

Геотраверс «Граніт»—Одеса—Кривий ріг—Перещепине

П.Г. Пігулевський, 2022

Дніпропетровська геофізична експедиція «Дніпрогеофізика»,
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 19 жовтня 2022 р.

*Пам'яті видатного українського вченого-практика
Михайла Ісааковича Бородуліна (1932—1992)
присвячується.*

У статті розглянуто результати досліджень методами відбитих хвиль і спільної глибинної точки на геотраверсі «Граніт», який проходить територією України з південного заходу на північний схід і територією Белгородської області РФ. У структурно-тектонічному відношенні геотраверс перетинає великі геологічні структури: крайову частину Скіфської плити, Український щит, Дніпровсько-Донецьку западину й південний схил Воронезького кристалічного масиву. Аналіз особливостей зареєстрованого хвильового поля і виконаних структурних побудов консолидованої кори й верхньої мантії в розрізі геотраверсу засвідчує складну гетерогенну будову, що відповідає певним просторово корельованим закономірностям, на фоні яких виявлені численні неоднорідності, властиві як окремим блокам, так і їхнім окремим інтервалам. Розрізи всіх досліджуваних геоструктур характеризуються високим рівнем насичення непротяжними, нерівномірно розподіленими відбивними елементами — від субгоризонтальних до крутонахилених. При всьому різноманітті взаємного розташування як окремих границь, так і їхніх груп визначена доволі чітка їх підпорядкованість, що несе насамперед інформацію про характер розшарування, деформації і напружений стан структур консолидованої кори й верхньої мантії.

У сучасній структурі кори значна роль належить розломам і тектонічним пластинам, переважна більшість яких проявляються як похилі зональні тіла з різним орієнтуванням. Системи розломів і пластин утворюють складну ієрархічну співпорядкованість.

Перехідна зона кора—мантія є складною, латерально мінливою структурою потужністю від 3 до 7 км. Ця зона обумовлена системами субгоризонтальних розшарувань, вираженими концентрацією відбивних елементів. Найбільш однорідна й контрастна частина зони переходу являється в структурах прадавньої консолидації за потужності кори близько 40 км.

У результаті досліджень отримано нову інформацію про будову окремих тектонічних елементів цієї зони, уточнено деякі загальні принципи її структури — від прадавньої континентальної платформи до активного складчастого поясу.

Ключові слова: Український щит, земна кора, сейсморозвідка, метод спільної глибинної точки, геотраверс, відбивні елементи.

Вступ. Дослідження за геотравесом «Граніт» (Уренгой—Верхня Тура—Кривий Ріг) виконувались згідно з програмою комплексних глибинних досліджень над територією колишнього СРСР [Бородулін і др., 1998]. Ця програма передбачала вико-

нання робіт на профілі загальною довжиною 3600 км, який з'єднував би три надглибокі свердловини: СГ-5 (Тюменська), СГ-4 (Уральська) і СГ-8 (Криворізька). Основною метою досліджень було вивчення глибинної будови земної кори й верхньої

мантії в різних геологічних регіонах континенту, в тому числі прадавніх структур (Українського щита (УЩ) і Воронежського кристалічного масиву (ВКМ)), платформ прадавнього (Східноєвропейська) і молодого (Західносибірська) віку, а також різновікових структур Землі (геосинклиналей, рифтів, авлакогенів).

Завданням досліджень було визначення потужності, структурно-тектонічних особливостей, фізичних параметрів земної кори і складових її частин, встановлення основних параметрів будови й зміни фізичних особливостей верхньої мантії. На цій основі планувалося скласти геолого-геофізичні моделі (розрізи) досліджуваних структур і отримати їх порівняльну характеристику.

На території України комплексні геофізичні дослідження методами сейсморозвідки (спільної глибинної точки (СГТ)), електророзвідки (магнітотелуричне зондування (МТЗ)), гравірозвідки і магніто-розвідки виконувала Дніпропетровська геофізична експедиція «Дніпрогеофізика» (раніше — Центральна геофізична експедиція) [Бородулин и др., 1998; Ингеров и др., 1986, 1991; Svistun, Pigulevskiy, 2021 та посилання в них]. Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України [Соллогуб и др., 1986; Литосфера..., 1988 та посилання в них] виконував дослідження методом глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) за геотраверсом VIII. Були також залучені фахівці Дніпровської геолого-геофізичної і Кримської геофізичної експедицій [Бородулин и др., 1998].

