

Тектоніка і глибинна будова південно-західної частини Східноєвропейського кратону в межах України. Ч. I.

*В.І. Старостенко, О.Б. Гінтов, Г.В. Муровська,
С.В. Мичак, Д.В. Лисинчук, 2024*

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 7 червня 2024 р.

Представлено першу частину статті, в якій коротко розглянуто історію геолого-геофізичного вивчення платформної частини території України, яка розміщується в межах південно-західної частини Східноєвропейського кратону і займає значну площу літосферної мініплити Сарматія. Головну увагу сконцентровано на дослідженнях XXI ст., які зробили вирішальний внесок у перегляд деяких питань щодо геодинамічних процесів та з'ясування тектоніки і глибинної будови досліджуваного регіону. Основним геофізичним методом є глибинне сейсмічне зондування (ГСЗ) земної кори і мантії в модифікації WARR (ширококутне відбиття/заломлення), яке виконувалось в Україні міжнародним колективом геофізиків і геологів на базі Інституту геофізики НАН України за участю спеціалістів України, Польщі, Швеції, Німеччини, Нідерландів, Данії, Шотландії, Фінляндії, Румунії та деяких інших країн. Глибинне сейсмічне зондування супроводжувалося побудовою густинних, геомагнітних, геотермічних, геоелектричних, тектонофізичних, сейсмотомографічних моделей кори і мантії, а також доповнювалося матеріалами геологічного знімання та визначення ізотопного віку гірських порід. Перша частина статті присвячена результатам вивчення земної кори Українського щита і Дніпровсько-Донецької западини. У розділі «Український щит» розглянуто його розломно-мегаблокову будову і показано, що мегаблоки різняться за багатьма геолого-геофізичними ознаками: віком, речовинного складу і типом магматизму, характером геофізичних полів, товщиною кори. За швидкісними характеристиками та структурою кора щита потужністю 38–45 км поділяється на три шари: верхній (5,8–6,3 км/с), середній (6,3–6,7 км/с), нижній (6,7–7,4 км/с). Середня потужність земної кори 40–45 км. Геотраверсами ГСЗ і профілями WARR виявлено лістричні зони розломів, які, виположуючись, занурюються в мантію або спостерігаються безпосередньо у мантії. Тектонофізичними дослідженнями встановлено субгоризонтальні рухи вздовж розломів, а також поля горизонтальних напружень, що охоплюють кору Українського щита. Ці дані дозволяють припустити, що починаючи з неогархею щит розвивався за механізмами плитово-плюмбової тектоніки. У розділі «Дніпровсько-Донецька западина» показано, що утворення рифт-синекалізи Дніпровсько-Донецької западини пов'язане головню з горизонтальними рухами літосфери: розтягом і стисненням та правосторонніми зсувами. Профілями WARR DOBRE-1999–2001 та Georift-13 остаточно встановлено, що під девонськими відкладами осьового рифту западини залягають основні—ультраосновні породи, а не рифейські осади, як передбачалося раніше. Профілем DOBRE-1999–2001 виявлено лістричні розломи, які обмежують Донецьку складчасту споруду. На думку авторів цієї статті, це допускає можливість субдукційних процесів, що обумовили її утворення. Зроблено висновок, що найбільш вірною може бути рифтогенно-геодинамічна гіпотеза утворення Дніпровсько-Донецької западини, з огляду на процес існування океану Палеотетис і об'єднання в карбоні—тріасі, шляхом субдукції—колізії, континентів Лаврусії та Гондвани.

У другій частині статті, яка вийде у наступному номері «Геофізичного журналу», читач ознайомиться з розділами «Волино-Подільська плита», «Геотермічна, густинна, магнітна та геоелектрична моделі», «Поверхня Мохо», «Мантія», «Висновки».

Ключові слова: Україна, Сарматія, Східноєвропейський кратон, тектоніка, земна кора, геофізика, геодинаміка.

Citation: *Starostenko, V.I., Gintov, O.B., Murovska, G.V., Mychak, S.V., & Lysynchuk, D.V. (2024). Tectonics and deep structure of the southwestern part of the East European Craton within Ukraine. P. I. Geofizychnyi Zhurnal, 46(4), 3–40. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i4.305802>.*

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Вступ. У статті, що складається з двох частин, розглядається будова земної кори та мантії південно-західної частини Східноєвропейського кратону (СЄК) у межах території України. Геологічне вивчення цієї території почалося у XVIII ст. і ділиться на декілька періодів, детально розглянутих у монографії [Михайлов, 2023]. За роки незалежності України площа досліджень покрита геологічним зніманням м-бу 1:200 000, а в рудних районах — м-бу 1:50 000 [Костенко, 2018]. Листи геологічних карт м-бу 1:200 000 супроводжуються тектонічними схемами м-бу 1:500 000, в основу яких з 2007 р. покладено зміст Тектонічної карти України м-бу 1:1000 000 [Тектонічна..., 2007a]. Слід зазначити, що тектонічному навантаженню геологічних карт масштабу 1:200 000 надавалося, з погляду авторів цієї статті, другорядне значення, тому багато геофізичних даних, зокрема тектонофізичних, одержаних на час складання карт, не було враховано. Надалі, розглядаючи тектонічну і глибинну будову регіону, ми будемо покладатись переважно на більш сучасні погляди та матеріали геофізичних досліджень ХХІ ст. Хоча матеріали середньо- і крупномасштабних магнітних і гравіметричних зніманих, переінтерпретації даних глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ), а також погляди видатних вчених ХХ ст. не втратили свого значення і зараз.

У геотектонічному плані майже вся територія України, крім альпійсько-кімерійського обрамлення, відповідає мініплиті Сарматія, яка разом з аналогічними мініплитами Фенноскандією і Волго-Уралією складає західну частину СЄК [Bogdanova, 1991; Bogdanova et al., 1996, 2006].

Тектонічна передісторія Сарматії на сучасному рівні розглядається також в статтях С.В. Богданової із співавторами [Bogdanova et al., 2006, 2008a,б, 2012a,б]. Значний обсяг геолого-геофізичних даних можна запозичити і в публікаціях [Чекунов, 1972; Литосфера ..., 1989; Соллогуб, 1986; Хаин, Божко, 1988; Зоненшайн и др., 1990; Кутас, 1993; Орлюк, 1999; Хаин, 2001; Старостенко и др., 2002; Saintot et al.,

2006; Мичак, 2019; Макаренко, 2021; Bakhmutov et al., 2023].

Останнім часом у межах досліджуваного регіону інтернаціональними колективами геофізиків і геологів виконано значний обсяг сейсмічних робіт методом ширококутного відбиття/заломлення (WARR) вздовж профілів EUROBRIDGE'97 [Thybo et al., 2003; Grad et al., 2006], DOBRE-99 [Maystrenko et al., 2003; Grad et al., 2003; Стовба и др., 2006б], DOBRE-2 [Старостенко и др., 2008; Tolkunov et al., 2011], PANCAKE [Starostenko et al., 2013a], DOBRE-4 [Starostenko et al., 2013б; Janik et al., 2016], DOBRE-5 [Starostenko et al., 2015], GEORIFT, GEORIFT 2013 [Старостенко, Стифенсон, 2006; Starostenko et al., 2018], TTZ-South [Janik et al., 2022], RomUkrSeis [Starostenko et al., 2020], SHIELD'21 [Starostenko et al., 2023]. Обробку та інтерпретацію сейсмічних даних, отриманих методом ГСЗ і методом загальної глибинної точки, було переведено на сучасний технологічний рівень. Це дало змогу одержати якісну швидкісну і структурну характеристику земної кори від архею до неогену і верхньої частини верхньої мантії регіону (до глибини 75 км), а також уточнити положення контактної зони між плитами Сарматією і Фенноскандією та структуру Транс'європейської шовної зони (зони Тейссере—Торнквіста).

Сейсмотомографічним методом тейлового наближення, розробленим В.С. Гейком в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України [Гейко, 1997; Geuko, 2004], досліджено структурні особливості мантії регіону до глибини 850 км, а на деяких ділянках до 1500 і 2500 км [Гейко и др., 2005, 2006; Цветкова и др., 2012, 2016, 2017; Бугаенко и др., 2015; Гінтов та ін., 2022 та ін.]. Одержані матеріали особливо важливі для палеогеодинамічних побудов, оскільки демонструють «заморожену» динаміку мантийних неоднорідностей.

Як результат, вже в першому двадцятиріччі нашого століття було отримано велику кількість геологічних і особливо геофізичних даних, що вказують на необхідність перегляду моделей геологічного розвитку території південно-західної частини СЄК

і відповідно нових поглядів на геолого-геофізичні критерії пошуків корисних копалин. У цій статті наведено матеріали, отримані в результаті виконання таких досліджень, і підбито їх підсумки за останні 25 років.

Загалом у статті будова земної кори і мантії району досліджень розглядаються окремо через необхідність узагальнення досить специфічних даних, отриманих під час вивчення цих двох важливих шарів Землі. Земна кора вивчається геолого-геофізичними методами, причому геологічні методи, особливо геологічне картування і буріння, мають велику вагу і впливають на результати інтерпретації матеріалів геофізики. У вивченні мантії провідну роль відіграють методи глибинної геофізики, насамперед ГСЗ, WARR і сейсмомографія. В основу розгляду глибинної будови регіонів покладено десять профілів WARR, і якби по кожному з них розглядалася будова і кори, і мантії, це збільшило б обсяг статті до непомірних розмірів. У першій частині статті подано загальний геологічний огляд району досліджень, розглянуто будову земної кори Українського щита і Дніпровсько-Донецької западини. У другій частині, яка буде опублікована в наступному номері «Геофізичного журналу», будуть розглянуті інші регіони, а також об'єднані дані щодо межі поділу Мохо, мантії району досліджень і загальні висновки за результатами, викладеними в обох частинах статті.

Геологічний огляд. Загальна площа району досліджень у межах південно-західної Сарматії становить близько 550 тис. км². Його тектонічний поділ, за [Тектонічна..., 2007a] наступний: Український щит (УЩ), південно-західна частина Воронезького кристалічного масиву (ВМ), Волино-Подільська плита (ВПП) з елементами, що її складають (Львівсько-Люблинський та Боянецький палеозойські прогини (ЛЛБП), Волино-Подільська (ВПМ), в тому числі Молдовська (ММ) монокліналі, Південноукраїнська монокліналь (ПУМ), частина Передкарпатського прогину (ПКП), Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) і

північно-західна частина Чорноморської западини (рис. 1).

Найбільш піднятими до земної поверхні архей-протерозойськими структурами земної кори (ядром Сарматії) є УЩ і ВМ. Останній представлений на території України лише незначною південно-західною частиною. Вони розділені найбільш глибокою (до 25 км) западиною — ДДЗ.

Український щит, витягнутий у східно-південно-східному напрямку на 1000 км, займає переважну частину південно-західної половини Сарматії. Архей-протерозойські кристалічні породи щита в багатьох місцях перекриті тонким верхньомезозойсько-кайнозойським чохлам і спостерігаються здебільшого в долинах річок, балок і численних кар'єрах. На північному сході, заглиблюючись до ДДЗ, розріз осадовувулканогенного чохла УЩ потовщується до карбонових відкладів. На заході та південному заході кристалічний фундамент занурюється під рифей-венд-палеозойський чохол ВПП, а на півдні — під венд-кайнозойський і крейдо-кайнозойський чохла ПУМ та Азовське море.

Південно-західна частина ВМ, розташована в межах України, представлена частинами архей-протерозойських Брянського і Курського мегаблоків, за [Пашкевич и др., 2018], або єдиного архейського Курського мегаблока, за [Савко и др., 2019]. Брянський і Курський мегаблоки ВМ у межах України занурюються під північну бортову частину ДДЗ протилежно-симетрично північно-східній частині УЩ.

Дніпровсько-Донецька западина (рифт-синекліза, за [Чекунов, 1994]) у межах України витягнута більш як на 800 км при ширині (разом зі схилами) 260 км. На південному сході вона генетично пов'язана з Донецьким басейном, на північному заході — з Прип'ятським прогином, розташованим в Білорусі. Вважається також, що ДДЗ є ланкою західного сегмента гігантського Сарматсько-Туранського лінеамента. Саме тому ми розглядаємо Дніпровський грабен і Донбас разом, хоча з геодинамічних позицій, вони розвивались за дещо різними механізмами [Гинтов и др., 2014]. Осадово-

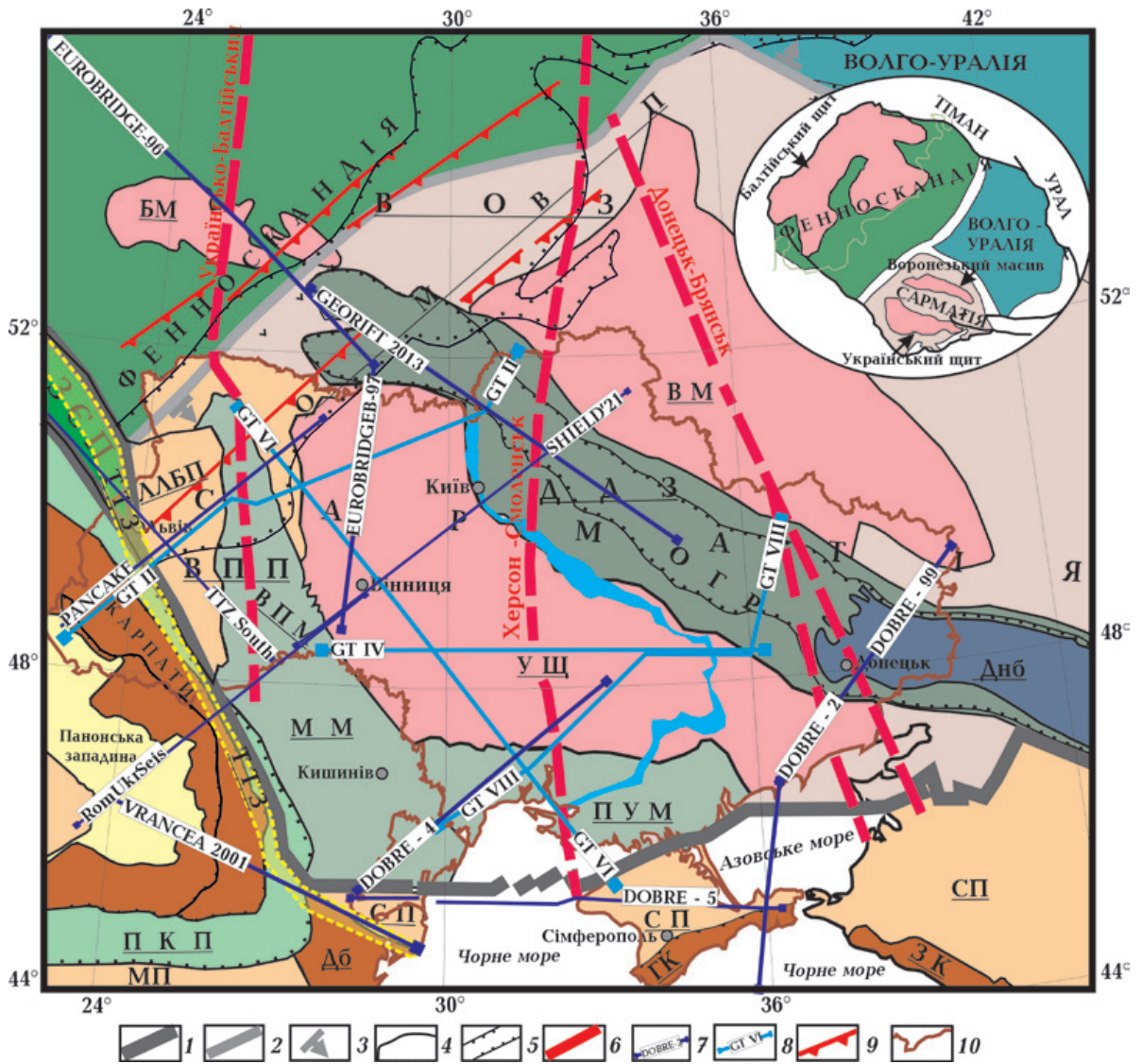


Рис. 1. Основні тектонічні регіони Сарматії та її оточення, за [Гінтов, Пашкевич, 2010; Очерки..., 2018] з доповненнями: 1 — границя Східноєвропейського кратону; 2 — границі між надструктурними елементами Східноєвропейського кратону: Фенноскандією, Сарматією та Волго-Уралією, за [Bogdanova, 1996; Гинтов, Пашкевич, 2010]; 3 — напрямок падіння зон зчленування сегментів Східноєвропейського кратону (на врізці); 4 — контури регіонів у межах Сарматії (УЩ — Український щит, ВМ — Воронежський кристалічний масив, ДДЗ — Дніпровсько-Донецька западина (Днб — Донбас), ОМВП — Осницько-Мікашевицький вулканоплутонічний пояс, ВПП — Волино-Подільська плита (ВПМ — Волино-Подільська монокліналь, ММ — Молдовська монокліналь, ЛЛБП — Люблінсько-Львівсько-Боянецький прогин, ТТЗ — зона Тейссере—Торнквіста, ПУМ — Південноукраїнська монокліналь); 5 — контури окремих западин і грабенів у межах Сарматії (ВОЗ — Волино-Орашанська западина, ОГР — осьовий грабен ДДЗ); 6 — трансрегіональні тектонічні шви Херсон—Смоленськ, Донецьк—Брянськ та Українсько-Балтійський; 7 — профілі WARR; 8 — геотраверси ГСЗ; 9 — розломи, що обмежують Волино-Орашанську западину, за [Bogdanova, 1996]; 10 — контур України. Буквені позначення регіонів за межами Сарматії: ВМ — Білоруський масив, ПКП — Передкарпатський прогин, СП — Скіфська плита, Дб — Добруджа, ГК — Гірський Крим, ЗК — Західний Кавказ.

Fig. 1. The main tectonic units of Sarmatia and its surroundings, after [Gintov, Pashkevich, 2010; Starostenko, Gintov, 2018] with additions: 1 — boundary of the East European Craton; 2 — boundaries between the supra-structural elements of the East European Craton: Fennoscandia, Sarmatia, and Volga-Uralia according to [Bogdanova, 1996; Gintov, Pashkevich, 2010]; 3 — dipping of suture zones of segments of Eastern European Craton (on the insert); 4 — contours of tectonic units of Sarmatia (УЩ — Ukrainian Shield, ВМ — Voronezh Massif, ДДЗ — Dnipro-Donetsk Depression, (Днб — Donbas), ОМВП — Osnytsk-Mikashkevychi volcanic-plutonic belt, ВПП — Volyno-Podilsk

Plate (ВПМ — Volyno-Podilsk Monocline, ММ — Moldavian Monocline, ЛЛБП — Lublin-Lviv-Boyanets Basin, ПКП — northeastern part of the Carpathian foredeep), ТТЗ — Teisser-Tornquist zone, ПУМ — South Ukrainian monocline); 5 — contours of individual depressions and grabens within Sarmatia (ВОЗ — Volyn-Orsha Depression, ОГР — axial rift of the Dnipro-Donetsk Depression); 6 — Kherson—Smolensk, Donetsk—Bryansk, and Ukrainian-Baltic transregional tectonic sutures; 7 — WARR profiles; 8 — geotraverses of the DSS (Deep Seismic Sounding); 9 — faults that limit the Volyn-Orshan depression, according to [Bogdanova, 1996]; 10 — Outline of Ukraine. Letter designations of regions outside Sarmatia: БМ — Belorussian massif, ПКП — Precarpathian massif, СП — Scythian Plate, Дб — Dobrogea, ГК — Mountainous Crimea, ЗК — Western Caucasus.

вулканогенне заповнення ДДЗ представлене відкладами від середньодевонських до четвертинних і за потужністю збільшується із заходу на схід від 0,5 км на кордоні з Білоруссю до понад 20 км у Донбасі. Палеозой ДДЗ займає максимальний об'єм порівняно з іншими відкладами і в ньому містяться майже всі відомі промислові скупчення вуглеводнів і вугілля, які займають чільне місце серед корисних копалин регіону [Тектонічна..., 2007б].

ВПП витягнута між кордонами з Польщею та Молдовою на 500 км, при ширині (між західною границею УЩ і Передкарпатським прогином) 280 км. Після УЩ і ВМ вона має найбільш давню і складну рифей-палеозойську історію розвитку. ВПП досить детально розглянута в праці [Тектонічна..., 2007б]. Їй також буде приділено увагу при розгляді матеріалів сейсмічних досліджень на профілях WARR DOBRE-3 (PANCAKE), RomUkrSeis, TTZ-South. Те

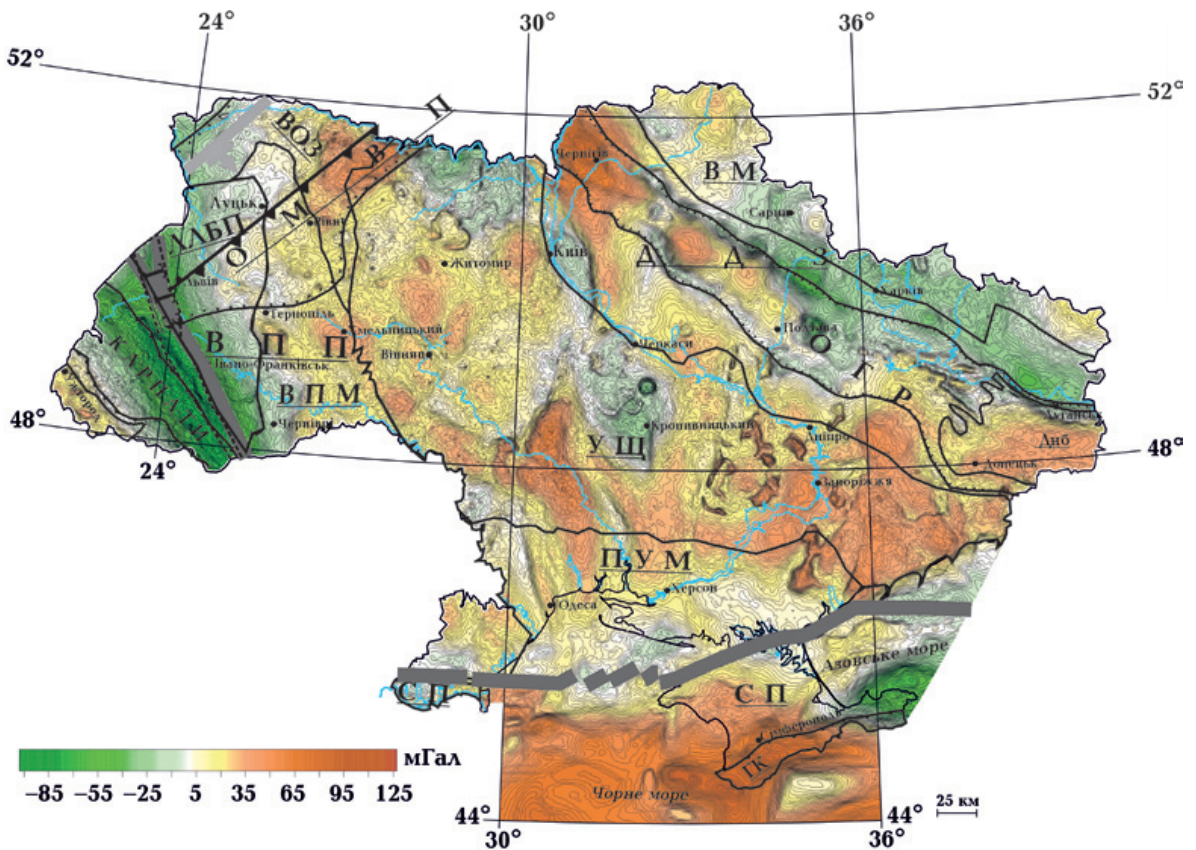


Рис. 2. Карта аномального гравітаційного поля (редукція Буге, $\sigma=2,3 \text{ г/см}^3$, шкала в мГл) території України, за [Ентін і др., 2015]. Чорним контуром виділено основні регіони в межах Сарматії. Назви регіонів див. на рис. 1.

