fluid systems of the Earth's core in endogenous geological processes. *Reports of the Russian Academy of Sciences*, 378(4), 535—537 (in Russian).
- Puchkov, V.N. (2009). Great discussion about plums: so who is right after all? *Geotectonics*, (1), 3—22 (in Russian).
- Starostenko, V.I., Pashkevich, I.K., Makarenko, I.B., Kuprienko, P.Ya., & Savchenko, A.S. (2017). Geodynamical interpretation of the geological and geophysical heterogeneity of the Dnieper-Donets basin lithosphere. *Dopov. Nac. akad. Nauk Ukr.*, (9), 84—94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084> (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Rusakov, O.M. (Eds.). (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donets Basin*. Kiev: Galaktika, 212 p. (in Russian).
- Shestopalov, V.M. (2020). On geological hydrogen. *Geophysical Journal*, 42(6), 3—35. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i6.2020.222278>.
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2017). Seismic visualization of plumes and super-deep fluids in mantle under Ukraine. *Geophysical Journal*, 39(4), 42—54. <http://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i4.2017.107506> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2020a). Speed structure of the mantle under the Dnieper-Donets Depression and its surroundings. Pt. I. *Geophysical Journal*, 42(2), 71—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i2.2020.201742> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2020b). Speed structure of the mantle under the Dnieper-Donets Depression and its surroundings. Pt. II. *Geophysical Journal*, 42(3), 145—161. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204706> (in Russian).
- Geyko, V.S. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 1. С. 3—32.
- Geothermal atlas of Eroupe. (1981). Potsdam: Hermann Haack Verlagsgesellschaft mbH Gotha.
- Morgan, W.J. (1971). Convective plumes in the lower mantle. *Nature*, 230, 42—43. <https://doi.org/10.1038/230042a0>.
- Wilson, J.T. (1963). A possible origin of Hawaiian islands. *Canadian Journal of Physics*, 41, 863—866. <https://doi.org/10.1139/p63-094>.