Через організаційні та фінансові причини програма робіт методами відбитих хвиль і спільної глибинної точки (МВХ—СГТ) за геотраверсом «Граніт» (рис. 1) була скорочена, внаслідок чого не були повністю проведені дослідження в межах південно-західного схилу УЩ і Дніпровсько-Донецького авлакогену (ДДА). Розрив виробничих, наукових зв'язків і скорочення фінансування не дали змоги у повному обсязі та у єдиному ключі виконати комплексну інтерпретацію геофізичних досліджень і представити отримані результати

широкому колу вчених [Бородулин и др., 1998].

Короткий огляд досліджень і публікацій. Починаючи з 1970-х років, на території України проведена доволі велика кількість сейсмічних досліджень [Соллогуб и др., 1986; Литосфера..., 1987, 1988 та посилання в них] методом ГСЗ у комплексі з кореляційним методом заломлених хвиль (КМЗХ).

Були отримані основні елементи глибинної будови уздовж регіональних профілів і виділені в них основні границі: поверхня кристалічного фундаменту, шари в консолідованій корі, між корою й верхньою мантією (поверхня Мохоровичича, Мохо), а в окремих випадках — поверхня астеносфери. Простежені особливості зчленування окремих блоків у вигляді скидів, підкідо-насувів і інших типів розривних порушень із визначенням їх нахилу й глибини проникнення [Соллогуб и др., 1986; Литосфера..., 1987, 1988 та посилання в них].

Було виявлено або уточнено особливості зчленування відомих великих тектонічних елементів і простежено їхні корені на значну глибину [Амашукели и др., 2019; Starostenko et al., 2013, 2015 та посилання в них]. Отримано дані щодо будови окремих тектонічних елементів, уточнено деякі загальні принципи будови перехідної зони від прадавньої континентальної платформи до активного складчастого поясу. Встановлено, що глибина поверхні Мохо в межах території України коливається від 35 до 65 км. Український щит на профілях, що перетинають його, має вигляд горсту, обмеженого глибинними розломами. З південної сторони «корені» розломів простежуються на глибину більш як 100 км, однак характер цієї границі із глибиною змінюється (розривне порушення, ослаблена зона та ін.).

Геотраверс VIII «Граніт» став фінальною крапкою першого етапу досліджень методом ГСЗ в комплексі з методом СГТ [Бородулин, Байсарович, 1992; Бородулин и др., 1998; Соллогуб и др., 1985 та посилання в них].

З кінця 1990-х років і по теперешній час розпочався новий етап сейсмічних досліджень, який ознаменувався виконанням серії профілів у рамках проєктів Dobre: Добре-99 [DOBRE..., 2003], Добре-2 [Стовба и др., 2002; Maystrenko et al., 2003 та посилання в них], Добре-3, Добре-4, Добре-5 [Starostenko et al., 2013, 2015 та посилання в них], Pancake [Starostenko et al., 2013] та ін.

Отримані результати структурних побудов консолідованої кори й верхньої мантії в розрізі геотраверсу «Граніт» показали наявність численних неоднорідностей, які утворюють складну гетерогенну будову та характеризуються просторово корельованими закономірностями [Бородулін и др., 1992, 1998; Pigulevskiy, Stovas, 2022].

Коротка інформація про польові сейсмічні дослідження. Сейсморозвідувальні роботи методами (МВХ—СГТ) за геотраверсом було розпочато в січні 1989 р. у районі Криворізької надглибокої свердловини КГС-8 [Криворожская..., 2011], а в 1990 р. були продовжені на території Одеської й Миколаївської областей. В 1991 р. відпрацьована ділянка на території РФ (Алексєєвський і Валуйський райони Белгородської області). В 1992 р. польові роботи виконувала Кримська геофізична експедиція на території Одеської області. Завершилися польові роботи у жовтні 1993 р. у Магдалінівському районі Дніпропетровської області. Керівник робіт — М.І. Бородулін.

Геотраверс «Граніт» перетинає територію України з південного заходу на пів-

нічний схід (Одеська, Миколаївська, Дніпропетровська, Харківська області) і проходить територію Белгородської області Росії (рис. 1). У структурно-тектонічному відношенні геотраверс перетинає великі геологічні структури: крайову частину Скіфської плити (Західне Причорномор'я), Південноукраїнську синкліналь, Український щит, Дніпровсько-Донецьку западину (ДДЗ) й південний схил ВКМ [Круглов та ін., 2007] (рис. 3).