Fig. 2. Map of the anomalous gravity field (Bouguer reduction, $\sigma=2.3 \text{ g/cm}^3$, scale in mGal) of the territory of Ukraine, according to [Entin et al., 2015]. The main tectonic units of Sarmatia are highlighted in black. See names of the units on Fig. 1.

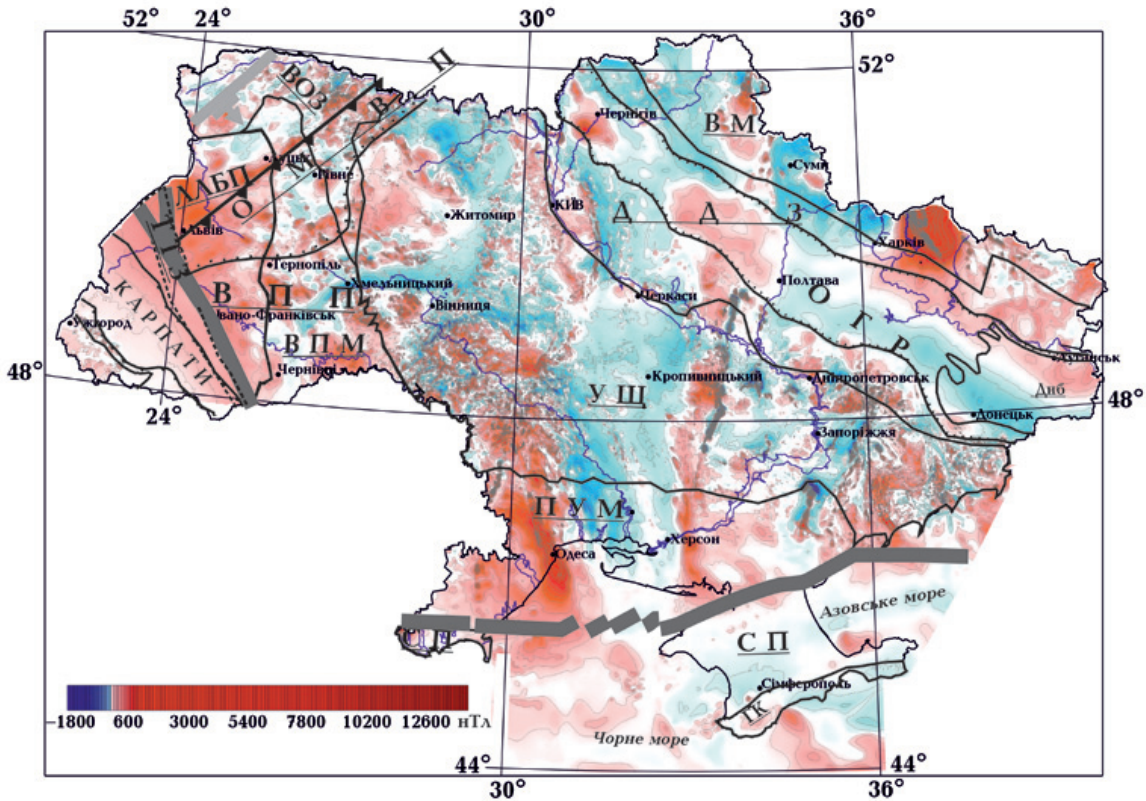


Рис. 3. Карта аномального магнітного поля (ΔT)_a території України, за [Орлюк и др., 2015]. Чорним контуром виділено основні регіони в межах Сарматії. Назви регіонів див. на рис. 1.

Fig. 3. Map of the anomalous magnetic field (ΔT)_a on the territory of Ukraine, based on [Orlyuk et al., 2015]. The main tectonic units of Sarmatia are highlighted in black. See names of units on Fig. 1.

саме стосується Передкарпатського передового прогину.

Південно-західний і південний контури Сарматії проходять уздовж Підкарпатського трюгу ТТЗ [Гінтов та ін., 2022] і північної шельфової частини Чорного і Азовського морів, які разом з ДДЗ є нафтогазоносними провінціями України. Через різну потужність осадово-вулканогенного і водного обрамлення глибина занурених країв поверхні Сарматії коливається від декількох метрів під Азовським морем до декількох кілометрів під ПКП (детальніше буде розглянуто в другій частині статті).

Геофізичні поля. У XXI ст. колективами Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України і ДП «Українська геологічна компанія» на основі найновіших даних побудовані зведені карти геофізичних

полів території України, які відповідають масштабам 1:500 000—1:1000 000. Карти аномальних гравітаційного і магнітного полів та карта густини теплового потоку, наведені на рис. 2—4, будуть використані для опису регіональних тектонічних особливостей окремих регіонів.

Тектоніка і глибинна будова району досліджень. Земна кора. Український щит. Глибинні розломи ділять УЩ на сім мегаблоків (із заходу на схід) — Волинський, Подільський, Росинський, Бузький, Інгульський, Середньопридніпровський, Приазовський (рис. 5). З північного заходу до них примикає Осницько-Мікашевицький вулканоплутонічний пояс (див. рис. 1).

На деяких картах Бузький мегаблок об'єднаний або з Подільським [Тектонічна..., 2007а] або Росинським [Костенко,

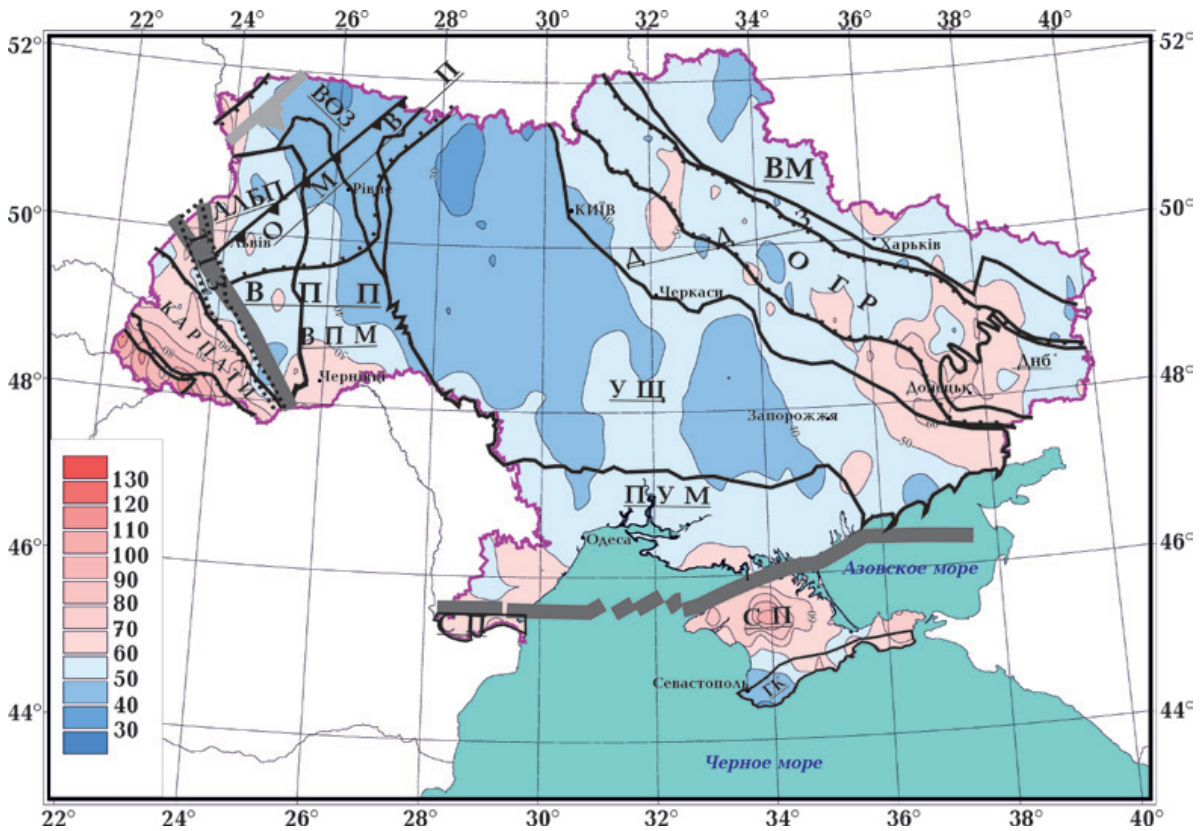


Рис. 4. Карта густини теплового потоку в mW/m^2 території України, за [Кутас, 2018]. Чорним контуром виділено основні регіони в межах Сарматії. Назви регіонів див. на рис. 1.

Fig. 4. Density map of heat flow in mW/m^2 on the territory of Ukraine, based on [Kutas, 2018]. The main tectonic units of Sarmatia are highlighted in black. See names of the units on Fig. 1.

2018] мегаблоками, тому на них розглядається шестимегаблоковий поділ щита. Проте геолого-геофізичні дані свідчать про аномальність (як геофізичну, так і геологічну) території Середнього і Нижнього Побужжя відносно цих мегаблоків і необхідність виділення її в окремий (Бузький) мегаблок між Немирівською і Тальнівською зонами розломів [Гінтов та ін., 2018; Очерки ..., 2018] (див. рис. 2—5).

Мегаблоки УЩ розрізняються за багатьма геолого-геофізичними ознаками: віком [Геохронологія..., 2005, 2008], речовинним складом і типом магматизму [Кирилюк, 2001], характером геофізичних полів (див. рис. 2—4), товщиною кори. Волинський та Інгульський мегаблоки складені породами палеопротерозойської гранітогнейсосланцевої формації віком 2,30—1,75 млрд років. На фоні інших частин щита їм відповідає знижений (переважно) характер

гравітаційного і магнітного полів. Подільський і Бузький мегаблоки складені породами ендербіто-гнейсової формації віком від 3,80 (максимальна цифра) до 1,90 млрд років. Цим мегаблокам відповідають зазвичай підвищені гравітаційне і магнітне поля. Архейський Середньопридніпровський граніто-зеленокам'яний мегаблок характеризується перемінним характером геофізичних полів, на тлі яких яскраво виділяються інтенсивні аномалії сили тяжіння, пов'язані із зеленокам'яними структурами. Вік зеленокам'яного комплексу 3,2—3,0 млрд років, гранітоїдів — 3,0—2,80 млрд років. Приазовський грануліт-діафорит-гранітовий мегаблок поділяється на архейську західну і ранньопротерозойську східну частини. Вік порід західної частини 3,95 (максимальна цифра для УЩ) — 2,85 млрд років, східної — 2,10—1,80 млрд років. Спінрим є вік і характер речовинного скла-

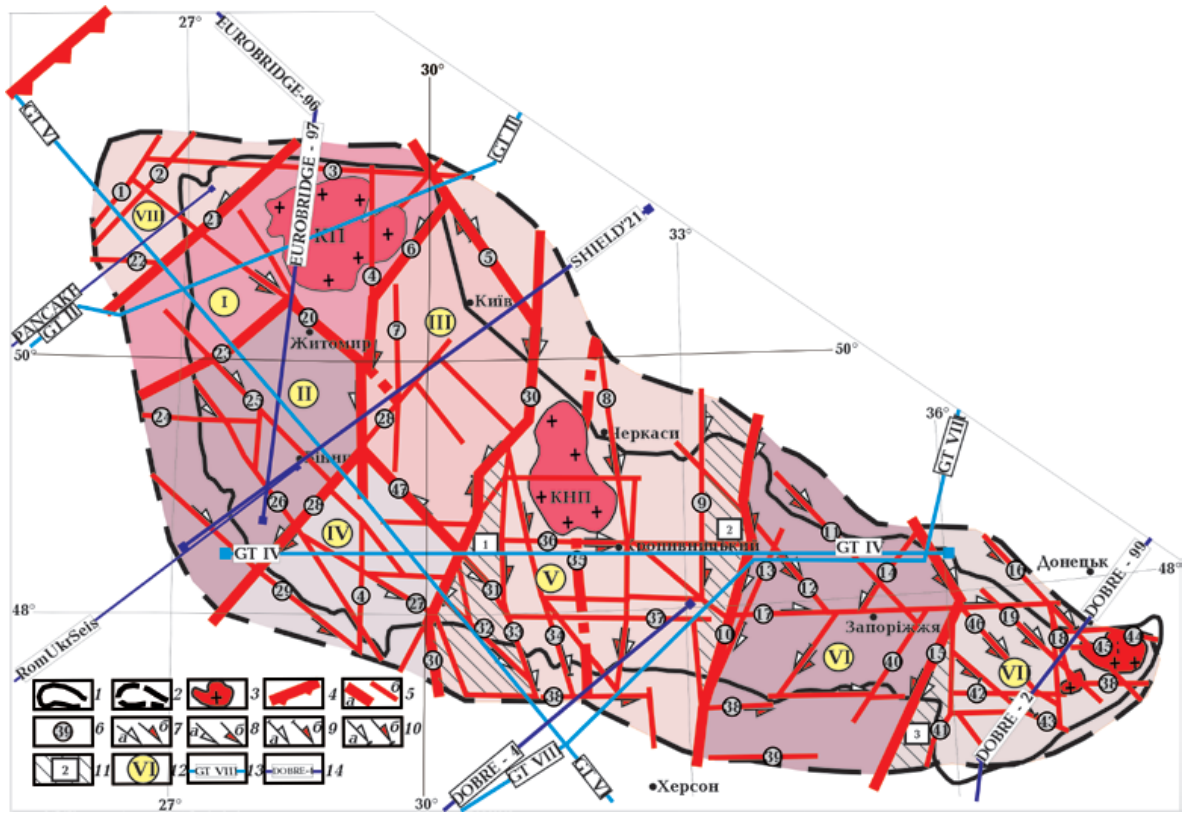


Рис. 5. Схема розломно-блокової структури УЩ [Гінтов та ін., 2018]: 1 — контур відкритої частини УЩ; 2 — контур УЩ зі схилами до глибини 300 м; 3 — плутони і великі масиви гранітоїдів (КП — Коростенський, КНП — Корсунь-Новомиргородський); 4 — зона зчленування Фенноскандії та Сарматії; 5 — зони розломів (а — міжмегаблокові, б — внутрішньомегаблокові, штрихпунктир — міжрегіональна шовна зона Херсон—Смоленськ); 6 — номери зон розломів; 7—10 — кінематичні позначки щодо зон розломів (а — під час закладання, б — під час активізації); 7 — правий зсув, 8 — лівий зсув, 9 — підкидо-зсув; 10 — скидо-зсув; 11 — шовні зони та їх номери (1 — Голованівська, 2 — Інгулецько-Криворізька, 3 — Оріхів-Павлоградська); 12 — мегаблоки¹ (I — Волинський, II — Подільський, III — Росинський, IV — Бузький, V — Інгульський, VI — Середньодніпровський, VII — Приазовський, VIII — Осницько-Мікашевицький вулcano-плутонічний пояс); 13 — геотраверси, які розглядаються в статті; 14 — профілі WARR, які перетинають УЩ.

Зони розломів (арабські цифри в кружках): 1 — Горинська, 2 — Луцька, 3 — Поліська, 4 — Звездаль-Заліська, 5 — Ядлів-Трахтемирівська, 6 — Чорнобильська, 7 — Брусилівська, 8 — Кіровоградська, 9 — Західноінгулецька, 10 — Криворізько-Кременчуцька, 11 — Дніпродзержинська, 12 — Світловодська, 13 — Саксаганська, 14 — Дерезуватська, 15 — Оріхів-Павлоградська, 16 — Центрально-Волноваська, 17 — Девладівська, 18 — Малоянисольська, 19 — Краснополянська, 20 — Сарненсько-Варварівська, 21 — Суцано-Пержанська, 22 — Володимир-Волинська, 23 — Тетерівська, 24 — Хмельницька, 25 — Хмільницька, 26 — Летичівська, 27 — Ободівська, 28 — Немирівська, 29 — Подільська, 30 — Тальнівська, 31 — Ємилівська, 32 — Врадіївська, 33 — Первомайська, 34 — Звенигородсько-Братська, 35 — міжрегіональна зона Херсон—Смоленськ, 36 — Субботсько-Мошоринська, 37 — Бобринецька, 38 — Конкська, 39 — Горностаївська, 40 — Малокатеринівська, 41 — Азовсько-Павлівська, 42 — Куйбишівська, 43 — Сорокинська, 44 — Південно-донбаська, 45 — Верхньокомишуваська, 46 — Центральноприазовська, 47 — Дашівська.

Fig. 5. Tectonic scheme of the Ukrainian Shield [Gintov et al., 2018]: 1 — contour of the open part of the Ush; 2 — contour of the Ush with slopes to a depth of 300 m; 3 — plutons and large massifs of granitoids (КП — Korosten Pluton, КНП — Korsun-Novomyrhorod); 4 — junction zone of Fennoscandia and Sarmatia; 5 — fault zones (a — inter-domain, б — intra-domain, dashed line — Kherson-Smolensk transregional fault zone); 6 — fault zone numbers; 7—10 — kinematic markings of fault zones (a — at the time of initiation, б — at the time of activation): 7 — dextral strike-slip fault, 8 — sinistral strike-slip fault, 9 — reverse strike-slip fault, 10 — normal strike-slip fault; 11 — suture zones and their numbers (1 — Holovanivsk, 2 — Ingulets-Kryvyi Rig, 3 — Orikhiv-Pavlograd); 12 — domains (I — Volyn, II — Podolian, III — Ros, IV — Bug, V — Ingul, VI — Middle Dnieper, VII — Azov, VIII — Osnytsko-Mikashivitskiy volcano-plutonic belt); 13 — geotraverversi, which are discussed in the article; 14 — WARR profiles, which cross the Ush.

¹ Кольори на рисунку не мають геологічного змісту, а лише слугують для виділення мегаблоків.

ду Росинського мегаблока, який складений породами амфіболіто-гнейсової формації віком 2,13—2,0 млрд років. Проте між Звіздаль-Заліською і Брусилівською зонами розломів, які обмежують мегаблок із заходу, по р. Рось зустрінуті архейські (2,7—2,6 млрд років) породи тетіївського й юрївського комплексів, віднесені також до Росинського мегаблока, хоча їх з меншим обґрунтуванням можна віднести і до сусіднього архейського Подільського мегаблока.

Крім зон глибинних розломів, УЩ поділений навпіл трансрегіональним тектонічним швом Херсон—Смоленськ і трьома так званими шовними зонами: Голованівською, Інгулецько-Криворізькою та Оріхів-Павлоградською (див. рис. 5). До них іноді приєднують четверту — Кочерівську або Немирівсько-Кочерівську [Glevassky, Glevasska, 2002], що приймається не всіма дослідниками. Також щит обмежений із заходу та сходу тектонічними швами, аналогічними шву Херсон—Смоленськ — Українсько-Прибалтійським і Донецьк-Брянськ (див. рис. 1).

З фіксистських позицій, різний петрологічний і формаційний склад мегаблоків УЩ пояснюється їх різним ерозійним зрізом, тобто вертикальними рухами кори або літосфери в цілому, завдяки чому на поверхню виходять породи різних фацій регіонального метаморфізму — від зеленосланцевої і низької амфіболітової до високої гранулітової і навіть екологітової. Шовні зони розглядають як інтенсивно зім'яті крайові частини мегаблоків або самостійні блоки другого порядку [Кирилюк, 2004]. Проте, з погляду палеогеодинаміки,

ці шовні зони УЩ є слідами палеосутур, що виникли в наслідок субдукції океанічної чи субокеанічної кори, яка існувала в архей між Бузьким і Росинським терейнами (на місці сучасних Голованівської шовної зони та Інгульського мегаблока), з одного боку, і Середньопридніпровським, з другого, а також між останнім і Приазовським (на місці сучасної Оріхів-Павлоградської шовної зони) [Глевасский, 2005; Гинтов, 2014].

Слід зазначити, що тектонофізичними дослідженнями УЩ було доведено субгоризонтально-зсувну природу більшості розломів щита, зокрема розломів у межах шовних зон [Гинтов, Исай, 1988; Гинтов, 2005] (див. позначки на рис. 5). Це одразу наштовхує на думку про справедливість плитотектонічної ідеї щодо розвитку УЩ в архей—ранньому протерозої. Тому що, якими б механізмами не намагалися пояснити будову та історію розвитку УЩ, одним із визначальних факторів цього розвитку були великі горизонтальні зсуви блоків літосфери вздовж протяжних зон розломів, які виходять далеко за межі щита, та поля тангенціальних тектонічних напруг. Цей фактор ніби «підпорядковує» собі всі можливі механізми тектогенезу, оскільки досі не знайдено інших реальних механізмів, крім переміщень мантіїної речовини, що ведуть до горизонтальних рухів літосферних плит або літопластин. Та й надійні палеомагнітні дані [Bakmutov et al., 2023] вказують на те, що УЩ разом з Сарматією наприкінці раннього протерозою займав відносно Фенноскандії зовсім інше положення, ніж зараз.

Ідеї тектоніки плит і плюм-тектоніки щодо УЩ розвиваються в наведених вище

— Osnytsk-Mikashkevychi volcanic-plutonic belt); 13 — geotraverses II, IV, VI, VIII, which are considered in the article; 14 — WARR profil es that cross the Ush.