Методика й техніка польових сейсморозвідувальних робіт МВХ—СГТ. Основні параметри системи спостережень [Бородулін и др., 1998] такі: флангова; кратність 12; центральна (при деталізації — кратність 24); крок між пунктами вибухів — 200 м; крок і відстань між сейсмоприймачами 50 м; винос 100 м; довжина розміщення — 4750 м; максимальна відстань вибух—приймання — 4850 м.

Джерело збудження пружних коливань — вибухи у свердловинах із закупорюванням водою за глибини занурення заряду 20—40 м. Діаметр вибухових свердловин 100—112 мм. Маса заряду — в основному 15 кг, у заболочених низинах і долинах річок — 10 кг. Тривалість запису корисного сигналу на всьому профілі становила 30 с, її визначали за наявністю у верхній мантії границь на глибинах порядку 80 км, як горизонтальних, так і похилих з кутами нахилу до 45°. Дискрет запису — 4 мс. Швидкість запису 1,25 м/с. Діапазон реєстрування частот 3—62,5 Гц. Для зниження рівня



Рис. 1. Розташування геотраверсів «Граніт» (1) і «Добре» (2) на території дослідження [Starostenko et al., 2013]. Наведено номери пунктів спостережень.

Fig. 1. Location of geotraverses «Granit» (1) and «Dobre» (2) in the study area [Starostenko et al., 2013]. Numbers of observation points are shown.

електричних завад реєстрацію виконували тільки із включеними режекторними фільтрами 50 Гц. Сейсмоприймачі — СВ-5, оди-ночні.

Верхню частину розрізу досліджували у спеціально пробурених свердловинах за-вглибки 40—80 м, розташованих у харак-терних точках рельєфу, методом прямого сейсмокаротажу (МСК).

Вивчення швидкісної характеристики розрізу. Поверхневі сейсмогеологічні умо-ви в межах полоси досліджень різняться за витриманістю. Інформація про швидкості поширення сейсмічних хвиль до глибин, доступних розвідувальному бурінню, отри-мана за даними вертикального сейсмо-профілювання за обмеженою кількістю свердловин, які переважно розташовані на значних відстанях від лінії профілю: «Г-3000» — Інгульський мегаблок; свердло-вини 14320, 15270, 13966, 13900 — територія Кривого Рогу; «СГ-8» — Криворізька над-глибока; «СП-2» — супутник Криворізької надглибокої, а також низка свердловин на південному схилі ДДЗ в межах Переддо-бруджинського прогину.

Відповідно до аналізу даних сейсмічного каротажу, швидкості поширення пружних хвиль суттєво різняться в різних блоках. Найбільші розбіжності визначено в інтер-валі глибин 0—1,5 км, де розкид значень досягає 1,0—1,5 км/с. Зі збільшенням гли-бини відмінності в значеннях швидкостей зменшуються.

Для визначення швидкостей на глиби-нах більш як 3 км у межах УЩ були вико-ристані результати обробки рефрагованих і відбитих хвиль за геотраверсом ГСЗ VIII, виконаної В.Б. Соллогубом [Литосфера..., 1988; Соллогуб и др., 1985, 1986].

Методика обробки. Особливості мето-дики обробки матеріалів регіональної сей-сморозвідки МСГТ зумовлені прийнятою моделлю середовища. Найбільш принци-повими є такі особливості:

1) високі швидкості поширення відби-тих хвиль (5—7 км/с), унаслідок чого, вплив кінематичних поправок дуже слабкий, а знос у процесі міграції досить значний;

2) складнопобудований розріз форму-

ється крутопадаючими (кути нахилу від-бивних елементів, зареєстрованих відби-тими хвилями, досягають 70°) різноспря-мованими фрагментарними границями, що виявляються за складною інтерферен-ційною картиною на тимчасових розрізах;

3) відсутність відбивних опорних гра-ниць, придатних для автоматичної корекції статичних поправок.

Методика обробки матеріалів за гео-траверсом «Граніт» базувалася на стан-дартних програмах комплексу СЦС-3 з доповненими модулями, розробленими в ДГЕ «Дніпрогеофізика» процедурами авто-матичної корекції статичних поправок за першими вступами, з формуванням тим-часових розрізів із селекцією за кутами на-хилу відбивних горизонтів і кінематичною міграцією SNOS.

Характеристика хвильового поля. Хви-льове поле за геотраверсом «Граніт» за основними характеристиками відповідає хвильовому полю, отриманому при гли-бинних дослідженнях СГТ, виконаних у межах УЩ [Стовба и др., 2002; Maystrenko et al., 2003; Пигулевский, 2010 та посилання в них]. Хвильове поле, сформоване в кон-солідованій корі і верхній мантії, на тим-часових розрізах відображено відбивними елементами різної довжини й орієнтуван-ня. Довжина відбивних елементів, у меж-ах яких можна вести фазову кореляцію, становить від 1 до 3 км. Реєструються як поодинокі осі синфазності, так і групи (па-кети), об'єднані загальними кінематични-ми й динамічними характеристиками. Тим-часова потужність пакетів може досягати 1—2 с. Положення відбивних елементів у розрізі варіює від горизонтального до по-хилого й крутопадаючого (до 70°). Доміну-ють за інтенсивністю групи похилих від-биттів.

Серед основних особливостей хвильо-вого поля можливо виділити просторово-корельовані зв'язки, на фоні яких виявля-ються численні неоднорідності, що харак-теризують як окремі блоки, так і окремі частини розрізу.

1. До межі поділу кора—мантія реєстру-ються переважно поодинокі субгоризон-

тальні відбивні елементи невисокої інтенсивності. Їхній розподіл у розрізі — від нерівномірного до лінійно впорядкованого з диференційованим характером прояву в кожному із блоків. Найвищий рівень насичення субгоризонтальними відбивними елементами визначено для нижньої частини консолідованої кори ВКМ, а також верхньої та нижньої частин розрізу Скіфської плити. У розрізі УЩ переривчасто простежені горизонтальні відбиття утворюють 2—3 субгоризонтальні межі розшарування з відмінним характером прояву в кожному із блоків [Бородулин, Байсарович, 1992].

2. Перехідна зона кора—мантія виділяється у хвильовому полі як зона концентрації субгоризонтальних відбивних елементів підвищеної інтенсивності у тимчасовому вікні від 1 до 3 с. Як зону похилих відбиттів її виділено лише на відрізках профілю, де різко змінюється потужність кори. Характер перехідної зони консолідованої кори в мантію не витриманий за латераллю.

У межах вивченого фрагмента Скіфської плити та Південноукраїнської синкліналі за характером хвильового поля практично важко виділити границю між глибокими внутрішньокоровими розшаруваннями з властивою перехідною зоною кора—мантія. Не дуже впевнено встановлюється й нижня межа цієї зони.

У розрізі УЩ перехідна зона кора—мантія виділяється значно впевненіше. За високих перепадів потужності кори ця зона на значному інтервалі профілю залишається витриманою й становить 2,8 с. Аномальною є будова зони переходу кора—мантія у межах ПК 385—460. Тут в інтервалі запису 13—18 с виявлено високу концентрацію субгоризонтальних слабонахилених відбиттів, що утворюють у сукупності лінзоподібне тіло, яке ускладнене похилими відбиттями.

3. Верхня мантія виділяється як зона різкого скорочення кількості відбиттів і зменшення їх інтенсивності.

Для Скіфської плити і Південноукраїнської синкліналі характерне переважно

субгоризонтальне розшарування, для УЩ — від субгоризонтального до хаотичного. В Інгульському мегаблоці в інтервалі ПК 360—480 м у верхній мантії виділено зону відсутності відбиттів, над якою реєструється описане вище лінзоподібне тіло концентрації відбиттів у перехідній зоні кора—мантія. На декількох ділянках у верхній мантії простежуються групи впорядкованих похилих відбиттів.

4. Найбільш широко у хвильовому полі представлені групи (пакети) похилих інтенсивних відбиттів. Вони різняться між собою різною динамічною характеристикою, тимчасовою потужністю, насиченістю відбиттями, кутом нахилу, інтервалом простеження в розрізі. Характер прояву груп похилих відбиттів істотно неоднорідний за латераллю.

5. На фоні визначених регіональних особливостей хвильового поля виділено низку локальних контрастних неоднорідностей: різко незгідний (зворотний) кут нахилу відбиттів у верхній і нижній частинах розрізу в межах ПК 260—330; висока насиченість відбиттями верхньої і середньої частин розрізу на ПК 420—480, яка створюється не тільки через високу концентрацію похилих відбиттів, а й унаслідок реєстрації на цьому інтервалі профілю груп відбиттів, що формують дугоподібні форми; наявність локальних зон з високою концентрацією відбиттів і локальних ділянок, де відбиття практично відсутні.