Fault zones (Arabic numerals in circles): 1 — Horyn, 2 — Lutsk, 3 — Polissia, 4 — Zvizdal-Zalissia, 5 — Yadliv-Trakhtemyriv, 6 — Chernobyl, 7 — Brusyliv, 8 — Kirovohrad, 9 — Western-Ingulets, 10 — Kryvyi Rig-Kremenchuk, 11 — Dniprodzerzhynsk, 12 — Svitlovodsk, 13 — Saksahansk, 14 — Derezuvatka, 15 — Orikhiv-Pavlograd, 16 — Central-Volnovakha, 17 — Devladvivka, 18 — Maloyanyzol, 19 — Krasnopolyana, 20 — Sarny-Varvarivka, 21 — Sushchany-Perga, 22 — Volodymyr-Volynsk, 23 — Teteriv, 24 — Khmelnytsk, 25 — Khmilnyk, 26 — Letychiv, 27 — Obodiv, 28 — Nemyriv, 29 — Podil, 30 — Talniv, 31 — Yemyliv, 32 — Vradiyivka, 33 — Pervomaisk, 34 — Zvenyhorod-Bratsk, 35 — Kherson-Smolensk transregional fault zone, 36 — Subbotsy-Moshorino, 37 — Bobrynets, 38 — Konkska, 39 — Hornostavivka, 40 — Malokaterynivka, 41 — Azov-Pavlivka, 42 — Kuibyshevka, 43 — Sorokino, 44 — Pivdennodonbaska, 45 — Verkhnyokomyshuvakha, 46 — Central Azov, 47 — Dashivka.

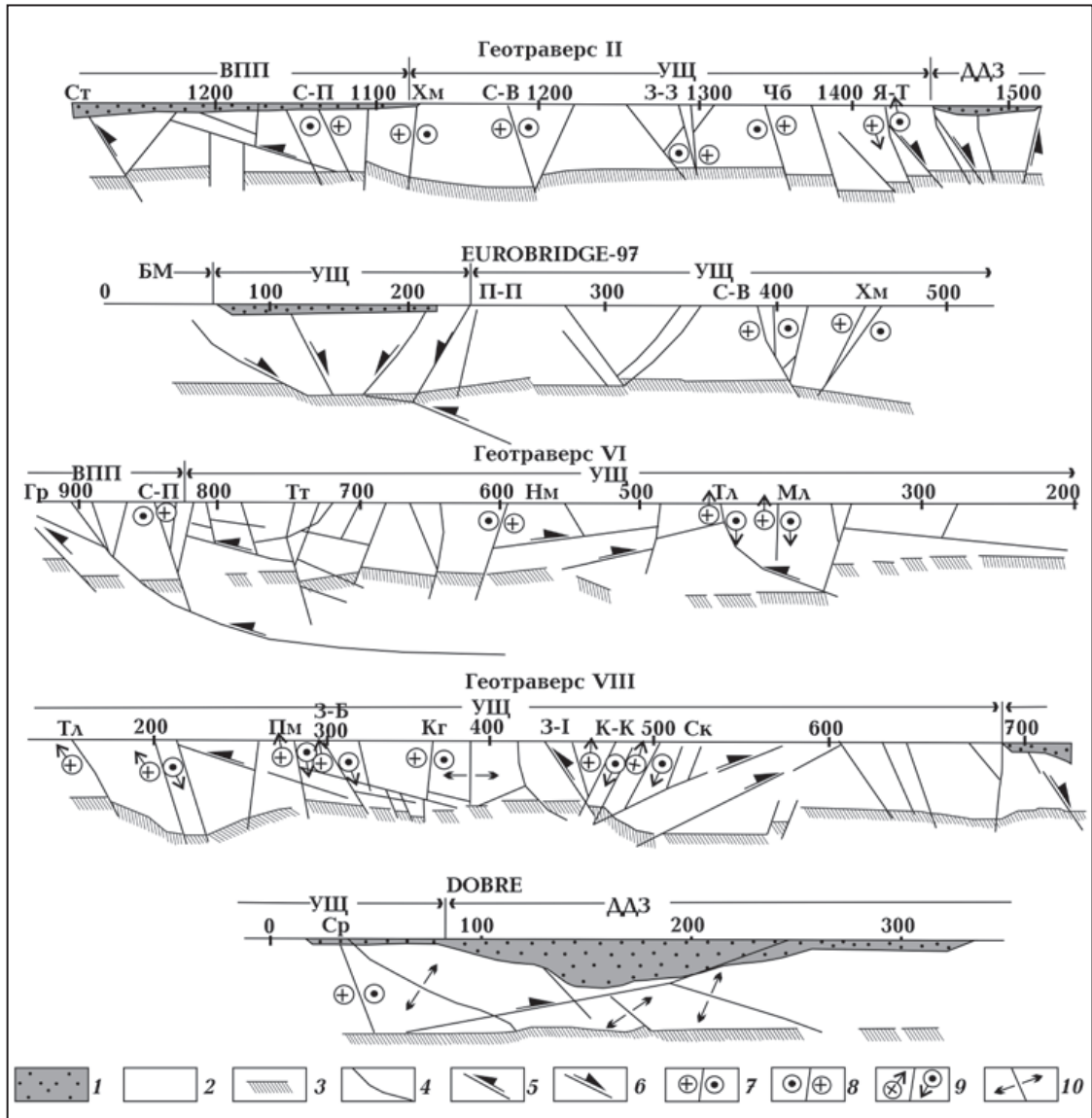


Рис. 6. Кінематичні характеристики основних зон розломів УЩ у розрізі, за [Гинтов, Пашкевич, 2010]: 1 — осадовий чохол, 2 — кристалічні породи земної кори, 3 — поділ Мохо, 4 — зони розломів, 5–10 — кінематичні знаки (кружки — підчас закладання, стрілки — підчас активізації зон розломів): 5 — насув, підкид, підсув, 6 — скид, 7 — правий зсув, 8 — лівий зсув, 9 — підкидо- або скидо-зсув (залежно від нахилу зони), 10 — розтяг. Регіони: ВПП — Волино-Подільська плита, УЩ — Український щит, ДДЗ — Дніпровсько-Донецька западина. Зони розломів: Ст — Стоходська, С-П — Сущано-Пержанська, Хм — Хмільницька, С-В — Сарненсько-Варварівська, З-З — Звездаль-Заліська, Чб — Чорнобильська, Я-Т — Ядлів-Трахтемирівська, П-П — Південноприп'ятська, Гр — Горинська, Тт — Тетерівська, Нм — Немирівська, Тл — Тальнівська, Мл — Молдовська, Пм — Первомайська, Кг — Кіровоградська, З-І — Західноінгулецька, К-К — Криворізько-Кременчуцька, Ск — Саксаганська, Ср — Сорокинська.

Fig. 6. Kinematic characteristics of the main fault zones of the Ukrainian Shield on the seismic cross-sections [Gintov, Pashkevich, 2010]: 1 — sedimentary cover, 2 — crystalline rocks, 3 — Moho, 4 — fault zones, 5–10 — kinematic signs (circles — during initiation, arrows — during activation of fault zones): 5 — thrust, overthrust, subduction, 6 — normal, 7 — thrust with dextral strike-slip component, 8 — thrust with sinistral strike-slip component, 9 — strike-slip with inverse or normal component, 10 — extension. Tectonic units: ВПП — Volynopodilska plate, УЩ — Ukrainian shield, ДДЗ — Dnipro-Donetsk depression. Fault zones: Ст — Stokhodska, С-П — Sushchany-Perga, Хм — Khmilnyk, С-В — Sarny-Varvarivka, З-З — Zvizdal-Zalissyia, Чб — Chornobyl, Я-Т — Yadliv-Trakhtemyriv, П-П — South Prypyat, Гр — Goryn, Тл — Teteriv, Нм — Nemyriv, Тл — Talniv, Мл — Moldovan, Пм — Pervomaisk, Кг — Kirovohrad, З-І — Western-Ingulets, К-К — Kryviy Rig—Kremenchug, Ск — Saksahansk, Ср — Sorokino.

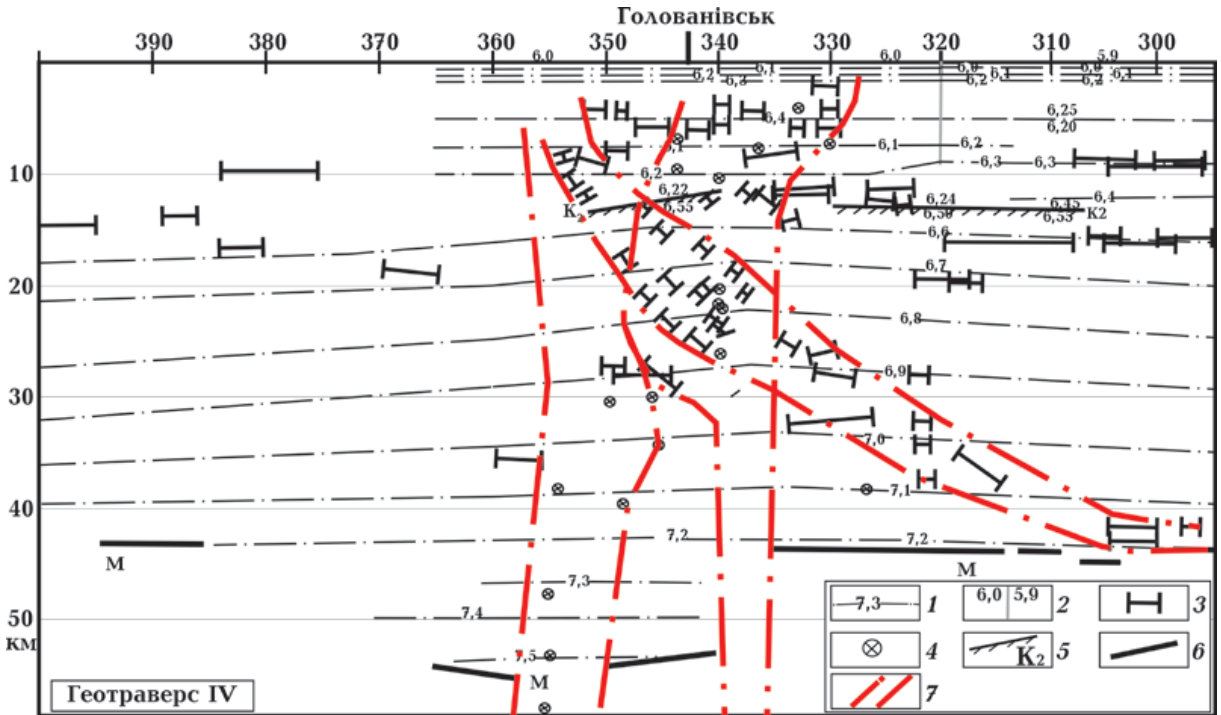


Рис. 7. Сейсмічний розріз земної кори вздовж геотраверсу IV (ПК 295—400, Голованівська шовна зона), за [Trypolsky et al., 2019]: 1 — ізолінії швидкості, км/с, 2 — умовна межа, що розділяє області геотраверсу з різними початковими швидкостями, 3 — відбивні площинки у земній корі, 4 — точки дифракції, 5 — поділ K_2 , 6 — поділ Мохо, 7 — глибинний розлом.

Fig. 7. Seismic cross-section along the geotraverse IV (PK 295—400, Golovanivka suture zone), after [Trypolsky et al., 2019]: 1 — velocity isolines, km/s, 2 — conditional boundary separating geotraverse areas with different initial velocities, 3 — reflective planes, 4 — diffraction points, 5 — K_2 boundary, 6 — Moho, 7 — deep-seated fault.

працях С.В. Богданової і статтях Є.Б. Глевасського і Г.І. Каляєва, а також в публікації Л.С. Галецького і В.Г. Пастухова [Геодинамическая ..., 1993], статтях О.Б. Гинтова, І.К. Пашкевич, декількох монографіях Є.М. Шеремета з колегами [Геолого-геофизическая..., 2008 та ін.], статтях В.М. Клочкова з колегами [Клочков и др., 2009], В.І. Старостенка, С.В. Мичака, Т.О. Цветкової з колегами, В.Г. Бахмутова з колегами та ін. [Гинтов, Пашкевич, 2004, 2010; Мичак, 2016; Старостенко, Гинтов, 2018; Цветкова и др., 2019; Vakhtmutov et al., 2023]. І хоча у світі іноді висловлюються погляди про неможливість існування плитової тектоніки і плюмів у ранньому докембрії (див., наприклад [Hamilton, 2011]), значна кількість ознак і доказів, що дедалі більше встановлюються геологами і геофізиками, переважає над поглядами «скептиків».

Земна кора УЩ досліджена сейсмічними геотраверсами ГСЗ II, IV, VI, VIII і профілями WARR EUROBRIDGE'97, DOBRE-99, DOBRE-2, DOBRE-3 (PANCAKE), DOBRE-4, RomUkrSeis, SHIELD'21 (див. рис. 1, 5). Геотраверси ГСЗ, прокладені на УЩ під керівництвом В.Б. Соллогуба в минулому столітті, відтворювали горизонтально-шарувату і блокову структуру кори щита [Соллогуб, 1986; Литосфера ..., 1988; Grad, Trypolsky, 1995]. Розломи, що встановлювались за точками дифракції та розривами у відбивних площинках, були майже завжди субвертикальними. Дещо пізніше, під впливом ідей тектоніки плит, сейсмічні розрізи почали переглядатись і переінтерпретовуватись, завдяки чому на них були встановлені похилі та лістричні зони розломів [Чекунов, Пашкевич, 1989; Гинтов, Пашкевич, 2010; Trypolsky et al., 2019] (рис. 6, 7).

Сьогодні глибинне сейсмічне зондування виконується за методикою ширококутного спостереження відбитих та заломлених хвиль (WARR — wide angle reflection refraction). Такий підхід дозволяє розрахувати швидкісну модель будови розрізу, включно з геометрією відбиваючих та заломлюючих границь в земній корі, поділу Мохо та сейсмічних границь у верхах верхньої мантії безпосередньо під подошвою земної кори. Швидкісні характеристики, які визначені для окремих ділянок розрізу, дають змогу розділити шари вмісних порід на окремі блоки з відповідними петрологічними особливостями, виділити хвилеводи та градієнтні ділянки переходу між земною корою та верхньою мантією.

Математичний апарат, розроблений для інтерпретації даних WARR, цілком придатний для повторної обробки записів ГСЗ, зібраних у попередні роки. Результати таких сейсмічних досліджень у своїй більшості збереглися у вигляді годографів на міліметровісі. Такі годографи за геотраверсом VI [Соллогуб, 1986; Ильченко, 1985] були оцифровані та переінтерпретовані [Lysynchuk et al., 2019] за допомогою про-

грамного комплексу FAST [Zelt, Barton 1998], що виконує розрахунок швидкісної моделі на основі томографічної інверсії перших вступів сейсмічних хвиль.

Порівняння результатів інтерпретації матеріалів ГСЗ за геотраверсом VI, зроблені в попередні роки [Соллогуб, 1986; Ильченко, 1985], і переінтерпретації моделі за допомогою томографічної інверсії [Lysynchuk et al., 2019] наведено на рис. 8.

Швидкісна модель за програмою FAST (рис. 8, б) розрахована на прямокутній сітці 1,5×1,5 км за вертикальною та горизонтальною координатами. Для уникнення артефактів застосовували вертикальне та горизонтальне згладжування, що полегшує сприйняття результатів, але призводить до «замилування» границь розриву швидкості, які відповідають сейсмічним горизонтам. Таким чином, реальні границі зі стрибками швидкості відображаються на томографічній моделі у вигляді зон, які мають підвищений градієнт зміни швидкості, а не як різкі її стрибки на межі шарів вмісних порід. Така особливість швидкісної моделі зберігається і для межі поділу Мохо. Для визначення розташування

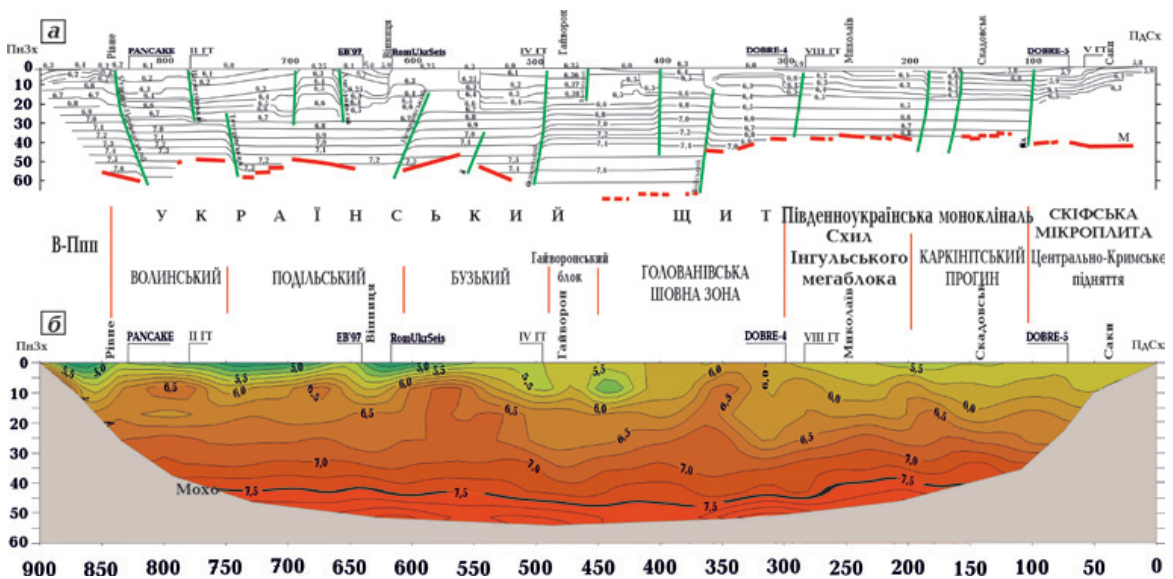


Рис. 8. Результати глибинного сейсмічного зондування, отримані вздовж VI геотраверсу: а — швидкісна модель, отримана у 1980-х роках [Ильченко, 1985; Соллогуб, 1986]; б — швидкісна модель, отримана в результаті томографічної інверсії вздовж VI геотраверсу [Lysynchuk et al., 2019].

Fig. 8. Results of deep seismic sounding obtained along the VI geotraverse: а — velocity model obtained in the 1980s [Ilchenko, 1985; Sollogub, 1986], б — velocity model obtained as a result of tomographic inversion along the VI geotraverse [Lysynchuk et al., 2019].

межі поділу Мохо автори вважають, що градієнтна зона на глибині нижньої кори/верхньої мантії в моделі відображає плавне збільшення швидкості від типового значення для нижньої частини кори (<7 км/с) до типового для верхньої мантії (>8 км/с). Тому межа поділу Мохо визначається на ізолінії швидкості 7,5 км/с, яка представляє середнє значення цих швидкостей, а не на ізолінії очікуваної швидкості для верхньої мантії (8,15—8,4 км/с). Аналогічний підхід був використаний і в дослідженні [Janik et al., 2016].

Наведемо приклад: поверхня Мохо в межах Бузького мегаблока і Голованівської шовної зони на томографічній моделі заглиблюється з північного заходу на південний схід під відносно невеликим кутом нахилу з глибини 45 км під ПК 520 до глибини 48 км під ПК 370. Її глибина значно менша порівняно з результатами попередніх досліджень [Соллогуб 1986]. Різниця у визначенні глибини подошви кори (рис. 8, а [Соллогуб 1986]) за результатами нової інтерпретації (рис. 8, б) зумовлена низкою причин: по-перше, в експерименті FAST, на відміну від попередніх, використані географі заломлених, а не відбитих хвиль, за якими положення межі поділу Мохо може бути апроксимоване ізолінією швидкості 7,5 км/с [Janik et al., 2016]; по-друге, глибина відбиваючих горизонтів залежить від швидкості проходження хвиль у породах, які залягають над ними. Відповідні швидкості, якщо і визначались раніше, то за головуючими (головними) хвилями, і були завищені порівняно зі швидкістю заломлених хвиль, що обумовлює більші глибини у розрахунках положення відбиваючих горизонтів.

Геотраверс VI висвітлює будову більшості мегаблоків УЩ (за винятком Середньопридніпровського та Приазовського) і суміжних регіонів (див. рис. 5). Аналізуючи швидкісну модель, розраховану вздовж геотраверсу (див. рис. 8, б), можна зазначити, що у верхній частині до глибини 15 км на відстанях 840—900 км від початку профілю спостерігається прогин, який окреслюється ізолініями швидкості в

межах значень 5,0—6,0 км/с. Він відповідає Волино-Поліському прогину Осницько-Мікашевицького магматичного поясу, який характеризується палеопротерозойською корою з віком 2,0—1,95 млрд років.

Основні тектонічні мегаблоки УЩ — Волинський та Подільський — перетинаються геотраверсом VI на дистанції 840—750 і 750—620 км від початку профілю відповідно. Голованівська шовна зона розташована в районі 320—450 км. На швидкісному розрізі ці структури виділяються за підвищеними швидкостями відносно суміжних блоків і зон розломів. На ділянці Бузького мегаблока на проміжку 620—530 км у швидкісній моделі виділяється найпотужніший шар середньої кори на глибинах 37—20 км зі швидкостями поширення поздовжніх хвиль 7,0—6,5 км/с. Початок підняття границі зафіксовано на глибинах 25—30 км, що відповідає подошві середньої кори зі швидкостями $V_p \leq 7,0$ км/с. Воно простежується до земної поверхні за ізолінією $V_p = 5,5$ км/с.

Подошва земної кори (вздовж геотраверсу VI) залягає на глибинах 42—48 км, що добре узгоджується з інтерпретаційною моделлю за профілем EUROBRIDGE'97, де глибина поділу Мохо становить 45—47 км [Thybo et al., 2003; Yegorova et al., 2004].

Таким чином, попередня інтерпретація даних геотраверсу VI [Соллогуб, 1986; Ильченко, 1985] (див. рис. 8, а) являла собою набір розрізнених відбивних майданчиків, що об'єднувалися інтерпретаторами в границі. Про наявність порушень свідчили розриви між відбивними майданчиками, або їхня відсутність взагалі. Шари земної кори, що містили розломи, будувались відповідно до суб'єктивних уявлень інтерпретатора про будову земної кори на досліджуваній території. У цьому плані нова швидкісна модель (див. рис. 8, б), яка отримана за результатами томографічної інверсії, носить більш об'єктивний характер, що меншою мірою визначається уявленнями інтерпретатора про «правильну» будову розрізу (порівняння рельєфу Мохо у швидкісних моделях геотраверсу VI за програмою FAST і даними [Ильченко, 1985;

Соллогуб, 1986] буде наведено у другій частині статті у відповідному розділі.