Побудова сейсмічного розрізу. За результатами обробки побудовано глибинний розріз (рис. 2) у вигляді «штрихового поля». За результатами інтерпретації за сукупністю відбивних границь в перетині геотраверсу «Граніт» були виділені основні елементи:

1) субгоризонтальні границі розшарування в корі, що диференційовано розподілені в кожному із блоків;

2) субгоризонтальні границі в низах консолідованої кори розшарування, що відображають характер кори в перехідній зоні кора—мантія;

3) зони похилих відбиттів, що ототож-

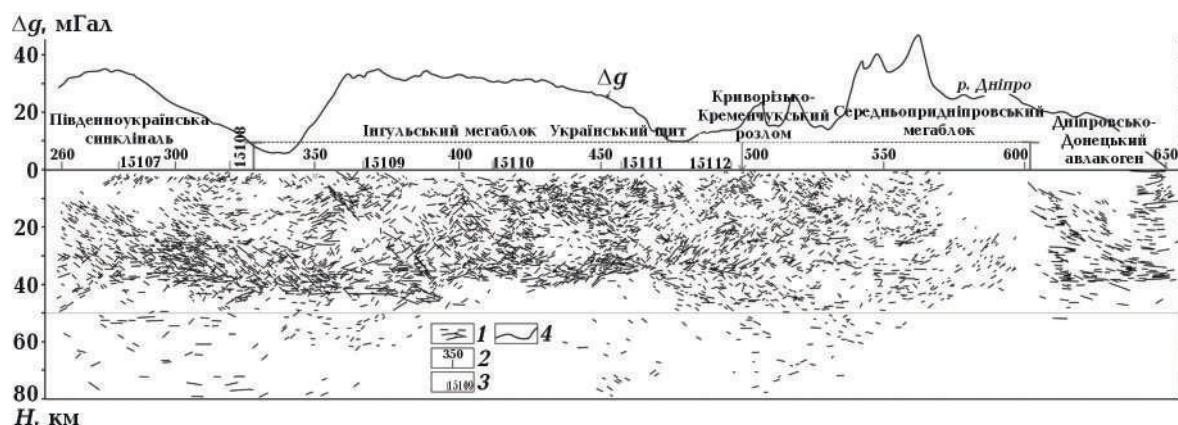


Рис. 2. Глибинний сейсмічний розріз у вигляді «штрихового поля»: 1 — відбивні елементи за даними МСГТ; 2 — пункти спостережень на геотраверсі «Граніт»; 3 — пункти спостережень на профілі «Добре-4» [Starostenko et al., 2013]; 4 — графік гравітаційного поля на лінії профілю.

Fig. 2. Deep seismic section in the form of a «hatched field»: 1 — reflecting elements according to MCDP data; 2 — observation points on the Granit geotraverse; 3 — observation points on the Dobre-4 profile [Starostenko et al., 2013]; 4 — graph of the gravity field on the profile line.

нюються насамперед із проявом дислокаційних явищ (зон розломів, насувів, сколів);

4) ділянки дугоподібного розшарування;

5) ділянки підвищеного рівня насичення розрізу відбиттями;

6) локальні ділянки, де практично відсутні відбиття;

7) ділянки хаотичного розподілу відбивних границь з невисоким рівнем насичення у верхньої мантії;

8) ділянки відсутності відбивних границь у верхній мантії;

9) зони похилих відбиттів, що ототожнюються із зонами розломів у верхній мантії.

Основні особливості сейсмічної моделі за даними досліджень СГТ. Проблема вивчення внутрішньої будови консолідованої кори при глибинних дослідженнях СГТ пов'язана з розглядом низки фізико-геологічних задач, що пояснюють формування експериментально спостережуваних хвильових полів.

Глибинні дослідження СГТ, проведені в центральній і південній частинах УЩ [Пигулевский, 2010 та посилання в ній], дали змогу встановити такі закономірності.

1. У консолідованій корі і верхній мантії відсутні безперервні сейсмічні границі, властиві осадовим басейнам; відбивні елементи завдовжки 1—2 км простежують-

ся групами, ширина яких досягає 1—2 с.

2. У консолідованій корі і верхній мантії виділяються як горизонтальні, так і похилі відбивні елементи. Кути нахилу границь сягають 60—70°. Здебільшого відбиті хвилі від похилих границь характеризуються високою інтенсивністю і підвищеними частотами. На основі просторової кореляції із закартованими розломами останні ототожнюються з великими тектонічними порушеннями.

3. Згідно з аналізом похилих відбивних елементів у земній корі й верхній мантії, похилим відбивним межама певного напрямку й розміру (ієрархій) переважно відповідають спільні границі.

4. Похилі відбивні елементи простежуються у верхній частині кори до глибин 10—15 км і в нижній частині кори від глибин приблизно 25 км до поверхні М. Зрідка похилі границі простежуються через усю земну кору. У центральній частині кори виділені переривчасто простежені горизонтальні відбивні елементи в інтервалі глибин 15—25 км.

5. На підставі структурного положення відбивних елементів земна кора може бути поділена на три шари [Бородулин, Байсарович, 1992]. Горизонтальні відбивні елементи розглядаються як перехідні зони між шарами кори.

6. У перехідній зоні кора—мантія виділено групу горизонтальних відбивних елементів з мінливою структурою. Перехід нижньої частини кори у верхню мантію не різкий.

7. Похилі границі, що січуть контакт кора—мантія, можна вважати тріщинами відриву (розломи), що виникли в умовах горизонтального зрушення кори по поверхні мантії.

Сейсмогеологічні особливості розрізу.

При всьому різноманітті взаємного розташування як окремих елементів, так і їх груп, встановлюється доволі сувора підпорядкованість, яка підтверджує думку більшості дослідників, що відбивні елементи несуть насамперед інформацію про характер розшарування, деформації і напружений стан структур консолідованої кори і верхньої мантії [Бородулин и др., 1998; Pigulevskiy et al., 2019; Pigulevskiy, Stovas, 2022].

Земна кора у вивченому фрагменті Південноукраїнської синкліналі (рис. 3) характеризується підвищеним розшаруванням у верхній частині розрізу до глибин 5—10 км, а нижня частина консолідованої кори сягає глибин 30—37 км.

У межах УЩ характер розшарування

земної кори зовсім інший. В Інгульському мегаблоці переривчасто простежені горизонтальні відбиття утворюють три субгоризонтальні границі розшарування в інтервалах глибин 10—15, 20—25 і близько 35 км. У Середньопридніпровському мегаблоці в межах його західної і північно-західної частин чітко виявляються лише середня й нижня границі розшарування. У північній частині мегаблока і його схилу виділено дві субвертикальні ділянки розшарування, що розмежовані потужною зоною похилих відбиттів. У межах УЩ підвищеним розшаруванням характеризуються також нижні інтервали розрізу в блоках з максимальною потужністю кори, де відбиття заповнюють «прогини».

Незважаючи на різний прояв субгоризонтальних відбиттів, у межах кори проглядається і певна закономірність. Найбільш упорядкований кусково-лінійний малюнок можна простежити в інтервалах розрізу, що різняться перетинанням різноорієнтованих груп пологих відбиттів, зміною кута нахилу груп похилих відбиттів або їх зсуву. Така закономірність засвідчує підпорядкованість субгоризонтальних і похилих розшарувань. При цьому виявлений кореляційний зв'язок має,



Рис. 3. Тектонічна будова смуги уздовж геотраверсу «Граніт» за даними [Круглов та ін., 2007]. Скіфська епіорогенна зона: 1 — Нижньопрутський виступ, 2 — Переддобрудзький прогин, 3 — Південноукраїнська монокліналь, Український щит, мегаблоки: 4 — Дністровсько-Бузький, 5 — Інгульський, 6 — Середньопридніпровський; Дніпровсько-Донецька западина, зони: 7 — Південна бортова, 8 — Південна прибортова, 9 — Центральна, 10 — Північна прибортова, 11 — Північна бортова зона.

Fig. 3. Tectonic structure of the strip along the «Granite» geotraverse according to data [Kruglov, Gursky, D.S., 2007]. Scythian epirogenic zone: 1 — Nizhnyprutsky ledge, 2 — Pre-Dobrudza depression, 3 — South Ukrainian monocline; Ukrainian shield, megablocks: 4 — Dniester-Bug, 5 — Ingulsky, 6 — Middle Dnieper; Dnipro-Donetsk depression: 7 — Southern side zone, 8 — Southern control zone, 9 — Central zone, 10 — Northern preboard zone, 11 — Northern onboard zone.

у свою чергу, диференційований характер прояву — пошаровий і поблочний.