Західна частина УЩ досліджена також профілями EUROBRIDGE'97 [Thybo et al., 2003], DOBRE-3 (PANCAKE) [Starostenko et al., 2013a] і RomUkrSeis [Starostenko et al., 2020]. Згідно з даними [Thybo et al., 2003], звичайним для західної частини СЕК є поділ кристалічної кори по вертикалі на три частини — верхню, середню та нижню зі швидкостями V_p 6,1—6,4, 6,5—6,8 і 6,9—7,2 км/с відповідно та співвідношенням V_p/V_s 1,69, 1,70 і 1,76.

Профіль EUROBRIDGE'97 перетинає в меридіональному напрямку (протягом 300 км у межах УЩ) Волинський і Подільський мегаблоки, зокрема Коростенський плутон габро-анортозитів і рапаківі (рис. 9). У межах верхньої кори із середньою швидкістю $V_p=6,15$ км/с аномальним виглядає Коростенський плутон, швидкість кори в якому становить 6,35—6,45 км/с до глибини 9—11 км з високошвидкісним тілом (6,72 км/с) на глибині від 6 до 10 км. Причиною є насичення плутону тілами габроїдів. Під плутоном, як і під Волинським мегабло-

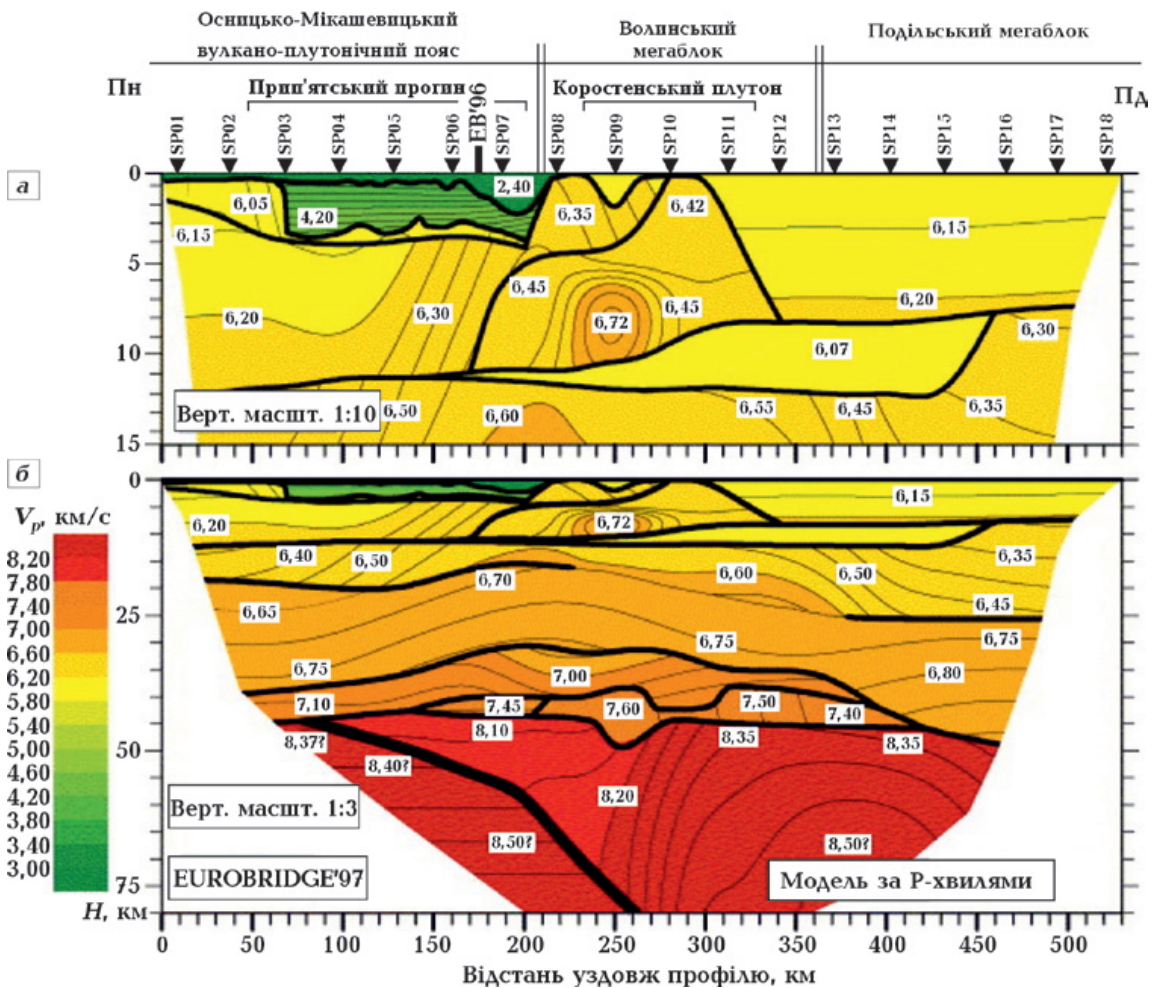


Рис. 9. Двовимірний модель швидкості P -хвилі за профілем EUROBRIDGE'97 [Thybo et al., 2003]: *a* — деталі верхньої кори; *б* — повна літосферна модель. Товсті чорні лінії — основні швидкісні межі. Відбивач у мантії обмежений лише відбиттями, тому швидкість під ним невідома. Тонкі лінії — ізолінії швидкості зі значеннями (км/с), показаними в білих прямокутниках. Стрілки показують положення пунктів вибуху.

Fig. 9. Two-dimensional model of P -wave velocity based on the EUROBRIDGE'97 profile [Thybo et al., 2003]: *a* — details of the upper crust; *б* — full lithospheric model. Thick black lines represent the main velocity boundaries. The reflector in the mantle is limited to reflections only, so the velocity below it is unknown. Thin lines represent velocity isolines with values (km/s) shown in white rectangles. Arrows indicate the positions of the explosion points.

ком загалом, середня і нижня кора підняті приблизно на 13 км (максимум на глибині 30—32 км саме під плутоном за потужності всієї кори 43—48 км) за рахунок наявності високошвидкісних тіл (7,40—7,60 км/с), які фіксуються під ними. Найбільш товстою лінією на розрізі показано відбивач у мантії, який в корі не простежується. Разом з іншими мантійними відбивачами його буде розглянуто у другій частині статті в розділі «Мантія».

Профіль DOBRE-3 (PANCAKE) перетинає крайню північно-західну частину

УЩ (Осницько-Мікашевицький вулканоплутонічний пояс), детально висвітлюючи лише верхню частину кори. Його швидкісний розріз і товщина кори принципово не відрізняються від розрізу EUROBRIDGE'97 (рис. 10), від якого він знаходиться на відстані 40 км, а лінія поділу Мохо закінчується за 120 км від цього розрізу. Глибина до Мохо в північно-західній частині профілю DOBRE-3 близько 48 км, значення V_P над/під Мохо, відповідно 7,40/8,33 км/с. Співвідношення V_P/V_S зростає в земній корі зверху донизу з 1,67 до 1,80.

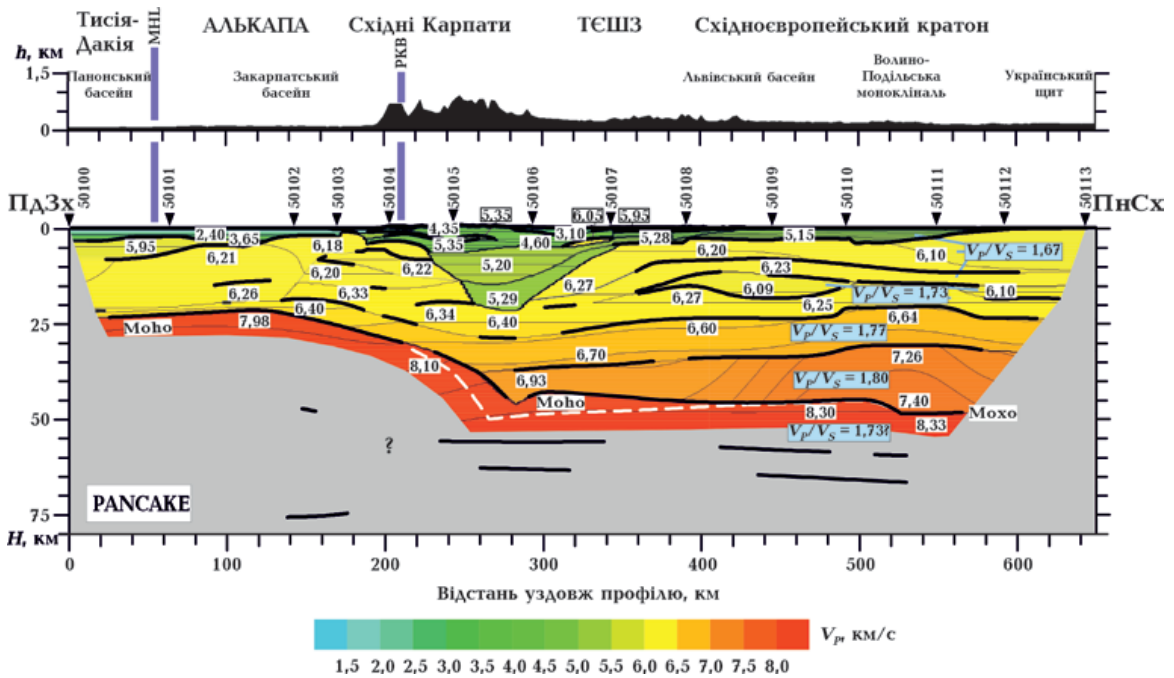


Рис. 10. Двовимірний модель швидкості P -хвиль в корі та верхній мантії, отримана прямим моделюванням трасування променів за допомогою пакету SEIS83 [Červený, Pšenčík, 1984] уздовж профілю DOBRE-3 (PANCAKE), за [Starostenko et al., 2013a]. Товсті чорні лінії — великі розриви швидкості (інтерфейси першого порядку). Товсті переривчасті лінії — частини розривів першого порядку, обмежені відбитими та/або заломленими надходженнями P -хвиль. Тонкі лінії — ізолінії швидкості зі значеннями в км/с, показаними в білих прямокутниках. Стрілки показують положення пунктів вибуху, сині стрілки — перетини з іншими профілями. Співвідношення вертикального і горизонтального масштабів становить $\sim 2,4:1$. Для СЕК показано модель розподілу співвідношення V_P/V_S . Біла пунктирна лінія — глибина межі поділу Мохо, якщо використовувати швидкість $\sim 7,2$ км/с замість 6,9 км/с у нижній частині кори. МНЛ — Середньоугорська лінія, РКВ — Пеннінський келіповий пояс.

Fig. 10. Two-dimensional model of seismic P -wave velocity in the crust and upper mantle obtained by direct ray-tracing simulation with SEIS83 package [Červený, Pšenčík, 1984] along the DOBRE-3 (PANCAKE), [Starostenko et al., 2013a]. Thick black lines represent large velocity discontinuities (first-order interfaces). Those parts of the first-order discontinuities that were limited to reflected and/or refracted P -wave arrivals are indicated by thick dashed lines. Thin lines represent velocity isolines with values in km/s shown in white rectangles. Arrows show the positions of the explosion points. The ratio of vertical and horizontal scales is $\sim 2,4:1$. A model of the V_P/V_S ratio distribution is shown for the EEC. The white dashed line represents the depth of the Moho boundary if we use a velocity of $\sim 7,2$ km/s instead of 6,9 km/s in the lower part of the crust. Letter designations: MHL — Middle-Hungarian line, PKB — Peninsky kelp belt.

Профіль RomUkrSeis (рис. 11) заходить до УЩ з південного заходу лише на 130 км і висвітлює південно-західну частину Подільського мегаблока. На відміну від двох попередніх профілів його розріз характеризується меншими значеннями швидкостей рефрагованих і відбитих хвиль: верхня і середня кора об'єднуються у верхній шар із швидкостями 6,10—6,45 км/с (середня

6,30 км/с), нижній шар (нижня кора) — 6,45—6,60 км/с. Співвідношення V_p/V_s у корі досить постійне (1,70—1,72). Зазвичай це пояснюється меншою віддаленістю від ТТЗ і її впливом на швидкісний розріз краю СЕК.

Центральну частину УЩ характеризує швидкісний розріз профілю DOBRE-4 (рис. 12), що протягується в північно-схід-

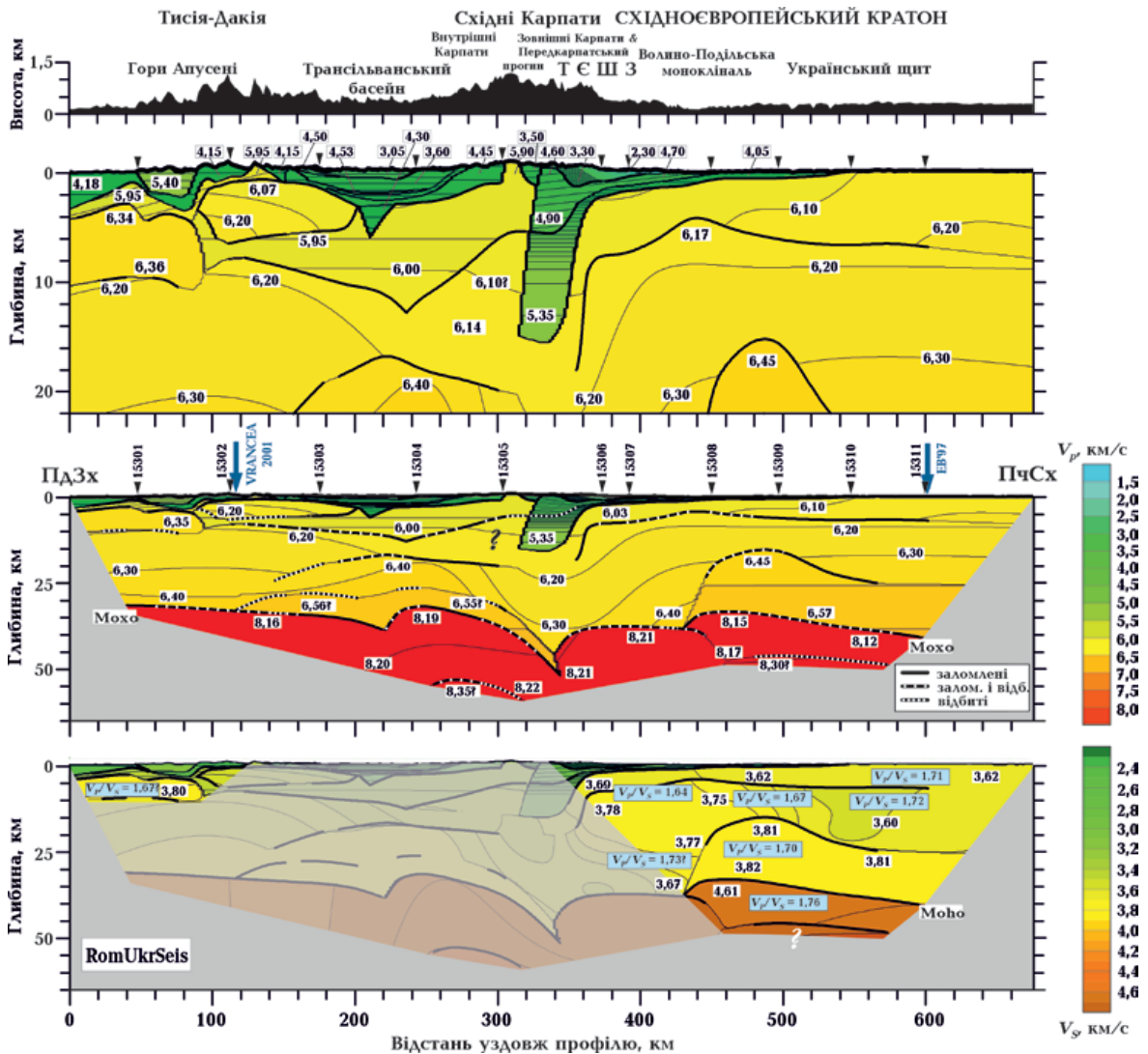


Рис. 11. Двовимірні моделі сейсмічних швидкостей P - і S -хвиль у корі та верхній частині мантії уздовж профілю RomUkrSeis, отримані за допомогою пакету SEIS83 [Červený, Pšencík, 1984], і у верхній корі на південно-західному кінці моделі (нижня панель). Вказано положення тектонічних одиниць на поверхні, зокрема приблизну протяжність ТТЗ по профілю. Вертикальне перебільшення $\sim 11:1$ для верхнього перетину і $\sim 2,4:1$ для інших. Решта умовних позначень див. на рис. 9 і 10.

Fig. 11. Two-dimensional models of seismic P - and S -wave velocities in the crust and upper mantle along the RomUkrSeis profile, obtained with the SEIS83 package [Červený, Pšencík, 1984], and in the upper crust at the southwestern end of the model (the very bottom panel). The positions of the tectonic units are indicated on the surface, including the approximate extent of the TTZ along the profile. Vertical exaggeration is $\sim 11:1$ for the upper section and $\sim 2.4:1$ for the rest. The rest of the conventional ones are shown in Figs. 9 and 10.

ному напрямку від Північної Добруджі до західного краю Середньопридніпровського мегаблока (на сході м. Кривий Ріг) [Starostenko et al., 2013б]. Довжина профілю 500 км, пункти SP15100—SP15112. Безпосередньо відкриту частину УЩ охоплено профілем між пунктами SP15109+25 км і

SP15112, де він перетинає південну частину Інгульського мегаблока, а між пунктами SP15106 км і SP15108 під осадовим покривом Південноукраїнської монокліналі — Голованівську шовну зону УЩ.

Інгульський мегаблок УЩ представлений Голованівською шовною зоною (пунк-

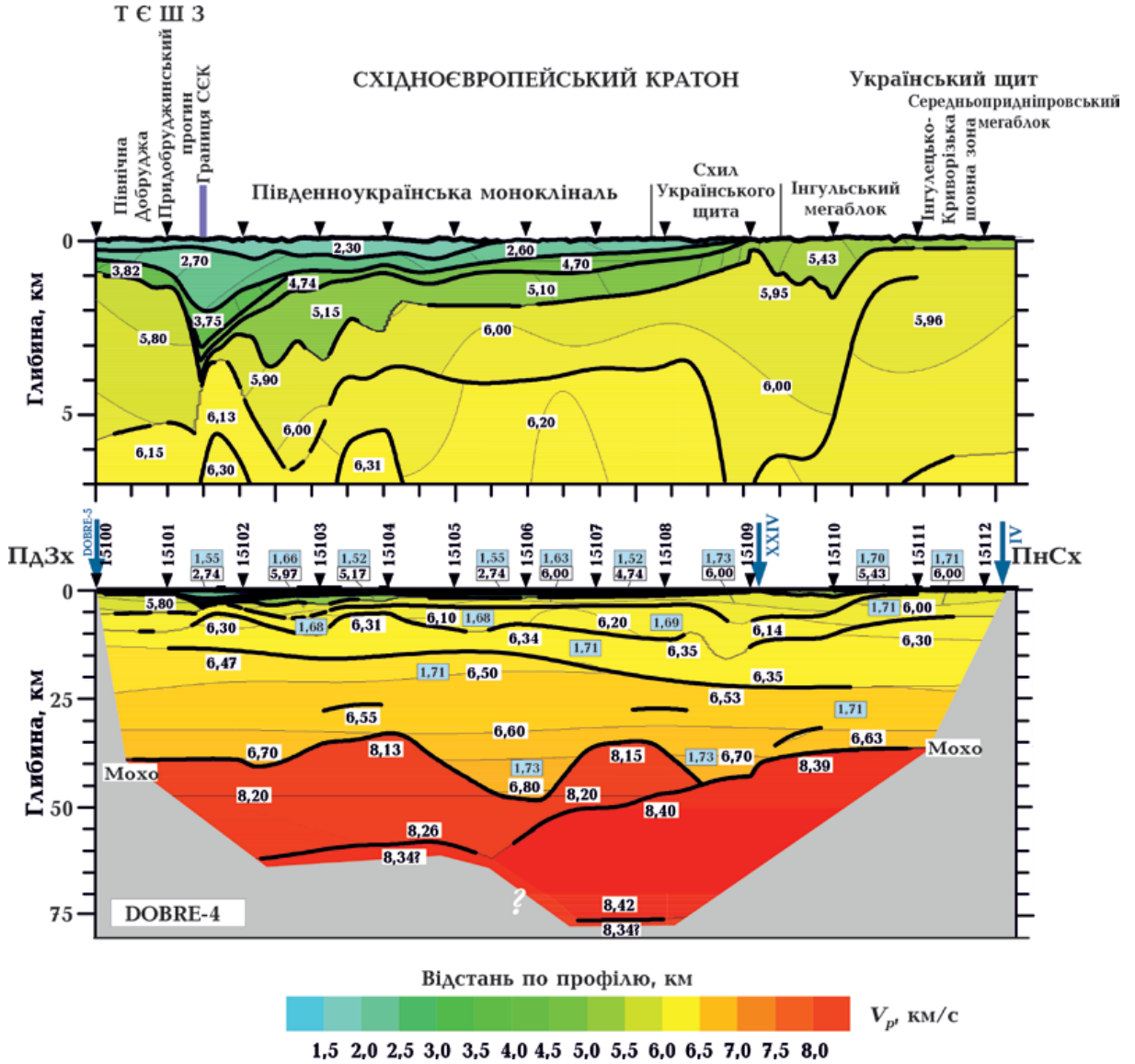


Рис. 12. Двовимірні моделі швидкості P -хвиль в корі та верхній частині мантії вздовж профілю DOBRE-4 [Starostenko et al., 2013б]. Зверху — швидкісна модель P -хвилі верхньої кори, знизу — P -швидкісна модель кори та верхньої мантії, отримана моделюванням прямого трасування променів з використанням пакету SEIS83 [Červený, Pšenčík, 1984]. Вертикальне збільшення 6,7:1 у верхній моделі та 2,4:1 у нижній. Значення V_p/V_S відображаються синіми прямокутниками. Інші умовні позначення див. на рис. 9 і 10.

Fig. 12. Two-dimensional models of seismic P -wave velocity in the crust and upper part of the mantle along the DOBRE-4 profile [Starostenko et al., 2013б]. Top — P -wave velocity model of the upper crust, bottom — P -wave velocity model of the crust and upper mantle obtained by direct ray tracing simulation using the SEIS83 package [Červený, Pšenčík, 1984]. The vertical magnification is 6.7:1 in the upper model and 2.4:1 in the lower one. The V_p/V_S values are shown by blue rectangles. Other symbols are shown in Figs. 9 і 10.

ти від SP15106+10 км до SP15107+20 км), Інгулецько-Криворізькою шовною зоною (пункти SP15111—SP15111+30 км) і центральною частиною. Його ширина вздовж профілю становить ~250 км. Швидкісний розріз кори УЩ тут подібний до розрізу RomUkrSeis у межах Подільського мегаблока. Тут також верхня і середня кора об'єднуються у верхній шар зі швидкістю $V_p=6,10\div 6,45$ км/с (середнє значення — близько 6,30 км/с), нижня кора характеризується швидкістю $V_p=6,50\div 6,70$ км/с. Цікавою є низькошвидкісна аномалія $V_p=6,0\div 6,14$ км/с (на фоні 6,30—6,35 км/с) під ПВ15109, яка відповідає на поверхні трансрегіональному тектонічному шву Херсон—Смоленськ, заглиблюється до рівня 15 км і відображає розуцільнення кори у цьому шві. Товщина кори безпосередньо під щитом не перевищує 37—40 км.

Східна частина УЩ представлена Се-

редньопридніпровським і Приазовським мегаблоками. Останній досліджено профілями DOBRE-99 і DOBRE-2, хоча їх основним завданням було вивчення будови кори Донбасу і Чорноморської западини. На рис. 13 швидкісна модель мегаблока представлена в лівій частині розрізу. Тут корові ізолінії 5,8—6,4 км/с (верхня кора), 6,4—6,7 км/с (середня кора), 6,7—6,8 км/с (нижня кора) відображають більшу основність Приазовського мегаблока (широкий розвиток порід гранулітової фації) порівняно з Інгульським. Товщина кори 38—41 км, збільшується в бік Азовського моря та Донбасу. У широтному напрямку — від Оріхіво-Павлоградської шовної зони до східної межі УЩ — товщина кори зменшується від 44 до 34 км, за [Щербаков, 2005]. Детально структура і склад порід земної кори вздовж профілів DOBRE-99 і DOBRE-2 за широким комплексом геолого-геофізичних даних розглянуті в публі-

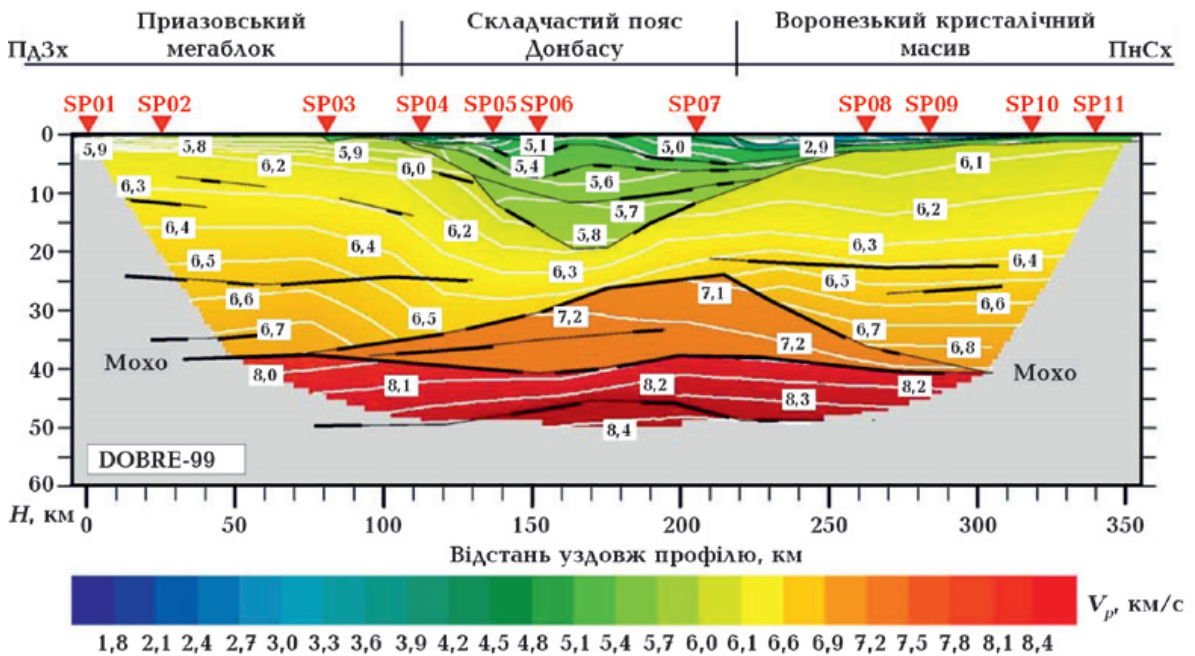


Рис. 13. Швидкісна модель позовжніх хвиль по профілю DOBRE-99 через складчастий пояс Донбасу, Приазовський мегаблок і Воронежський масив, за [Grad et al., 2003]. Вертикальна шкала — глибина під поверхнею в км. Ізолінії швидкості проведені з інтервалом 0,1 км/с (білі прямокутники). Товсті лінії — положення якісних відбивних границь.

Fig. 13. Velocity model of longitudinal waves along the profile DOBRE-99 through the Donbas fold belt, the Azov megablock and the Voronezh massif, after [Grad et al., 2003]. Vertical scale is depth below the surface in km. Velocity isolines are drawn at intervals of 0.1 km/s (white rectangles). Thick lines indicate the position of qualitative reflective boundaries.

каціях [Старостенко и др., 2017; Пашкевич и др., 2018; Муровська та ін., 2024].

Середньопридніпровський мегаблок залишається єдиним, не дослідженим профілями WARR. Тому автори вимушені звернутися до геотраверсів ГСЗ, що його перетинають, зокрема геотраверсу IV [Соллогуб, 1986]. Тут в центральній частині мегаблока спостерігається мінімальна потужність земної кори через аномальне підняття поділу Мохо до глибини майже 30 км, витягнуте в субмеридіональному напрямку від південної межі УЩ до ДДЗ. Цю ділянку мегаблока завширшки до 100 км В.Б. Соллогуб назвав Запорізьким «серединним масивом», розташованим між Інгулецько-Криворізькою, Оріхіво-Павлоградською «протогеосинклінальними зонами», які обмежують мегаблок із заходу та сходу і частково (за ізолініями V_p) складають його крайові ділянки. Це питання обговорюватиметься у другій частині цієї статті.

Отже, підсумовуючи матеріали шести профілів WARR, доходимо висновку, що швидкісна структура кристалічної кори УЩ характеризується переважно поступовим зростанням V_p від 5,4—6,15 км/с біля земної поверхні до 6,6—7,6 км/с біля поверхні Мохо. При цьому мінімальні значення $V_p=5,4\div 5,5$ км/с відносяться до ділянок, подрібнених густою мережею розломів (наприклад, Інгульський мегаблок або Голованівсько-Вінницька ділянка УЩ), а максимальні значення $V_p=7,4\div 7,6$ км/с — до площ розвитку високошвидкісної нижньої кори. За середніми швидкісними характеристиками кора УЩ поділяється на три шари: верхній (5,8—6,3 км/с), середній (6,3—6,7 км/с), нижній (6,7—7,4 км/с), тобто в дещо ширших межах V_p , ніж у цілому для західної частини СЄК, за [Thybo et al., 2003]. Середня потужність земної кори 40—45 км. Максимальна — 50 км (в кількох видних прогинах Мохо).

Дніпровсько-Донецька западина. Як найважливіший нафтогазоносний і вугленосний регіон України, ДДЗ є геологічно і геофізично найбільш дослідженою серед аналогічних рифтових структур Європи. Вона вивчається понад 100 років тисяча-

ми свердловин (деякі сягають глибини 5—6 км) і шахт, десятками профілів ГСЗ, електророзвідки, детальними і наддетальними гравіметричними, геотермічними і магнітними зйомками. Результати цих досліджень викладені у численних звітах, статтях і монографіях, більшість з яких присвячені будові та історії розвитку безпосередньо осадового басейну (узагальнення див. [Гавриш, 1987; Тектонічна..., 2007а; Муровська та ін., 2024]). Глибинна будова ДДЗ, включаючи докембрійський кристалічний фундамент і верхню частину верхньої мантії, що примикає до нього, висвітлюється переважно у геофізичних (геолого-геофізичних) роботах (узагальнення див. [Чекунов, 1994; Егорова, Старостенко, 2006; Стомба и др., 2006а; Гордиенко и др., 2006; Keller, Stephenson, 2007; Pobedash, 2015; Старостенко и др., 2015, 2018; Starostenko et al., 2018; Пашкевич и др., 2018; Макаренко та ін., 2021; Муровська та ін., 2024]).

Оскільки нас цікавить саме цей аспект проблеми, ми звертаємося насамперед до таких геолого-геофізичних досліджень, причому до найсучасніших. Як і в межах УЩ, ми опираємося на сейсмічні дані XXI ст., а саме профілі GEORIFT-13 [Starostenko et al., 2018] і DOBRE-99 [Maystrenco et al., 2003; Grad et al., 2003], хоча на січних до ДДЗ профілях ГСЗ минулого століття [Соллогуб, 1986 та ін.] також чітко простежується цікавий рельєф поділу Мохо, що використано при густинному і геотермічному моделюванні [Yegorova et al., 1999; Гордиенко и др., 2006; Куприенко и др., 2010; Старостенко и др., 2018; Пашкевич и др., 2018].

Щоб не повторювати давно відомі і багаторазово опубліковані матеріали з будови і розвитку осадового заповнення ДДЗ, нагадаймо лише, що рифтове походження западини (авлакогену) зараз майже ніким не заперечується. Як було показано у статті [Чекунов, Пашкевич, 1989], вона перетинає Приазовський, Середньопридніпровський, Інгульський і Росинський мегаблоки УЩ, які простежуються і у ВМ (Волинський, Росинський та Інгульський

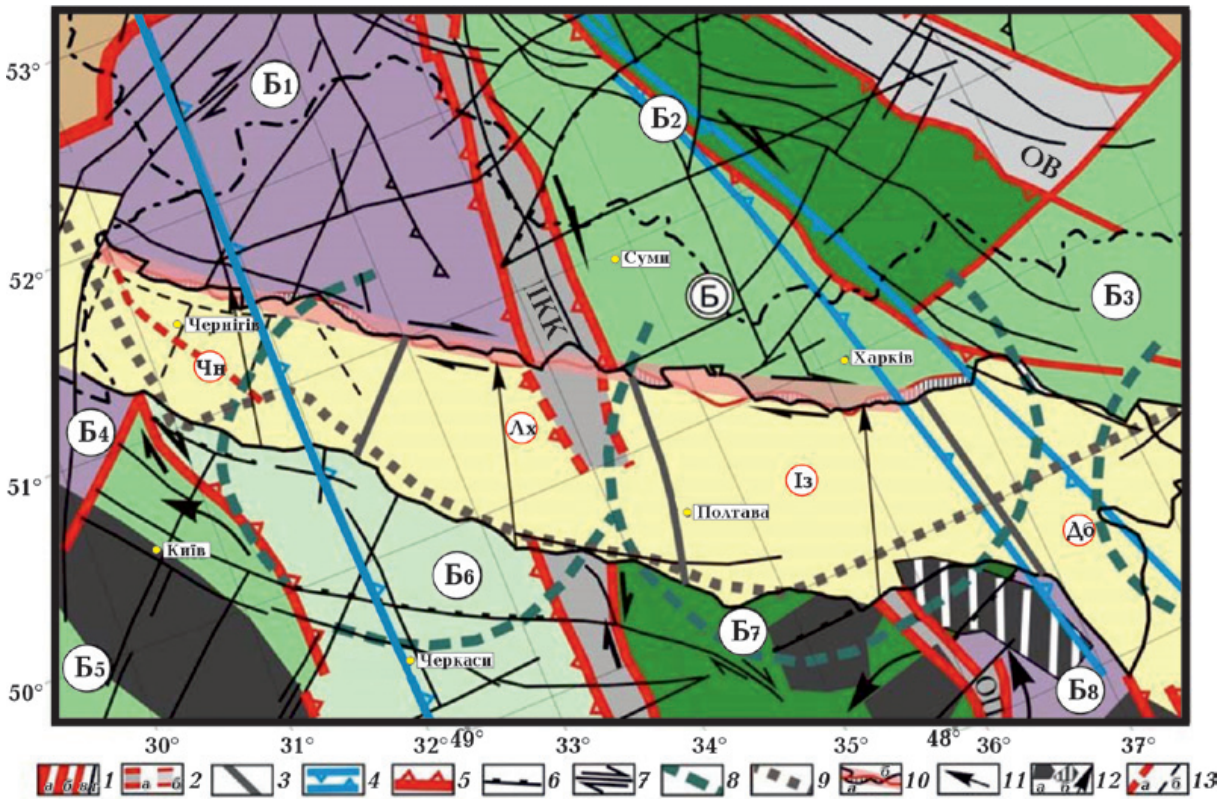


Рис. 14. Фрагмент Схеми тектонічного районування кристалічного фундаменту Сарматії, за [Старостенко и др., 2017] (світло-зеленим показано грабен ДДЗ): 1 — розломи (а — міжгеоблокові, б — міжмегаблокові, в — міжблокові, г — інші); 2 — шовні зони першого (а) та другого (б) рангу; 3 — міжсегментні розломи ДДЗ; 4 — трансрегіональні тектонічні шви; 5–8 — кінематичні типи розломів (5 — насуви, 6 — скиди, 7 — зсуви, 8 — кільцеві структури, виділені за аерокосмічними даними); 9 — північна межа поширення високошвидкісного прошарку в перехідній зоні верхньої мантії [Цветкова, Бугаєнко, 2012]; 10 — положення суміщених північного (чорний) і південного (червоний) крайових розломів грабену ДДЗ та передбачуване положення дорифтової шовної зони (рожева смуга); перекриття (а) та «зіяння» (б) при суміщенні; 11 — напрямком переміщення південного крайового розлому для оптимального поєднання з північним; 12 — давні ядра консолідації кори (а), перероблені з направленням їх обертання під час формування рифту, за [Чекунів, Пашкевич, 1989] (б); 13 — положення розломів УЩ після поєднання крайових розломів ДДЗ. Літери у великих кружках — блоки першого рангу ВМ і мегаблоки УЩ: Б1 — Брянський, Б2 — Курський, Б3 — Россошанський, Б4 — Волинський, Б5 — Росинський, Б6 — Інгульський, Б7 — Середньопридніпровський, Б8 — Приазовський. Шовні зони: ІКК — Інгулецько-Криворізько-Крупецька та ОП — Оріхів-Павлоградська І-го рангу, ОВ — Олексіївсько-Воронезька ІІ-го рангу. Літери у малих кружках — блоки ДДЗ: Чн — Чернігівський, Лх — Лохвицький, Із — Ізюмський, Дб — Донбаський.

Fig. 14. Fragment of the tectonic scheme of the Sarmatia, after [Starostenko et al., 2017] (light green — rift of DDD): 1 — faults (a — inter-geoblock, b — inter-megablock, v — inter-block, g — others); 2 — suture zones of the first (a) and second (b) rank; 3 — intersegmental faults of the DDD; 4 — transregional tectonic sutures; 5–8 — kinematic types of faults (5 — thrusts, 6 — normal, 7 — strike-slip, 8 — round structures identified from aerospace data); 9 — northern border of the distribution of the high-velocity layer in the transition zone of the upper mantle [Tsvetkova, Bugaenko, 2012]; 10 — position of the combined northern (black) and southern (red) marginal faults of the DDD rift and the estimated position of the pre-rift suture zone (pink stripe); overlap (a) and «gaping» (b) when combined; 11 — direction of movement of the southern marginal fault for optimal combination with the northern one; 12 — ancient cores of crustal consolidation (a), the same ones, reworked (b) with the direction of their rotation during rift formation, according to [Chekunov, Pashkevich, 1989]; 13 — position of the Ukrainian Shield faults after combining the DDD marginal faults. Letters in large circles are first-ranked blocks of the VM and domains of the Ukrainian Shield: B1 — Bryansk, B2 — Kursk, B3 — Rossoshan, B4 — Volyn, B5 — Ros, B6 — Ingul, B7 — Middle Dnipro, B8 — Azov. Suture zones: IKK — Inhulets-Kryvyi Rig-Krupetsk and OP — Orikhiv-Pavlograd of the first rank, OV — Oleksiyivka-Voronets of the second rank. Letters in small circles are the blocks of the DDD: Чн — Chernihiv, Лх — Lohvytsia, Із — Izyum, Дб — Donbas.

— у Брянський області, Середньопридніпровський і Приазовський — у Курський). Простежуються і зони розломів з УЩ на ВМ з деяким зміщенням за рахунок правосторонніх зсувів вздовж розломних обмежень ДДЗ, як це показано у статті [Старостенко и др., 2017] (рис. 14).

Згідно з даними [Тектонічна..., 2007б], послідовність етапів формування западини наступна: середньодевонський до-рифтовий, пізньодевонський рифтовий, турнейсько-ранньовізейський епірифтовий, ранньопермський відроджено-рифтово-синеклізний, мезозойський синеклізний та кайнозойський епісинеклізний. Проте час початку і механізм рифтогенезу досі до кінця не з'ясовані та є предметом суперечок. До цього часу ні в середині ДДЗ, ні на її схилах між девонськими відкладами і архей-ранньопротерозойським кристалічним фундаментом не зустрінуті відклади, давніші за девон. Це виключає ДДЗ з низки інших палеоавлакогенів СЕК (Пачелмського, Овруцького, Волинсько-Оршанського та ін.), в осьових частинах яких рифей зустрінутий. Вузька осьова частина грабену ДДЗ поки що не досягається свердловинами, а геофізичні дані — густинне, геотермічне моделювання [Yegorova et al., 1999; Кутас, Пашкевич, 2000; Куприенко и др., 2010; Старостенко и др., 2017, 2018; Пашкевич и др., 2018; Stephenson et al., 2021; Муровська та ін., 2024] і результати дослідження за сейсмічним профілем GEORIFT-13 [Starostenko et al., 2018] вказують на те, що під верхнім і середнім шарами кристалічної кори, представленими гранітоїдами і гранулітами, лежить шар (нижня кора) основних і ультраосновних порід мантіїного походження.

У статті [Yegorova et al., 1999] наведено результати тривимірного гравітаційного аналізу структури кори та верхньої мантії перехідної зони — Дніпровський грабен—Донецька складчаста споруда (ДСС) і самої ДСС з використанням техніки гравітаційного бекстрипінгу. Було отримано чітку позитивну аномалію амплітудою 100 або 200 мГал (залежно від двох варіантів глибини залягання межі поділу Мохо) уздовж

осі рифтового басейну. Амплітуда аномалії збільшується на південний схід відповідно до збільшення товщини осадових відкладів. Аномалія пояснюється вторгненням основних та ультраосновних порід під час пізнього палеозойського рифтогенного процесу.

У статті [Старостенко и др., 2017] «базальтовий» шар земної кори в межах ДДЗ має густину понад $2,90 \text{ г/см}^3$, тоді як безпосередньо під осьовим грабеном він характеризується більшим градієнтом ущільнення з глибиною, більш густинний ($\geq 3,04 \text{ г/см}^3$) і має під осьовим грабеном найбільшу потужність. Під ДСС його товщина досягає 15 км.

На профілі GEORIFT-13 (рис. 15) нижня кора потужністю близько 10 км ($V_p=7,10 \text{ км/с}$) представлена магматичними породами основного—ультраосновного складу. До того ж у Дніпровському грабені виділяються високошвидкісні тіла ($V_p=7,10 \div 7,17 \text{ км/с}$, на деяких ділянках $V_p=7,30 \text{ км/с}$) завтовшки близько 15—20 км і протяжністю понад 230 км, сполучені з мантією.

Отже, всупереч публікації [Тектонічна..., 2007б], в якій відстоюється думка про можливість наявності рифейських відкладів у вузькому осьовому грабені ДДЗ, геофізичні дослідження останніх років доводять виняткову особливість цієї рифтової структури. З палеогеодинамічних позицій [Зоненшайн и др., 1990; Юдин, 2008; Гинтов и др., 2014], ДДЗ є рифтогенною структурою задугового розтягу, який відбувся під час девонських і пізніших субдукційно-колізійних процесів при об'єднанні Лаврусії та Гондвани. У цей час відбулося утворення кількох північних відгалужень океану Палеотетис (середній—пізній девон), зокрема ДДЗ і Прикаспійської западини, з океанічною або субокеанічною корою, яка і складає нижню кору ДДЗ.