Перехідна зона кора—мантія виділяється в розрізі як зона концентрації субгоризонтальних відбивних елементів, що характеризуються у хвильовому полі підвищеною інтенсивністю. До границі поділу кора—мантія в межах усіх геоструктур виділяються переважно одиночні субгоризонтальні відбивні границі, яким у хвильовому полі відповідають непротяжні, динамічно слабо виражені осі синфазності. Розподіл цих відбиттів суттєво не витриманий за латераллю й вертикаллю.

Будова згаданого переходу не витримана, а потужність зони варіює від 3—4 до 7—8 км.

Як зазначено вище, під Південноукраїнською синкліналлю перехід кора—мантія не має чітко означених меж [Пигулевский, 2010 та посилання в ній]. Глибокі внутрішньокорові розшарування без явно виражених динамічних контрастів переходять в інтервалі глибин 37—47 км у коромантійні розшарування й далі — у верхньомантійні. В указаному інтервалі глибин виявлено лише деяке згущення кількості майданчиків.

У межах УЩ перехід кора—мантія виділяється значно контрастніше, найбільш витриманий він у блоках, де потужність кори становить близько 40 км. У блоках з максимальними потужностями кори перехід кора—мантія характеризується зменшенням кількості відбиттів і зниженням їхньої динамічної виразності. І навпаки, при скороченні потужності кори різко збільшується кількість відбиттів і зростає їхня динаміка. У межах більшої частини щита потужність переходу кора—мантія становить 3—4 км.

Аномальну будову має північно-східна частина Інгульського мегаблока. Тут виявлено мінімальну потужність кори і максимальну — в перехідній зоні кора—мантія, що досягає 7—8 км. У межах розглянутого інтервалу розрізу відбувається злиття відбиттів нижньої субгоризонтальної границі розшарування в консолідованій корі із відбиттями в зоні переходу кора—мантія.

На всьому інтервалі профілю будова зони переходу кора—мантія суттєво ускладнена численними похилими відбиттями — як одиночними, так і згрупованими, що розсікають усю кору або окремі її інтервали. Отже, в цій зоні найбільш контрастним проявляється накладений характер двох систем розшарування — субгоризонтальної і похилої, кожна з яких має свої регіональні і локальні властивості. Звертає на себе увагу той факт, що переважна більшість похилих відбиттів не простежуються нижче зони переходу кора—мантія. Інакше кажучи, у цій зоні накопичуються напруження і відбувається найбільш інтенсивна їх реалізація у вигляді тих або інших деформацій. Поділ кора—мантія (підшва зони переходу кора—мантія) є у такому разі границею контрастних за напруженням станом оболонок Землі — консолідованої кори й верхньої мантії.

Зони прояву розломів, які зареєстровані в розрізі геотраверсу «Граніт», ототожнюються з великою кількістю груп похилих відбиттів, що характеризуються різною потужністю, динамічною виразністю, кутом нахилу, насиченістю відбиттів, різною внутрішньою структурою, інтервалом простежування, різної підпорядкованості із субгоризонтальними відбиттями. Сукупність усіх груп похилих і субгоризонтальних відбиттів створює надзвичайно складну ієрархічну систему, у якій відбиваються як регіональні закономірності, так і локальні неоднорідності.

Однією з регіональних особливостей похилих розломів є їхня спряженість, при цьому домінують за інтенсивністю насиченості відбиттями розломи північно-східного падіння, що, можливо, пов'язане з напрямком спостережень на профілі (?) [Пигулевский, 2010].

Основна частина розломів починає виявлятися в зоні поділу кора—мантія і простежується практично через усю кору. Корені окремих розломів можна виявити в розрізі верхньої мантії в інтервалі перших 10—20 км.

За характером вияву розломів, їх просторовим взаємовідношенням із субгори-

зонтальними границями в корі і передусім із межами в зоні переходу кора—мантія можна говорити про те, що розломи проявляються як великі тектонічні пластини (луски), відколи, насування.

Найпотужніші розломи, що досягають у перетині 10—14 км, практично не зазнають різких зламів і змін кутів падіння, але при цьому спостерігається деяке випологування їх кута падіння із глибиною. Потужні розломи частіше виділяють у зонах, що характеризуються збільшенням потужності кори, тобто їхнє формування зумовлене більш глибокофокусними напруженнями.