Профіль DOBRE-99 можна розглядати саме з таких позицій (див. рис. 13, 16), хоча можуть існувати й інші гіпотези щодо механізмів утворення ДДЗ, зокрема найбільш її активної частини — ДСС. З рис. 16 видно, що, на думку авторів статті

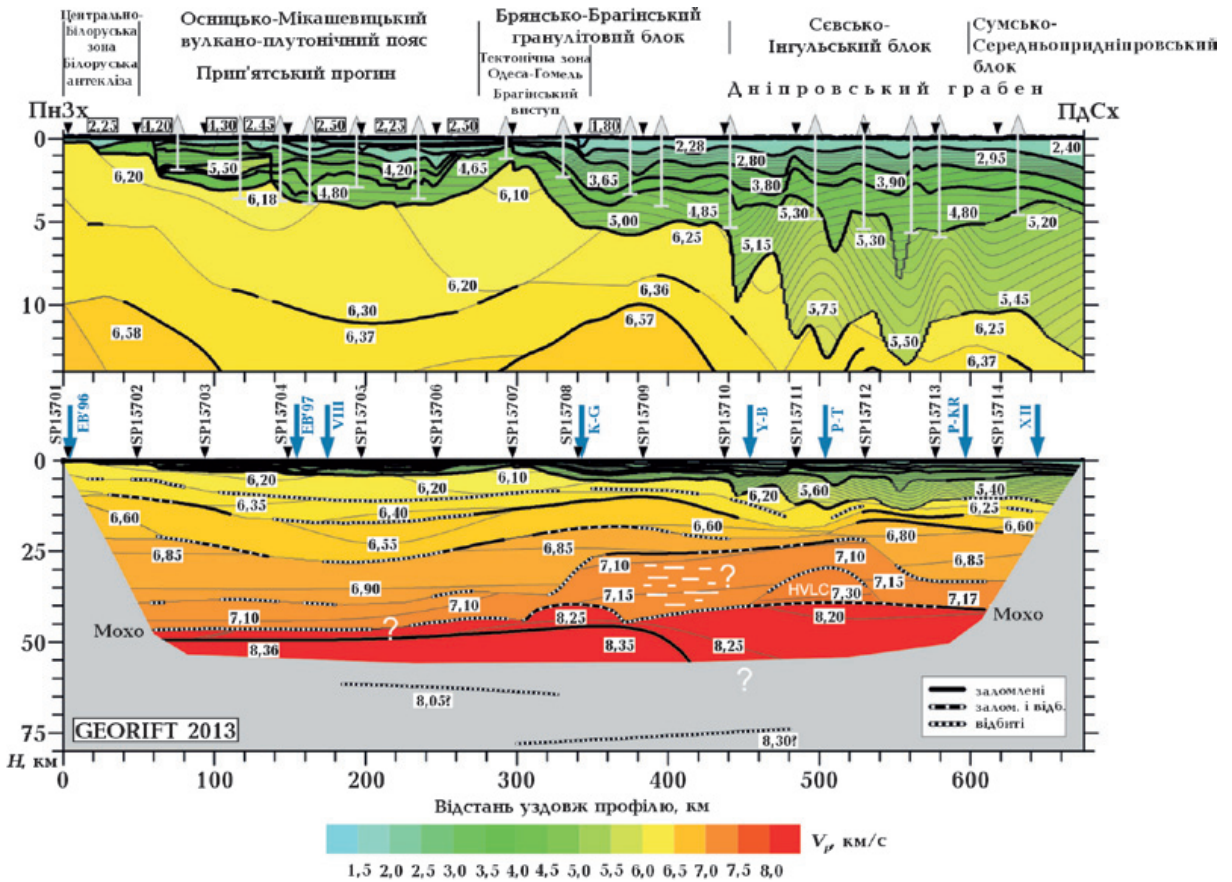


Рис. 15. Двовимірний модель швидкості P -хвилі в корі та верхній мантії, отримана моделюванням прямого трасування променів за допомогою пакета SEIS83 [Červený, Pšenčík, 1984] уздовж профілю GEORIFT 2013 [Starostenko et al., 2018]. Товсті чорні суцільні та пунктирні лінії — основні швидкісні поверхні розділу (інтерфейси). Кольори розмежовують ізолінії швидкості зі значеннями в км/с, показаними в білих прямокутниках. Вказано положення тектонічних одиниць. Вертикальні перебільшення становлять $\sim 11:1$ для верхньої частини моделі та $\sim 2,4:1$ для всієї моделі. Аномалії Буге та аномалії повного магнітного поля вздовж профілю показані на верхніх діаграмах, за [Yegorova et al., 1999; Пашкевич та ін. 2018]. Сірі трикутники на верхньому розтині — глибокі свердловини Стрілки показують положення точок вибуху, сині стрілки — перетини з іншими профілями, а саме: EV'96 — EUROBRIDGE'96, EV'97 — EUROBRIDGE'97, VIII — геотраверс VIII, К-Г — геотраверс Київ—Гомель, Y-B — геотраверс Яготин—Батурин, P-T — геотраверс Пуриятин—Талалаївка, P-KR — геотраверс Путивль—Кривий Ріг, XII — геотраверс XII.

Fig. 15. Two-dimensional model of seismic P -wave velocity in the crust and upper mantle obtained by direct ray-tracing simulation with the help of SEIS83 [Červený, Pšenčík, 1984] along the GEORIFT 2013 profile [Starostenko et al., 2018]. Thick black solid and dashed lines represent the main velocity interfaces. Colors delimit velocity isolines with values in km/s shown in white rectangles. The positions of tectonic units are indicated. Vertical exaggerations are $\sim 11:1$ for the upper part of the model and $\sim 2.4:1$ for the entire model. Arrows show the position of the shot points. Gray triangles on the top section are deep wells. Blue arrows show intersections with other profiles, namely EV'96 — EUROBRIDGE'96, EV'97 — EUROBRIDGE'97, VIII — geotraverse VIII, K-G — Kyiv-Gomel geotraverse, Y-B — Yagoty-Baturyn geotraverse, P-T — Pyriaty-Talalayivka geotraverse, P-KR — Putivl-Kryvyi Rig geotraverse, XII — XII geotraverse.

[Maystrenko et al., 2003], під час початкового розтягу в межах ДСС накопичилася вулканогенно-осадова товща від середнього девону до мезокайнозою, яка покривала і сусідні Приазовський та Воронежський мегаблоки (рис. 16, б). Стиснення літосфери,

яке почалося в пермо-тріасі, призвело до регіонального підйому території і поступового змиву осадового покриву, особливо з приазовського крила ДСС. Оскільки стиснення найбільш сильно відбивалося на структурі верхньої мантії (рис. 16, а), ін-

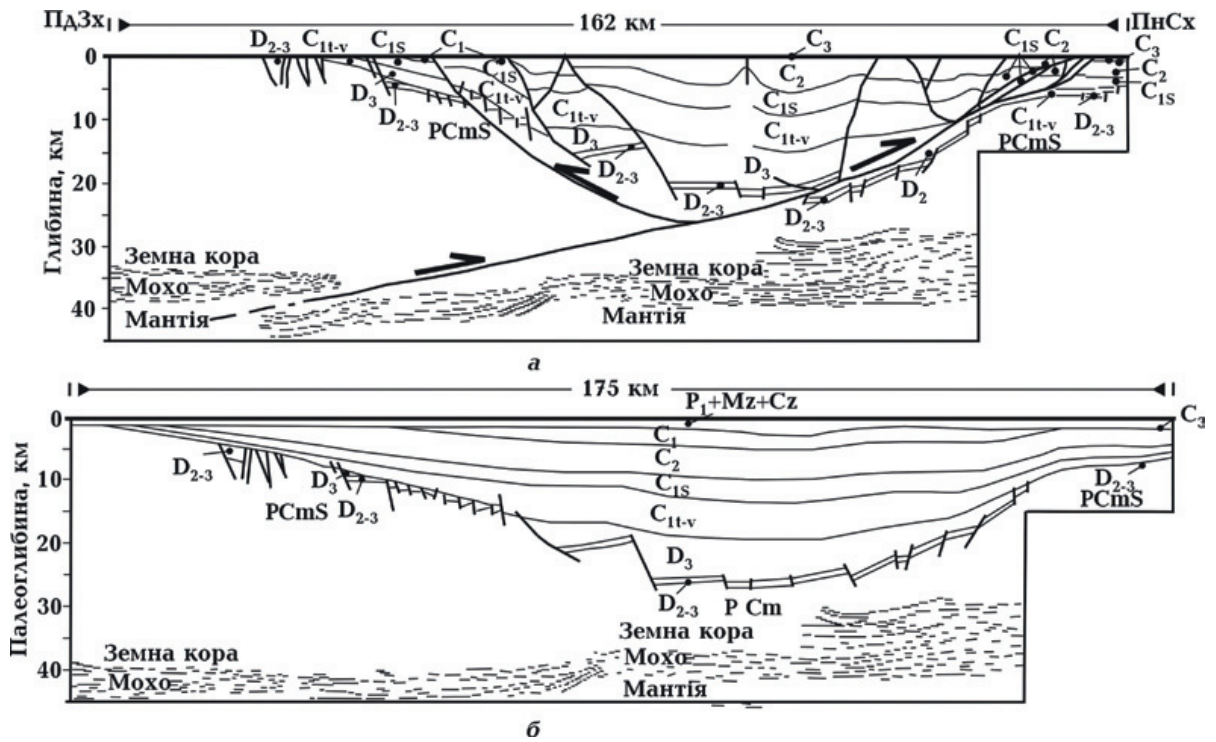


Рис. 16. Розріз по профілю DOBRE-99, доповнений сейсмічними розрізами DOBREreflection-2000 і DOBRE-2001 (а); палінспастична реконструкція розрізу перед скороченням [Majstrenko et al., 2003] (б).

Fig. 16. Seismic DOBRE-99 section, supplemented by seismic DOBREreflection-2000 and DOBRE-2001 sections (a); palinspastic reconstruction of the section before contraction [Majstrenko et al., 2003] (b).

версійний процес в осадовій призмі трюгу ДСС почався дещо пізніше — у крейді. Саме до цього періоду в статті [Majstrenko et al., 2003] відноситься процес утворення двох лістричних розломів-насувів, які обмежують осадову призму ДСС з півдня та півночі і витискують її догори, призводячи до напруженої складчастості.

Інша гіпотеза (геодинамічна) виходить, як уже відзначалося, із загальновідомого (палеомагнітні та палеокліматичні дані) процесу існування океану Палеотетис і об'єднання в карбоні—тріасі [Torsvik et al., 2012] шляхом субдукції—колізії континентів Лаврусії та Гондвани, чим і викликано стиснення Сарматії в субмеридіональному напрямку (у сучасних координатах). З цієї позиції лістричний розлом південного падіння (рис. 16, а), простежений від поверхні вглиб мантії, може інтерпретуватися як слід Донецької сутури [Юдин, 2008], яка прослідковується на поверхні більш як на 600 км від Соledару (48,7°/38,0°) у При-

каспій (46,5°/46,0°). Тобто час закладання цього розлому не крейда, а карбон—тріас, і початкова його природа не насув, а підсув, який відображає процес субдукції з півночі. До речі, за сейсмотомографічними даними [Гинтов и др., 2014], на 44° сх.д. (Калмикія) у мантії простежується слєб протяжністю до 600 км, який занурюється у південному напрямку від лінії Донецької сутури на глибину 350 км. У крейді, як передбачено в моделі [Majstrenko et al., 2003], розлом, що розглядається, при стисненні міг стати вже насувом-відривом.

Цікаво, що ДДЗ перетинає в південно-східному напрямку всю Сарматію, проте в регіональному сенсі на будову грабену в межах України впливає не так будова кори Сарматії, як зміна його характеристик саме в цьому напрямку. Ширина грабену збільшується від Чернігова до Донецька з 70 до 160 км; глибина залягання кристалічного фундаменту від Брагинського виступу до Донецька — з декількох сотень

метрів до понад 20 км; так само потужність карбонових відкладів — з 0,5 км до 15 км, девонських — з 0—100 м до 7 км, в той час як товщина кори, навпаки, зменшується з 45 до 38 км [Егорова, Старостенко, 2006; Тектонічна ..., 2007а,б; Pobedash, 2015]. Все це більше підходить до геодинамічної концепції, оскільки початок утворення ДДЗ знаходиться саме на південному сході — північній окраїні Палеотетису, а в напрямку на північний захід його осадова призма звужується і мілішає.

Донецька сутура в межах Дніпровського грабена не простежується і, за даними праць [Старостенко и др., 2017, 2018], грабен тут обмежений субвертикальними і крутонахиленими розломами. Декілька розломів нахилені під кутами $\geq 45^\circ$, але вони розглядаються як скиди. Слід субдукції під ДДЗ з півночі простежується на профілі EUROBRIDGE'97 (див. рис. 9), але це більш ранній, протерозойський, процес, який передував колізії Сарматії та Фенноскандії.

Дуже яскраво проявляється ДДЗ у перехідній зоні верхньої мантії, що буде показано у другій частині цієї статті.

Отже, різними дослідниками розглядаються дві концепції утворення ДДЗ — рифтогенна і палеогеодинамічна. Ці концепції не суперечать, а доповнюють одна одну. Сучасним аналогом палеорифту ДДЗ може бути певною мірою Аденський рифт, який поєднується з Індійським океаном як його продовження і водночас має багато ознак континентального рифту [Михайлов, 2002].

Висновки. За останні 25 років геолого-геофізичне вивчення земної кори України зазнало значного поштовху вперед, особливо за рахунок прогресу в застосуванні геофізичних методів і доповнення їх сейсмічним методом ширококутного відбиття/заломлення (WARR), який покладено в основу розгляду будови земної кори УЩ і ДДЗ.

Сейсмічним методом WARR досліджено майже всі мегаблоки УЩ (крім Середньопридніпровського), встановлено швидкісну будову земної кори, яка за середніми швид-

кісними характеристиками поділяється на три шари: верхній (5,8—6,3 км/с), середній (6,3—6,7 км/с) і нижній (6,7—7,4 км/с). Середня потужність земної кори 40—45 км, що на приблизно 5 км менше потужності, визначеної методом ГСЗ.

При розгляді тектоніки та глибинної будови земної кори УЩ автори віддають перевагу геодинамічній (плитоплюмтектонічній) концепції розвитку тектоносфери Землі, яка в межах України підтверджується насамперед методами геофізики (ГСЗ, WARR, палеомагнетизм, тектонофізика, сейсмотомографія). Геотраверсами ГСЗ і профілями WARR встановлено лістричні зони розломів, які, виположуючись, занурюються в мантію або спостерігаються безпосередньо у мантії. Тектонофізичними дослідженнями встановлено субгоризонтальні рухи вздовж розломів, а також поля горизонтальних напруг, що охоплюють кору УЩ. Ці дані вказують на те, що, починаючи з неоархею, щит розвивався за механізмами плитовоплюмової тектоніки.

До утворення рифт-синеклізи ДДЗ призвели, головним чином, горизонтальні рухи літосфери: розтяг і стиснення та правосторонні здвиги. Профілями DOBRE-1999—2001 виявлено лістричні розломи, які обмежують ДСС і вказують, на думку авторів цієї статті, на субдукційні процеси, що призвели до її утворення.

Профілями WARR DOBRE-1999—2001 та Georift-13 достеменно встановлено, що під девонськими відкладами осьового рифту ДДЗ залягають основні—ультраосновні породи мантійного походження, а не рифейські осади, як передбачалося раніше.

Показано, що найбільш вірною може бути рифтогенно-геодинамічна гіпотеза утворення ДДЗ, яка виходить з процесу існування океану Палеотетис і об'єднання в карбоні—тріасі, шляхом субдукції—колізії, континентів Лаврусії та Гондвани.

Подяка. Робота виконувалась і частково фінансувалась за основним пріоритетним тематичним напрямом Відділення наук про Землю 1.5.2.1. «Вивчення глибинної будови літосфери методами

геофізики з метою пошуку корисних копалин», затвердженим Постановою Президії НАН України від 10.01.2024 № 8 і Постановою Кабінету міністрів України від

30.04.2024 р. № 476. Автори щиро вдячні обом рецензентам за корисні зауваження і рекомендації, які допомогли покращити статтю.

Список літератури

- Бугаєнко І.В., Заєц Л.Н., Цветкова Т.А. Скоростная типизация средней и нижней мантии Европы. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 3. С. 88—101. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i3.2015.111104>.
- Гавриш В.К. Глубинное строение и эволюция Днепровско-Донецкого палеорифта. *Геотектоника.* 1987. № 2. С. 119—128.
- 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., Бугаєнко І.В., Заєц Л.Н. Региональная 3-D P-скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-Европейской платформы). *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 6. С. 27—39.
- Гейко В.С., Шумлянская Л.А., Бугаєнко І.В., Заєц Л.Н., Цветкова Т.А. Трехмерная модель верхней мантии Украины по временам прихода P-волн. *Геофиз. журн.* 2006. Т. 28. № 1. С. 3—16.
- Геодинамическая карта Украины.* Под ред. Л.С. Галецкого. Киев: Геопрогноз, 1993, 213 с.
- Геолого-геофизическая модель Голованевской шовной зоны Украинского щита.* Под ред. А.В. Анциферова. Донецк: Вебер, 2008, 308 с.
- Геохронология раннего докембрия Украинского щита.* Архей. Отв. ред. Н.П. Щербак. Киев: Наук. думка, 2005, 244 с.
- Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой.* Отв. ред. Н.П. Щербак. Киев: Наук. думка, 2008, 240 с.
- Гинтов О.Б. *Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины.* Киев: Феникс, 2005, 572 с.
- Гинтов О.Б. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита — новые данные и следствия. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145>.
- Гинтов О.Б., Егорова Т.П., Цветкова Т.А., Бугаєнко І.В., Муровская А.В. Геодинамические особенности зоны сочленения Евразийской плиты и Альпийско-Гималайского пояса в пределах Украины и прилегающих территорий. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 5. С. 26—63. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i5.2014.111568>.
- Гинтов О.Б., Исай В.М. *Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры.* Киев: Наук. думка, 1988, 226 с.
- Гинтов О.Б., Орлюк М.І., Єнтін В.А., Мишак С.В., Бакаржієва М.І., Шимків Л.М., Марченко А.В. Структура західної і центральної частини Українського щита. Спінні питання. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 6. С. 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000>.
- Гинтов О.Б., Пашкевич И.К. Разломно-блоковая тектоника Вольно-Подоллии. Кинематический анализ. *Геофиз. журн.* 2004. Т. 26. № 1. С. 56—70.
- Гинтов О.Б., Пашкевич И.К. Тектонофизический анализ и геодинамическая интерпретация трехмерной геофизической модели Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 2. С. 3—27.
- Гинтов О.Б., Цветкова Т.О., Бугаєнко І.В., Заяць Л.М., Муровська Г.В. Глибинна структура Транс'європейської шовної зони (за даними сейсмотомографії та ГСЗ) і деякі погляди на її розвиток. *Геофиз. журн.* 2022. Т. 44. № 6. С. 63—87. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273640>.
- Глевасский Е.Б. Решение некоторых проблем петрологии и стратиграфии Украинского щита с позиций плитотектоники. *Минерал. журн.* 2005. Т. 27. № 3. С. 57—66.
- Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В. *Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы).* Киев: Корвін пресс, 2006, 142 с.
- Егорова Т.П., Старостенко В.И. Геолого-

- геофизическая изученность Днепровско-Донецкого авлакогена. В кн.: *Строение и динамика литосферы Восточной Европы*. Под ред. А.Ф. Морозова, Н.Ф. Межеловского, Н.И. Павленковой. Москва: Геокарт, Геос, 2006, С. 296—306.
- Ентин В.А., Гуськов С.И., Орлюк М.И., Гинтов О.Б., Осьмак Р.В. Карта абсолютных значений поля силы тяжести Украины и некоторые аспекты ее возможной интерпретации. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 1. С. 53—61. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111323>.
- Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. *Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2 кн.* Москва: Недра, 1990. Кн. 2, 334 с.
- Ильченко Т.В. Методика определения скоростной модели по системе профильных годографов волн в ГСЗ. *Геофиз. журн.* 1985. Т. 7. № 1. С. 40—45.
- Кирилюк В.П. Про районування та так звані «шовні зони» фундаменту Українського щита. *Мінерал. журн.* 2004. № 4. С. 27—31.
- Кирилюк В.П. Тектоническое районирование Украинского щита как основа составления легенд Центрально-украинской серии листов Госгеолкарты-200. *Регіональні геологічні дослідження в Україні і питання створення Держгеолкарти-200: Тези доп. 1-ї науково-виробничої наради геологів-зійомщиків України (17—22 вересня, м. Гурзуф)*. Київ, 2001, С. 49—52.
- Клочков В.М., Шевченко А.М., Клочков С.В. Тектонический анализ как основа совершенствования действующей хроностратиграфической корреляционной схемы раннего докембрия Украинского щита. *Мінерал. ресурси України*. 2009. № 2. С. 29—36.
- Костенко М.М. Геологічне довивчення раніше закартованих площ та створення Держгеолкарти масштабу 1:200 000 — важливий етап геологічного вивчення надр території України (здобутки і проблеми). *Мінерал. ресурси України*. 2018. № 3. С. 3—12. <http://dx.doi.org/10.31996/mrgu.2018.3.3-12>.
- Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Легостаева О.В., Савченко А.С. Трехмерная плотностная модель земной коры и верхней мантии Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса. *Геофиз. журн.* 2010. Т. 32. № 6. С. 175—214. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i6.2010.117461>.
- Кутас Р.И. Карта плотности теплового потока в мВт/м² территории Украины. В кн.: *Очерки геодинамики Украины*. Под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018, С. 310—323.
- Кутас Р.И. Тепловое поле и геотермический режим литосферы. В кн.: *Литосфера Центральной и Восточной Европы. Обобщение результатов исследований*. Киев: Наук. думка, 1993, С. 114—133.
- Кутас Р.И., Пашкевич И.К. Геотермическая и магнитная модели земной коры Донбасса (тектонический анализ совместно с данными ГСЗ). *Геофиз. журн.* 2000. Т. 22. № 4. С. 111—121.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Восточноевропейская платформа*. Под ред. А.В. Чекунова. Киев: Наук. думка, 1989, 187 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы IV, VI, VIII*. Под ред. А.В. Чекунова. Киев: Наук. думка, 1988, С. 127—165.
- Макаренко И.Б. Плотностная неоднородность земной коры Украины и смежных регионов по данным трехмерного гравитационного моделирования. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 2. С. 45—85. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230190>.
- Макаренко И.Б., Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Савченко О.С., Легостаева О.В. *Неоднорідність земної кори України і суміжних регіонів за результатами 3D гравітаційного моделювання*. Київ: Наук. думка, 2021, 204 с.
- Михайлов В.А. *Геологія України: навчальний посібник*. Київ: Вид-во КНУ імені Тараса Шевченка, 2023, 114 с.
- Михайлов В.А. *Основи геотектоніки: навчальний посібник*. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2002, 168 с.
- Мичак С.В. Геодинамічний розвиток Українського щита і утворення родовищ корисних копалин за даними геофізичних та геохронологічних досліджень. *Вісник НАН України*

- ни. 2016. № 6. С. 77—85. <https://doi.org/10.15407/vsn2016.06.077>.
- Мичак С.В. Структурні особливості і кінематичний розвиток земної кори західної частини Українського щита: *автореф. дис. ... г-ра геол. наук, 04.00.22 — геофізика*. Київ, 2019, 40 с.
- Муровська А., Стівба С., Верпахівська О., Гнілко О., Орлюк М., Мичак С. *Структура та геодинаміка літосфери нафтогазоносних і рудних регіонів України за новітніми геолого-геофізичними даними*. Київ: Наук. думка, 2024, 245 с. <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1912-6>.
- Орлюк М.І. Магнітна модель земної кори південного заходу Східноєвропейської платформи: *автореф. дис. ... г-ра геол. наук, 04.00.22 — геофізика*. Київ, 1999, 32 с.
- Орлюк М.І., Роменец А.А., Марченко А.В., Орлюк І.М., Іващенко І.Н. Магнітне схилення на території України: результати спостережень і вирахувань. *Геофіз. журн.* 2015. Т. 37. № 2. С. 73—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111307>.
- Очерки геодинамики Украины*. Под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018, 465 с.
- Пашкевич І.К., Русаков О.М., Кутас Р.І., Гринь Д.Н., Старостенко В.І., Яник Т. Стрoение литосферы по комплексному анализу геолого-геофизических данных вдоль профиля DOBREFraction'99/DOBRE-2 (Восточно-Европейская платформа—Восточно-Черноморская впадина). *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 5. С. 98—136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147476>.
- Савко К.А., Самсонов А.В., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ларионов А.Н., Кориш Е.Х., Ковач В.П., Базиков Н.С. Мезоархейские тоналит-грандъемит-гранодиоритовые ассоциации восточной Сарматии: возраст и геологическое положение. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2019. Т. 27. № 5. С. 4—18. <http://dx.doi.org/10.1134/s086959381905006x>.
- Соллогуб В.Б. *Литосфера Украины*. Киев: Наук. думка, 1986, 183 с.
- Старостенко В.І., Гинтов О.Б. Проблемы геодинамики украинского докембрия (обзор взглядов). В кн.: *Очерки геодинамики Украины*. Под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018, С. 355—367.
- Старостенко В.І., Град М., Гринь Д.Н., Гутерх А., Данновский А., Коломиец Е.В., Легостаева О.В., Лисинчук Д.В., Омельченко В.Д., Стефенсон Р.А., Стратфорд В., Тхибо Г., Толкунов А.П., Флюе Э., Чуба В., Шрода П., Шульгин А., Яник Т. Сейсмические исследования литосферы методами DSS и CDP на стыке Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты (проект DOBRE-2). *Десять геофиз. чтения имени В.В. Федьинского: тезисы*. Москва, 2008.
- Старостенко В.І., Куприенко П.Я., Макаренко І.Б., Легостаева О.В. Плотностная модель земной коры вдоль профиля DOBRE. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30. № 1. С. 28—41.
- Старостенко В.І., Пашкевич І.К., Куприенко П.Я., Макаренко І.Б., Савченко А.С. Днепровско-Донецкая впадина. В кн.: *Очерки геодинамики Украины*. Под ред. В.И. Старостенко, О.Б. Гинтова. Киев: ВІ ЕН ЕЙ, 2018, С. 36—46.
- Старостенко В.І., Пашкевич І.К., Кутас Р.І. Глубинное строение Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2002. Т. 24. № 6. С. 24—48.
- Старостенко В.І., Пашкевич І.К., Макаренко І.Б., Куприенко П.Я., Савченко А.С. Неоднородность литосферы Днепровско-Донецкой впадины и ее геодинамические следствия. II. Геодинамическая интерпретация. *Геодинаміка*. 2017. № 2(23). С. 83—103. <https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.083>.
- Старостенко В.І., Русаков О.М., Пашкевич І.К., Кутас Р.І., Гладун В.В., Орлюк М.І., Куприенко П.Я., Макаренко І.Б., Максимчук П.Я., Козленко Ю.В., Козленко М.В., Легостаева О.В., Лебедь Т.В., Савченко А.С. *Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины*. Киев: Галактика, 2015, 252 с.
- Старостенко В.І., Стифенсон Р.А. Проект ГЕОРИФТ: Глубинное строение и эволюция Днепровско-Донецкой впадины и вала Карпинского. В кн.: *Строение и динамика литосферы Восточной Европы*. Под ред. А.Ф. Морозова, Н.Ф. Межеловского,

- Н.И. Павленковой. Москва: Геокарт, Геос, 2006, С. 291—342.
- Стовба С.Н., Старостенко В.И., Ляшкевич З.М., Сэйнтот А. Изучение динамики и геологических процессов Днепровско-Донецкого палеорифта. В кн.: *Строение и динамика литосферы Восточной Европы*. Москва: Геокарт, Геос, 2006а, С. 307—314.
- Стовба С.Н., Толкунов А.П., Майстренко Ю.П., Стифенсон Р.А., Баер У., Гаевский Д., Раббель В., Старостенко В.И., Тибо Г. Глубинные исследования вдоль профиля DOBRE методом СDR. В кн.: *Строение и динамика литосферы Восточной Европы*. Москва: Геокарт, Геос, 2006б, С. 328—332.
- Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000*. Гол. ред. Д.С. Гурський, С.С. Круглов. Київ: УкрДГРІ, 2007а.
- Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000*. Ч. I. Пояснювальна записка. Київ: УкрДГРІ, 2007б, 97 с.
- Хаин В.Е. *Тектоника континентов и океанов (гог 2000)*. Москва: Научный мир, 2001, 606 с.
- Хаин В.Е., Божко Н.А. *Историческая геотектоника. Докембрий*. Москва: Недра, 1988, 384 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>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Главная геодинамическая граница и сейсмическая визуализация плюмов Восточно-Европейской платформы. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 42. № 1. С. 137—152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158868>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Сейсмическая визуализация плюмов и сверхглубинных флюидов в мантии под Украиной. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 3—9. № 4. С. 42—54. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i4.2017.107506>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Скоростная делимость мантии под Украинским щитом. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 4. С. 75—87. <http://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i4.2016.107802>.
- Чекунов А.В. К геодинамике Днепровско-Донецкой рифт-синеклизы. *Геофиз. журн.* 1994. Т. 16. № 3. С. 3—13.
- Чекунов А.В. *Структура земной коры и тектоника юга европейской части СССР*. Киев: Наук. думка, 1972, 176 с.
- Чекунов А.В., Пашкевич И.К. Тектоническая природа магнитных неоднородностей в литосфере Украины. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1989. № 5. С. 22—26.
- Чекунов А.В., Соллогуб В.Б., Галецкий Л.С., Курлов Н.С. Геодинамическая модель центральной части Украинского щита и Криворожская сверхглубокая скважина. *Геофиз. журн.* 1989. Т. 11. № 4. С. 3—13.
- Щербаков И.Б. *Петрология Украинского щита*. Львов: ЗУКЦ, 2005, 366 с.
- Юдин В.В. *Геодинамика Черноморско-Каспийского региона*. Киев: Изд. УкрГГРИ, 2008, 117 с.
- Bakhmutov, V.G., Mytrokhyn, O.V., Poliachenko, I.B., & Cherkes, S.I. (2023). New palaeomagnetic data for Palaeoproterozoic AMCG complexes of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(4), 3—19. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286283>.
- Bogdanova, S.V. (1991). Segments of the East European Craton. In *EUROPROBE in Jablonna* (pp. 33—38). European Science Foundation. Polish Academy of Sciences.
- Bogdanova, S.V., Bingen, B., Gorbatshev, R., Kheraskova, T.N., Kozlov, V.I., Puchkov, V.N., & Volozh, Y.A. (2008a). The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 160, 23—45. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.024>.
- Bogdanova, S.V., Gintov, O.B. & Lubnina, N.V. (2012a). 1.80—1.75 Ga mafic dykes in the Ukrainian Shield — a key to the paleogeography of Baltica within Columbia Supercontinent. *Symposium, Helsinki, Finland, Sept. 25—28, Programme and Abstracts* (pp. 22—23).
- Bogdanova, S., Gorbatshev, R., Grad, M., Gutech, A., Janik, T., Kozlovskaya, E., Motuza, G., Skridlaite, G., Starostenko, V., & Taran, L. (2006). EUROBRIDGE: New insight into the geodynamic evolution of the East European

- Craton. In D.G. Gee, R.A. Stephenson (Eds.), *European Lithosphere Dynamics* (pp. 599—628). Geol. Soc., London, Memoirs, 32.
- Bogdanova, S., Lubnina, N. & Gintov, O.B. (20126). Formation of the East European Craton (Baltica) in the Late Paleoproterozoic as caused by episodic rotations and collisions within assembling supercontinent Columbia (Nuna). *Abstract 1484469 presented at Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 3—7 Dec.*
- Bogdanova, S.V., Pashkevich, I.K., Gorbatshev, R., & Orlyuk, M.I. (1996). Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics. *Tectonophysics*, 268(1-4), 1—21. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00232-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00232-6).
- Bogdanova, S.V., Starostenko, V.I., Gintov, O.B., Pashkevich, I.K., Kuprienko, P.Ya., Kutas, R.I., Makarenko, I.B., & Tsvetkova, T.A. (20086). Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of Western Sarmatia. *Geophysical Research. Abstr.* 13—18. Apr., Vienna, Austria, 10. CD-ROM.
- Červený, V., & Pšenčík, I. (1984). SEIS83 — numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structures by the ray method. In E.R. Engdal (Ed.), *Documentation of Earthquake Algorithms* (pp. 36—40). Rep. SE-35, World Data Cent. A for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colo.
- Geyko, V.S. (2004). A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 26(2), 3—32.
- Glevassky, E.B., & Glevasska, A.M. (2002). The Ukrainian Shield: Precambrian Regional Structure and Paleogeodynamics. *Mineralogicheskiy Zhurnal*, 24(4), 47—57.
- Grad, M., & Tripolsky, A.A. (1995). Crustal structure from P and S waves and petrological models of the Ukrainian shield. *Tectonophysics*, 250, 89—112. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00045-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00045-X).
- Grad, M., Janik, T., Guterch, A., Środa, P., Czuba, W., EUROBRIDGE'94—97, POLONAISE'97 and CELEBRATION 2000 Seismic Working Groups. (2006). Lithospheric structure of the western part of the East European Craton investigated by deep seismic profiles. *Geological Quarterly*, 50(1), 9—22.
- Grad, M., Gryn, D., Guterch, A., Janik, T., Keller, R., Lang, R., Lyngsie, S.B., Omelchenko, V.D., Starostenko, V.I., Stephenson, R.A., Stovba, S.M., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2003). «DOBRE fraction'99» — velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine). *Tectonophysics*, 371, 81—110. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7).
- Hamilton, Y.B. (2011). Plate tectonics began in the Neoproterozoic and deep mantle plumes were never active. *Lithos*, 123(1-4), 1—20. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.12.007>.
- Janik, T., Środa, P., Czuba, W., & Lysynchuk, D. (2016). Various Approaches to Forward and Inverse Wide-Angle Seismic Modelling Tested on Data from DOBRE-4 Experiment. *Acta Geophysica*, 64(6), 1989—2019. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0084>.
- Janik, T., Starostenko, V., Aleksandrowski, P., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaaya, A., Zayats, K., Mechie, J., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Wójcik, D., Omelchenko, V., Legostaieva, O., Głuszyński, A., Tolkunov, A., Amashukeli, T., Gryn', D., & Chulkov, S. (2022). Lithospheric Structure of the East European Craton at the Transition from Sarmatia to Fennoscandia Interpreted from the TTZ-South Seismic Profile (SE Poland to Ukraine). *Minerals*, 12(2), 1—124. <https://doi.org/10.3390/min12020112>.
- Keller, G.R., & Stephenson, R.A. (2007). The Southern Oklahoma and Dniepr-Donets aulacogens: A comparative analysis. In R.D. Hatcher, M.P. Carlson, J.H. McBride, J.R. Martínez Catalán (Eds.), *4-D Framework of Continental Crust*. Geol. Soc. of America Memoir 200. [https://doi.org/10.1130/2007.1200\(08\)](https://doi.org/10.1130/2007.1200(08)).
- Lysynchuk, D., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., & Kolomiyets, O. (2019). Reconstruction of seismic DSS cross-section of the VI geotravers and detailing of velocity characteristics of the earth crust in the gravity Bandura structure. *Geoinformatics EAGE-2019-16160*.
- Maystrenko, Y., Stovba, S., Stephenson, R., Bayer, U., Menyoli, E., Gajewski, D., Huebscher, C., Rabbel, W., Sainot, A., Starostenko, V., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2003). Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology*, 31(8), 733—736. <https://doi.org/10.1130/G19329.1>.

- Pobedash, M.S. (2015). *Regional CDP seismic studies within the southern flank of the north-western part of the Dnieper-Donets Basin*. Report TP 113/08 of DGP «Ukrgeofizika» Technology Center, Kiev.
- Saintot, A., Stephenson, R., Stovba, S., Brunet, M.-F., Yegorova, T., & Starostenko, V. (2006). The evolution of the southern margin of the Eastern Europe (Eastern European and Scythian platforms) from latest Precambrian-Early Palaeozoic to the Early Cretaceous. In D. Gee, R. Stephenson (Eds.), *The European Lithosphere Dynamics* (Vol. 32, pp. 481—505). Geol. Soc., London, Memoirs. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.30>.
- Starostenko, V., Janik, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Yegorova, T., Verpakhovska, A., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Wójcik, D., Omelchenko, V., Amashukeli, T., Legostaeva, O., Gryn, D., & Chulkov, S. (2023). The SHIELD'21 deep seismic experiment. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(1), 3—10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W., Środa, P., Grad, M., Kovács, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I.M., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedűs, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T. & Tolkunov, A. (2013a). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049—1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>.
- Starostenko, V., Janik, T., Lysynchuk, D., Środa, P., Czuba, W., Kolomiyets, K., Aleksandrowski, P., Gintov, O., Omelchenko, V., Komminaho, K., Guterch, A., Tiira, T., Gryn, D., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2013b). Mesozoic(?) lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. *Geophysical Journal International*, 195(2), 740—766. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt292>.
- Starostenko, V., Janik, T., Mocanu, V., Stephenson, R., Yegorova, T., Amashukeli, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Okoń, J., Dragut, A., Omelchenko, V., Legostaeva, O., Gryn, D., Mechie, J., & Tolkunov, A. (2020). RomUkrSeis: Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians — From the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Tectonophysics*, 794. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228620>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Lysynchuk, D., Aizberg, R., Garetzky, R., Karataev, G., Gribik, Y., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Komminaho, K., Tiira, T., Gryn, D., Guterch, A., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2018). Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212, 1932—1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Farfuliak, L., Czuba, W., Środa, P., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I., Sosson, M., Volfman, Y., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Gryn, D., Guterch, A., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2015). Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 201, 406—428. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>.
- Stephenson, R., Yegorova, T., & Stovba, S. (2021). An investigation of how intracratonic rifting is «seeded»: case study of the Late Devonian Dniepr-Donets Basin rift within the East European Craton. *Precambrian Research*, 362, 106305. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106305>.
- Thybo, H., Janik, T., Omelchenko, V.D., Grad, M., Garetzky, R.G., Belinsky, A.A., Karatayev, G.I., Zlotski, G., Knudsen, M.E., Sand, R., Yliniemi, J., Tiira, T., Luosto, U., Komminaho, K., Giese, R., Guterch, A., Lund, C.-E., Kharitonov, O.M., Ilchenko, T., Lysynchuk, D.V., Skobelev, V.M., & Doody, J.J. (2003). Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. *Tectonophysics*, 371, 41—79. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00200-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00200-2).
- Tolkunov, A., Sydorenko, G., Voitsytskyi, Z., Starostenko, V., Yegorova, T., Stephenson, R., Omelchenko, V., Pobedash, N., & Polyvach, N. (2011). Geological structure of the north-west-

- ern terminus of the Eastern Black Sea Rift from new regional CDP profile DOBRE-2. *3rd International Symposium on the Geology of the Black Sea Region, Abstr., Supplement to GEO-ECO-MARINA No.17/2011, Bucharest, Romania* (pp. 187—189).
- Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Nio-caill, C.M., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., Van Hinsbergen, D.J.J., Domeier, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P.J.A., & Cocks, R.L.M. (2012). Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 114, 325—368. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.06.007>.
- Trypolsky, O.A., Topoliuk, O.V., & Gintov, O.B. (2019). The structure of the earth's crust of the central part of the Holovanivsk suture zone according to the reinterpretation of materials of IV geotraverse of NHS (PK 295-400). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(1), 172—179. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158870>.
- Yegorova, T.P., Starostenko, V.I., Kozlenko, V.G. & Yliniemi, J. (2004). Lithosphere structure of the Ukrainian Shield and Pripyat Trough in the region of EUROBRIDGE-97 (Ukraine and Belarus) from gravity modeling. *Tectonophysics*, 381, 29—59. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2002.06.003>.
- Yegorova, T.P., Stephenson, R.A., Kozlenko, V.G., Starostenko, V.I. & Legostaeva, O.V. (1999). 3-D gravity analysis of the Dnieper-Donets Basin and Donbas Foldbelt, Ukraine. *Tectonophysics*, 313, 41—58. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00189-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00189-4).
- Zelt, C., & Barton, P. (1998). Three-dimensional seismic refraction tomography: A comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin. *Journal of Geophysical Research*, 103(B4). <https://doi.org/10.1029/97JB03536>.

Tectonics and deep structure of the southwestern part of the East European Craton within Ukraine. P. I.

**V.I. Starostenko, O.B. Gintov, G.V. Murovska,
S.V. Mychak, D.V. Lysynchuk, 2024**

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

The paper consists of two parts. The first part, which is presented here, briefly reviews the history of the geological and geophysical study of the platform part of the territory of Ukraine, which is located within the southwestern margin of the East European Craton and occupies a significant area of the Sarmatian lithospheric mini-plate. The main attention is focused on the studies of the XXI century, which made a decisive contribution to the revision of some issues related to geodynamic processes and clarification of the tectonics and deep structure of the studied region. The main geophysical method is the deep seismic sounding of the Earth's crust and mantle in the WARR (wide-angle reflection/refraction) modification, which was carried out in Ukraine by an international team of geophysicists and geologists at the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine with the participation of specialists from Ukraine, Poland, Sweden, Germany, the Netherlands, Denmark, Scotland, Finland, Romania and some other countries. The deep seismic sounding was accompanied by the construction of density, geomagnetic, geothermal, geoelectric, tectonophysical, seismic, and tomographic models of the crust and mantle and was supplemented by geological data and rock isotope age determination. The section on the structure of the crust of the Ukrainian Shield considers the fault domain structure of the shield. It shows that its megablocks differ in many geological and geophysical features: age, composition, and type of magmatism, nature

of geophysical fields, and crustal thickness. According to the average velocity characteristics, the crust of the Ukrainian Shield is divided into three layers: upper (5.8—6.3 km/s), middle (6.3—6.7 km/s), and lower (6.7—7.4 km/s). The average thickness of the crust is 40—45 km. Geotraverses of the DSS and WARR profiles revealed lithic fault zones that, when extended, sink into the mantle or are observed directly in the mantle. The tectono-physical studies revealed subhorizontal movements along the faults and horizontal stress fields covering the crust of the Ukrainian Shield. These data indicate that, since the Neoproterozoic, the shield has developed through the mechanisms of plate-plume tectonics. The section «Dnipro-Donetsk Basin» shows that the formation of the Dnipro-Donetsk Basin rift-syncline was mainly caused by horizontal movements of the lithosphere: stretching and compression and right-lateral shear. The WARR Dobre-1999—2001 and Georift-13 profiles finally established that the Devonian sediments of the Dnipro-Donetsk Basin axial rift are underlain by oceanic-ultrabasic rocks, not reefal sediments, as previously thought. The Dobre-1999—2001 profile revealed lithic faults that delimit the Donetsk Folded Structure and indicate, in the opinion of the authors of this article, the subduction processes that led to its formation. It is concluded that the most correct hypothesis of the formation of the Dnipro-Donetsk Basin may be the rift-generating geodynamic hypothesis, which is based on the existence of the Paleotethys Ocean and the unification of the continents of Laurentia and Gondwana in the Carboniferous-Triassic by subduction-collision.

The second part of the article, which will be published in the next issue of the *Geophysical Journal*, includes a discussion of the Volyno-Podilsky plate, geothermal and density models, Moho surface, the mantle, and provides the conclusions.

Key words: Ukraine, Sarmatia, East-European Craton, tectonics, earth's crust, geophysics, geodynamics.

References

- Bugaenko, I.V., Zaets, L.N., & Tsvetkova, T.A. (2015). Velocity typing the middle and lower mantle of Europe. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 37(3), 88—101. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i3.2015.111104> (in Russian).
- Gavrysh, V.K. (1987). Deep structure and evolution of the Dnipro-Donets paleorift. *Geotectonics*, (2), 119—128 (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 (southwest of the East European Platform). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 27(6), 27—39.
- Geyko, V.S., Shumlyanskaya, L.A., Bugaenko, I.V., Zaets, L.N., & Tsvetkova, T.A. (2006). Three-dimensional model of the upper mantle of Ukraine according to the arrival times of P-waves. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 28(1), 3—16 (in Russian).
- Galetsy, L.S. (Ed.). (1993). *Geodynamic map of Ukraine*. Kiev: Geoprognoz, 213 p. (in Russian).
- Antsiferov, A.V. (Ed.). (2008). *Geological-geophysical model of the Golovanev seam zone of the Ukrainian shield*. Donetsk: Weber, 308 p. (in Russian).
- Shcherbak, N.P. (Ed.). (2005). *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield*. Archaea. Kiev: Naukova Dumka, 244 p. (in Russian).
- Shcherbak, N.P. (Ed.). (2008). *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic*. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Gintov, O.B. (2005). *Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the Earth's crust in Ukraine*. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov, O.B. (2014). Schema of periodization of stages of fault formation in the earth's crust of the Ukrainian shield — new data and consequences. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36(1), 3—18. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145> (in Russian).
- Gintov, O.B., Yegorova, T.P., Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Murovskaya, A.V. (2014). Geodynamic features of the junction zone

- of the Eurasian plate and the Alpine-Himalayan belt within Ukraine and adjacent territories. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36(5), 26—63. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i5.2014.111568> (in Russian).
- Gintov, O.B., & Isay, V.M. (1988). *Tectonophysical studies of faults in the consolidated crust*. Kiev: Naukova Dumka, 226 p. (in Russian).
- Gintov, O.B., Orlyuk, M.I., Entin, V.A., Pashkevich, I.K., Mychak, S.V., Bakarzhieva, M.I., Shimkiv, L.M., & Marchenko, A.V. (2018). The structure of the Western and Central parts of the Ukrainian shield. Controversial issues. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 40(6), 3—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i6.2018.151000> (in Ukrainian).
- Gintov, O.B., & Pashkevich, I.K. (2004). Fault-block tectonics of Volyn-Podoliy. Kinematic analysis. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 26(1), 56—70 (in Russian).
- Gintov, O.B., & Pashkevich, I.K. (2010). Tectonophysical analysis and geodynamic interpretation of the three-dimensional geophysical model of the Ukrainian shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 32(2) 3—27. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i2.2010.117553> (in Russian).
- Gintov, O.B., Tsvetkova, T.O., Bugaenko, I.V., Zayats, L.M., & Murovska, G.V. (2023). The deep structure of the Trans-European Suture Zone (based on seismic survey and GSR data) and some insights in to its development. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(6), 63—87. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i6.273640> (in Ukrainian).
- Glevassky, E.B. (2005). The solution of some problems of petrology and stratigraphy of the Ukrainian shield from the standpoint of plate tectonics. *Mineralohichnyi Zhurnal*, 27(3), 57—66 (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V. (2006). *Dnieper-Donetsk basin (geophysics, deep processes)*. Kiev: Korvin press, 142 p. (in Russian).
- Yegorova, T.P., & Starostenko, V.I. (2006). Geological and geophysical study of the Dnieper-Donetsk avlakogen. In A.F. Morozov, N.F. Mezhelevsky, N.I. Pavlenkova (Eds.), *Structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe* (pp. 296—306). Moscow: Geokart, Geos (in Russian).
- Entin, V.A., Guskov, S.I., Orlyuk, M.I., Gintov, O.B., & Osmak, R.V. (2015). Map of the absolute values of the gravity field of Ukraine and some aspects of its possible interpretation. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 37(1), 53—61. <http://dx.doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i1.2015.111323> (in Russian).
- Zonenshayn, L.P., Kuzmin, M.I., & Natapov, L.M. (1990). *Tectonics of lithospheric plates of the territory of the USSR: in 2 books*. Moscow: Nedra, book 2, 334 p. (in Russian).
- Ilichenko, T.V. (1985). Methodology for determining the velocity model based on the system of profile hodographs of waves in GSZ. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 7(1), 40—45 (in Russian).
- Kyryliuk, V.P. (2004). About zoning and the so-called «seam zones» of the foundation of the Ukrainian shield. *Mineralohichnyi Zhurnal*, (4), 27—31 (in Ukrainian).
- Kirilyuk, V.P. (2001). Tectonic zoning of the Ukrainian shield as the basis for the compilation of legends of the Central Ukrainian series of Gosgeolokarty-200 sheets. *Regional geological research in Ukraine and the issue of the creation of the State Geolokarty-200, September 22, Gurzuf* (pp. 49—52). Kyiv (in Russian).
- Klochkov, V.M., Shevchenko, A.M., & Klochkov, S.V. (2009). Tectonic analysis as the basis for improving the current chronostratigraphic correlation scheme of the early Precambrian of the Ukrainian shield. *Mineral resources of Ukraine*, (2), 29—36 (in Russian).
- Kostenko, M.M. (2018). Geological re-examination of previously mapped areas and the creation of the State Geological Map on a scale of 1:200,000 is an important stage in the geological study of the subsoil of the territory of Ukraine (mining and problems). *Mineral resources of Ukraine*, (3), 3—12. <http://dx.doi.org/10.31996/mru.2018.3.3-12> (in Ukrainian).
- Kuprienko, P.Ya., Makarenko, I.B., Starostenko, V.I., Legostaeva, O.V., & Savchenko, A.S. (2010). Three-dimensional density model of the earth's crust and upper mantle of the Dnieper-Donetsk basin and Donbass. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 32(6), 175—214. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v32i6.2010.117461> (in Russian).
- Kutas, R.I. (2018). Map of heat flow density in mW/m²

- of the territory of Ukraine. In V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.), *Essays on Geodynamics of Ukraine* (pp. 310—323). Kiev: VI EN EY (in Russian).
- Kutas, R.I. (1993). Thermal field and geothermal regime of the lithosphere. In *Lithosphere of Central and Eastern Europe. Summary of research results* (pp. 114—133). Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Kutas, R.I., & Pashkevich, I.K. (2000). Geothermal and magnetic models of the earth's crust of Donbass (tectonic analysis together with the data of GSZ). *Geofizicheskij Zhurnal*, 22(4), 111—121 (in Russian).
- Chekunov, A.V. (Ed.) (1989). *Lithosphere of Central and Eastern Europe. East European platform*. Kiev: Naukova Dumka, 187 p. (in Russian).
- Chekunov, A.V. (Ed.) (1988). *Lithosphere of Central and Eastern Europe. Geotraversy IV, VI, VIII* (pp. 127—165). Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Makarenko, I.B. (2021). Density heterogeneity of the Earth's crust of Ukraine and adjacent territories from three-dimensional gravity modelling. *Geofizicheskij Zhurnal*, 43(2), 45—95. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i2.230190> (in Russian).
- Makarenko, I.B., Starostenko, V.I., Kuprienko, P. Ya., Savchenko, O.S., & Legostaeva, O.V. (2021). *Heterogeneity of the crust of Ukraine and adjacent regions according to the results of 3D gravity modeling*. Kyiv: Naukova Dumka, 204 p. (in Ukrainian).
- Mykhailov, V.A. (2023). *Geology of Ukraine*. Kyiv: Taras Shevchenko KNU Publishing House, 114 p. (in Ukrainian).
- Mykhailov, V.A. (2002). *Basics of geotectonics*. Kyiv: Publishing and Printing Center «Kiev University», 168 p. (in Ukrainian).
- Mychak, S.V. (2016). Geodynamic development of the Ukrainian shield and the formation of mineral deposits according to geophysical and geochronological studies. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.*, (6), 77—85. <https://doi.org/10.15407/visn2016.06.077> (in Ukrainian).
- Mychak, S.V. (2019). Structural features and kinematic development of the earth's crust of the western part of the Ukrainian shield. *Abstract of doctoral dissertation. 04.00.22 — geophysics*. Kyiv, 40 p. (in Ukrainian).
- Murovska, A., Stovba, S., Verpakhovska, O., Hnylko, O., Orlyuk, M., & Mychak, S. (2024). *Structure and geodynamics of the lithosphere of oil and gas-bearing and ore regions of Ukraine according to the latest geological and geophysical data*. Kiev: Naukova Dumka, 245 p. <http://dx.doi.org/10.15407/978-966-00-1912-6> (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I. (1999). Magnetic model of the earth's crust of the southwestern East-European platform. *Abstract of doctoral dissertation. 04.00.22 — geophysics*. Kyiv, 32 p. (in Ukrainian).
- Orlyuk, M.I., Romenets, A.A., Marchenko, A.V., Orlyuk, I.M., & Ivashchenko, I.N. (2015). Magnetic declination of the territory of Ukraine: the results of observations and calculations. *Geofizicheskij Zhurnal*, 37(2), 73—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111307> (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Gintov, O.B. (2018). *Essays on Geodynamics of Ukraine*. Kiev: VI EN EY, 465 p. (in Russian).
- Pashkevich, I., Rusakov, O., Kutas, R., Gryn, D., Starostenko, V., & Janik, T. (2018). Lithospheric structure based on integrated analysis of geological-geophysical data along the DOBRE-fraction'99/DOBRE-2 profile (the East European Platform — the East Black Sea Basin). *Geofizicheskij Zhurnal*, 40(5), 98—136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i5.2018.147476> (in Russian).
- Savko, K.A., Samsonov, A.V., Salnikova, E.B., Kotov, A.B., Larionov, A.N., Korysh, E.Kh., Kovach, V.P., & Bazikov, N.S. (2019). Mesoarchean tonalite-trondyemite-granodiorite associations of eastern Sarmatia: age and geological position. *Stratigraphy. Geological correlation*, 27(5), 4—18. <http://dx.doi.org/10.1134/s086959381905006x> (in Russian).
- Sollogub, V.B. (1986). *Lithosphere of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 183 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Gintov, O.B. (2018). Problems of geodynamics of the Ukrainian Precambrian (review of views). In V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.), *Essays on Geodynamics of Ukraine* (pp. 355—367). Kiev: VI EN EY (in Russian).

- Starostenko, V.I., Grad, M., Gryn, D.N., Guterkh, A., Dannovsky, A., Kolomiets, E.V., Legostaeva, O.V., Lysynchuk, D.V., Omelchenko, V.D., Stephenson, R.A., Stratford, V., Thibo, G., Tolkunov, A.P., Flue, E., Chuba, V., Sroda, P., Shulgin, A., & Janik, T. (2008). Seismic studies of the lithosphere using DSS and CDP methods at the East junction — European platform and Scythian plate (Project DOBRE-2). *The Tenth Geophysical Readings named after V.V. Fedynsky: Thesis*. Moscow (in Russian).
- Starostenko, V.I., Kuprienko, P.Ya., Makarenko, I.B., & Legostaeva, O.V. (2008). Density model of the earth's crust along the DOBRE profile. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 30(1), 28—41 (in Russian).
- Starostenko, V.I., Pashkevich, I.K., Kuprienko, P. Ya., Makarenko, I.B., & Savchenko, A.S. (2018). Dnieper-Donetskbasin. In V.I. Starostenko, O.B. Gintov (Eds.), *Essays on Geodynamics of Ukraine* (pp. 36—46). Kiev: VI EN EY (in Russian).
- Starostenko, V.I., Pashkevich, I.K., & Kutas, R.I. (2002). Deep structure of the Ukrainian shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 24(6), 24—48 (in Russian).
- Starostenko, V.I., Pashkevich, I.K., Makarenko, I.B., Kuprienko, P.Ya., & Savchenko, O.S. (2017). Lithospheric heterogeneity of the Dnieper-Donetsk basin and its geodynamic consequences. II. Geodynamic interpretation. *Geodynamics*, (2), 83—103. [https://doi.org/ 10.23939/jgd2017.02.083](https://doi.org/10.23939/jgd2017.02.083) (in Russian).
- Starostenko, V.I., Rusakov, O.M., Pashkevich, I.K., Kutas, R.I., Gladun, V.V., Orlyuk, M.I., Kuprienko, P.Ya., Makarenko, I.B., Maksymchuk, P. Ya., Kozlenko, Yu.V., Kozlenko, M.V., Legostaeva, O.V., Lebed, T.V., & Savchenko, O.S. (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donets Basin*. Kyiv: Galaktika, 252 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., & Stephenson, R.A. (2006). GEOIFT project: Deep structure and evolution of the Dnieper-Donetsk basin and the Karpinsky shaft. In Morozov A.F., Mezhelevsky N.F., Pavlenkova N.I. (Eds.), *Structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe* (pp. 291—342). Moscow: Geokart, Geos (in Russian).
- Stovba, S.N., Starostenko, V.I., Lyashkevich, Z.M., & Seyntot, A. (2006a). Study of the dynamics and geological processes of the Dnipro-Donetsk paleorift. In *Structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe* (pp. 307—314). Moscow: Geokart, Geos (in Russian).
- Stovba, S.N., Tolkunov, A.P., Maystrenko, Y.P., Stephenson, R.A., Baer, U., Gaevsky, D., Rabbel, V., Starostenko, V.I., & Thibault, G. (2006b). Deep research along the DOBRE profile using the CDP method. In *Structure and dynamics of the lithosphere of Eastern Europe* (pp. 328—332). Moscow: Geocart, Geos (in Russian).
- Gurskyi, D.S., & Kruglov, S.S. (Eds.). (2007a). *Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1000 000* (in Ukrainian).
- Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1000 000. Ch. I. Explanatory note.* (2007b). Kyiv: UkrDGRI, 97 p. (in Ukrainian).
- Khain, V.E. (2001). *Tectonics of continents and oceans (year 2000)*. Moscow: Nauchnyy Mir, 606 p. (in Russian).
- Khain, V.E., & Bozhko, N.A. (1988). *Historical geotectonics. Precambrian*. Moscow: Nedra, 384 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).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2019). The main geodynamic border and seismic visualization of plumes under the East European Platform. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(1), 137—152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158868> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2017). Seismic visualization of plumes and super-deep fluids in mantle under Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 39(4), 42—54. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i4.2017.107506> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2016). Velocity divisibility of the mantle beneath the Ukrainian shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 75—87. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i4.2016.107802> (in Russian).
- Chekunov, A.V. (1994). To the geodynamics of the

- Dnieper-Donetsk rift-syneclise. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 16(3), 3—13 (in Russian).
- Chekunov, A.V. (1972). *The structure of the earth's crust and tectonics of the south of the European part of the USSR*. Kiev: Naukova Dumka, 176 p. (in Russian).
- Chekunov, A.V., Pashkevich, I.K. (1989). Tectonic nature of magnetic inhomogeneities in the lithosphere of Ukraine. *Doklady AN USSR. Ser. B*, (5), 22—26 (in Russian).
- Chekunov, A.V., Sollogub, V.B., Galetsky, L.S., & Kurlov, N.S. (1989). Geodynamic model of the central part of the Ukrainian shield and Kryvorozhskaya superdeep well. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 11(4), 3—13 (in Russian).
- Shcherbakov, I.B. (2005). *Petrology of the Ukrainian Shield*. Lviv: ZUKTS, 366 p. (in Russian).
- Yudin, V.V. (2008). *Geodynamics of the Black Sea-Caspian region*. Kiev: Publ. of UkrHGRY, 117 p. (in Russian).
- Bakhmutov, V.G., Mytrokhyn, O.V., Poliachenko, I.B., & Cherkes, S.I. (2023). New palaeomagnetic data for Palaeoproterozoic AMCG complexes of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(4), 3—19. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i4.286283>.
- Bogdanova, S.V. (1991). Segments of the East European Craton. In *EUROPROBE in Jablonna* (pp. 33—38). European Science Foundation. Polish Academy of Sciences.
- Bogdanova, S.V., Bingen, B., Gorbatshev, R., Kheraskova, T.N., Kozlov, V.I., Puchkov, V.N., & Volozh, Y.A. (2008a). The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*, 160, 23—45. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.024>.
- Bogdanova, S.V., Gintov, O.B. & Lubnina, N.V. (2012a). 1.80—1.75 Ga mafic dykes in the Ukrainian Shield — a key to the paleogeography of Baltica within Columbia Supercontinent. *Symposium, Helsinki, Finland, Sept. 25—28, Programme and Abstracts* (pp. 22—23).
- Bogdanova, S., Gorbatshev, R., Grad, M., Guterch, A., Janik, T., Kozlovskaya, E., Motuza, G., Skridlaite, G., Starostenko, V., & Taran, L. (2006). EUROBRIDGE: New insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. In D.G. Gee, R.A. Stephenson (Eds.), *European Lithosphere Dynamics* (pp. 599—628). Geol. Soc., London, Memoirs, 32.
- Bogdanova, S., Lubnina, N. & Gintov, O.B. (2012b). Formation of the East European Craton (Baltica) in the Late Paleoproterozoic as caused by episodic rotations and collisions within assembling supercontinent Columbia (Nuna). *Abstract 1484469 presented at Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 3—7 Dec.*
- Bogdanova, S.V., Pashkevich, I.K., Gorbatshev, R., & Orlyuk, M.I. (1996). Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundaries in the basement of the East European Craton: geology and geophysics. *Tectonophysics*, 268(1-4), 1—21. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00232-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00232-6).
- Bogdanova, S.V., Starostenko, V.I., Gintov, O.B., Pashkevich, I.K., Kuprienko, P.Ya., Kutas, R.I., Makarenko, I.B., & Tsvetkova, T.A. (2008b). Long-lived E-W fault zones in the lithosphere of Western Sarmatia. *Geophysical Research. Abstr. 13—18. Apr., Vienna, Austria, 10. CD-ROM*.
- Červený, V., & Pšenčík, I. (1984). SEIS83 — numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structures by the ray method. In E.R. Engdal (Ed.), *Documentation of Earthquake Algorithms* (pp. 36—40). Rep. SE-35, World Data Cent. A for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colo.
- Geyko, V.S. (2004). A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 26(2), 3—32.
- Glevassky, E.B., & Glevasska, A.M. (2002). The Ukrainian Shield: Precambrian Regional Structure and Paleogeodynamics. *Mineralogicheskiy Zhurnal*, 24(4), 47—57.
- Grad, M., & Tripolsky, A.A. (1995). Crustal structure from P and S waves and petrological models of the Ukrainian shield. *Tectonophysics*, 250, 89—112. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00045-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00045-X).
- Grad, M., Janik, T., Guterch, A., Środa, P., Czuba, W., EUROBRIDGE'94—97, POLONAISE'97 and CELEBRATION 2000 Seismic Working Groups. (2006). Lithospheric structure of the western part of the East European Craton investigated by deep seismic profiles. *Geological Quarterly*, 50(1), 9—22.

- Grad, M., Gryn, D., Guterch, A., Janik, T., Keller, R., Lang, R., Lyngsie, S.B., Omelchenko, V.D., Starostenko, V.I., Stephenson, R.A., Stovba, S.M., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2003). «DOBRE fraction'99» — velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine). *Tectonophysics*, 371, 81—110. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7).
- Hamilton, Y.B. (2011). Plate tectonics began in the Neoproterozoic and deep mantle plumes were never active. *Lithos*, 123(1-4), 1—20. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.12.007>.
- Janik, T., Środa, P., Czuba, W., & Lysynchuk, D. (2016). Various Approaches to Forward and Inverse Wide-Angle Seismic Modelling Tested on Data from DOBRE-4 Experiment. *Acta Geophysica*, 64(6), 1989—2019. <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0084>.
- Janik, T., Starostenko, V., Aleksandrowski, P., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Zayats, K., Mechie, J., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Wójcik, D., Omelchenko, V., Legostaeva, O., Głuszynski, A., Tolkunov, A., Amashukeli, T., Gryn, D., & Chulkov, S. (2022). Lithospheric Structure of the East European Craton at the Transition from Sarmatia to Fennoscandia Interpreted from the TTZ-South Seismic Profile (SE Poland to Ukraine). *Minerals*, 12(2), 1—124. <https://doi.org/10.3390/min12020112>.
- Keller, G.R., & Stephenson, R.A. (2007). The Southern Oklahoma and Dniepr-Donets aulacogens: A comparative analysis. In R.D. Hatcher, M.P. Carlson, J.H. McBride, J.R. Martínez Catalán (Eds.), *4-D Framework of Continental Crust*. Geol. Soc. of America Memoir 200. [https://doi.org/10.1130/2007.1200\(08\)](https://doi.org/10.1130/2007.1200(08)).
- Lysynchuk, D., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., & Kolomiyets, O. (2019). Reconstruction of seismic DSS cross-section of the VI geotravers and detailing of velocity characteristics of the earth crust in the gravity Bandura structure. *Geoinformatics EAGE-2019-16160*.
- Maystrenko, Y., Stovba, S., Stephenson, R., Bayer, U., Menyoli, E., Gajewski, D., Huebscher, C., Rabbel, W., Saintot, A., Starostenko, V., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2003). Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas fold belt, Ukraine. *Geology*, 31(8), 733—736. <https://doi.org/10.1130/G19329.1>.
- Pobedash, M.S. (2015). *Regional CDP seismic studies within the southern flank of the north-western part of the Dnieper-Donets Basin*. Report TP 113/08 of DGP «Ukrgeofizika» Technology Center, Kiev.
- Saintot, A., Stephenson, R., Stovba, S., Brunet, M.-F., Yegorova, T., & Starostenko, V. (2006). The evolution of the southern margin of the Eastern Europe (Eastern European and Scythian platforms) from latest Precambrian-Early Palaeozoic to the Early Cretaceous. In D. Gee, R. Stephenson (Eds.), *The European Lithosphere Dynamics* (Vol. 32, pp. 481—505). Geol. Soc., London, Memoirs. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.30>.
- Starostenko, V., Janik, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Yegorova, T., Verpakhovska, A., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Wójcik, D., Omelchenko, V., Amashukeli, T., Legostaeva, O., Gryn, D., & Chulkov, S. (2023). The SHIELD'21 deep seismic experiment. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 45(1), 3—10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W., Środa, P., Grad, M., Kovács, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I.M., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedűs, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T. & Tolkunov, A. (2013a). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049—1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>.
- Starostenko, V., Janik, T., Lysynchuk, D., Środa, P., Czuba, W., Kolomiyets, K., Aleksandrowski, P., Gintov, O., Omelchenko, V., Komminaho, K., Guterch, A., Tiira, T., Gryn, D., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2013b). Mesozoic(?) lithosphere-scale buckling of the East European Craton in southern Ukraine: DOBRE-4 deep seismic profile. *Geophysical Journal International*, 195(2), 740—766. <https://doi.org/10.1093/gji/ggt292>.
- Starostenko, V., Janik, T., Mocanu, V., Stephenson, R., Yegorova, T., Amashukeli, T., Czuba, W., Środa, P., Murovskaya, A., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., Okoń, J., Dragut, A., Omelchenko, V., Legostaeva, O., Gryn, D., Mechie, J., & Tolkunov, A. (2020). RomUkrSeis:

- Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians — From the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Tectonophysics*, 794. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228620>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Lysynchuk, D., Aizberg, R., Garetsky, R., Karataev, G., Gribik, Y., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Komminaho, K., Tiira, T., Gryn, D., Guterch, A., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2018). Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212, 1932—1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Farfuliak, L., Czuba, W., Środa, P., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I., Sosson, M., Volfman, Y., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Gryn, D., Guterch, A., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2015). Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 201, 406—428. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>.
- Stephenson, R., Yegorova, T., & Stovba, S. (2021). An investigation of how intracratonic rifting is «seeded»: case study of the Late Devonian Dniepr-Donets Basin rift within the East European Craton. *Precambrian Research*, 362, 106305. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106305>.
- Thybo, H., Janik, T., Omelchenko, V.D., Grad, M., Garetsky, R.G., Belinsky, A.A., Karatayev, G.I., Zlotski, G., Knudsen, M.E., Sand, R., Yliniemi, J., Tiira, T., Luosto, U., Komminaho, K., Giese, R., Guterch, A., Lund, C.-E., Kharitonov, O.M., Ilchenko, T., Lysynchuk, D.V., Skobelev, V.M., & Doody, J.J. (2003). Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. *Tectonophysics*, 371, 41—79. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00200-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00200-2).
- Tolkunov, A., Sydorenko, G., Voitsytskyi, Z., Starostenko, V., Yegorova, T., Stephenson, R., Omelchenko, V., Pobedash, N., & Polyvach, N. (2011). Geological structure of the north-western terminus of the Eastern Black Sea Rift from new regional CDP profile DOBRE-2. *3rd International Symposium on the Geology of the Black Sea Region, Abstr., Supplement to GEO-ECO-MARINA No.17/2011, Bucharest, Romania* (pp. 187—189).
- Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Niccaill, C.M., Steinberger, B., Doubrovine, P.V., Van Hinsbergen, D.J.J., Domeier, M., Gaina, C., Tohver, E., Meert, J.G., McCausland, P.J.A., & Cocks, R.L.M. (2012). Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 114, 325—368. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.06.007>.
- Trypolsky, O.A., Topoliuk, O.V., & Gintov, O.B. (2019). The structure of the earth's crust of the central part of the Holovanivsk suture zone according to the reinterpretation of materials of IV geotraverse of NHS (PK 295-400). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(1), 172—179. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158870>.
- Yegorova, T.P., Starostenko, V.I., Kozlenko, V.G. & Yliniemi, J. (2004). Lithosphere structure of the Ukrainian Shield and Pripyat Trough in the region of EUROBRIDGE-97 (Ukraine and Belarus) from gravity modeling. *Tectonophysics*, 381, 29—59. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2002.06.003>.
- Yegorova, T.P., Stephenson, R.A., Kozlenko, V.G., Starostenko, V.I. & Legostaeva, O.V. (1999). 3-D gravity analysis of the Dnieper-Donets Basin and Donbas Foldbelt, Ukraine. *Tectonophysics*, 313, 41—58. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00189-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00189-4).
- Zelt, C., & Barton, P. (1998). Three-dimensional seismic refraction tomography: A comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin. *Journal of Geophysical Research*, 103(B4). <https://doi.org/10.1029/97JB03536>.