Найбільш широко в розрізі представлені зони розломів з перетином 4—7 км. Ці розломи часто зазнають розривів, зсувів, що супроводжуються зміною кута нахилу. Зазначимо, що ці зміни генетично пов'язані із субгоризонтальними розшаруваннями. Розломи такого рангу можна простежити як через усю кору, так і фрагментарно в тому або іншому інтервалі кори. Їм властива невитримана внутрішня будова.

Помітна роль у розрізі належить і дрібнішим похилим розломам. Вони виділяються переважно у верхній частині розрізу, до глибин 10—15 км, але фрагментарно їх можна виділити і у розрізі всієї кори.

Відомі великі розломи, закартовані з поверхні, просторово корелюються із зонами прояву нахилопадаючих розломів, а субвертикальні — із зонами перетину нахилопадаючих розломів або з вершинами перетинання нахилопадаючих розломів, які утворюють багатоярусні локальні структури, що нагадують «ялинки», іменовані у зсувній тектоніці «тріщинами оперення». Формування останніх зумовлене розвитком структур другого порядку в зонах розломів.

Таким чином, усі розломи утворюють багатоярусну складнопідпорядковану систему. При цьому їх види виявляються на сейсмічних розрізах у вигляді не магістральних ліній, а зональних тіл з тим або іншим перетином.

На фоні виявлених регіональних особливостей будови консолидованої кори й верхньої мантії відокремлюються бло-

ки, що різняться насамперед потужністю кори, тією або іншою специфікою структури, а також різним характером прояву дислокацій і зв'язків із приповерхневими структурами.

Висновки. Глибинні дослідження МВХ—СГТ дали змогу детальніше, ніж за методом ГСЗ, вивчити структурно-тектонічні особливості консолидованої кори й верхньої мантії, сформувані уявлення про досліджувану структуру як про цілісну систему об'єктів на різних рівнях її організації. Втім найбільш повну і об'єктивну інформацію про будову всього розрізу може дати тільки комплексна інтерпретація даних МВХ—СГТ і ГСЗ.

Спостережене хвильове поле містить насамперед інформацію про характер розшарування, деформацій і напруженого стану структур консолидованої кори і верхньої мантії.

У сучасній структурі розглянутого розрізу значна роль належить розломам і тектонічним пластинам, переважна більшість яких виявляється як похилі зональні тіла з різним орієнтуванням. Системи розломів і пластин утворюють складну ієрархічну співпідпорядкованість.

Консолідована кора й верхня мантія мають складну поверхово-блокову структуру, яка відображає певні просторово залежні зв'язки, що виявляються у корельованих численних неоднорідностях, властивих як конкретним блокам, так і великим геологічним елементам.

Перехід кора—мантія є складною латерально мінливою зоною потужністю від 3 до 7 км, що зумовлена системами субгоризонтальних розшарувань, вираженою концентрацією відбивних майданчиків. Найбільш однорідна і контрастна зона переходу виявляється у структурах прадавньої консолідації за потужності кори близько 40 км. У структурі фанерозойської складчастості (Скіфська плита—Південноукраїнська синкліналь) зона переходу кора—мантія має нечіткий, розпливчастий характер.

Сучасна поверхово-блокова структура кори запам'ятала в собі багаторазову дис-

локаційну, метаморфічну й магматичну її переробку, яка в часі й просторі змінювалася обставинами стискання й розтягання за постійного прямування до енергетичної та ізостатичної рівноваги.

Разом із підтвердженням існування встановлених раніше розломів у земній

корі за сейсмічним даними СГТ виділено нові розривні структури, які разом з геологічними, геохімічними й іншими геофізичними матеріалами потрібно оцінити з позицій можливої їх рудоносності. Особливу увагу слід приділити положопадаючим розломам.

Список літератури

- Амашукелі Т.А., Муровская А.В., Егорова Т.П., Алехин В.И. Глубинное строение Добруджи и Преддобруджинского прогиба как отражение развития Трансъевропейской шовной зоны. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 1. С. 153—171. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158869>.
- Бородулин М.А., Байсарович М.Н. Модели литосферы Украинского щита по материалам ОГТ. *Геофиз. журн.* 1992. Т. 14. № 4. С. 57—66.
- Бородулин М.А., Развалов А.Н., Гейко Т.С., Коваленко В.Ю., Пигулевский П.И. *Геофизические работы по геотравверсу Рени—Кривой Рог—Уренгой*. Отчет по сейсморазведочным работам МОВ-ОГТ по титулу 245/88: в 3-х книгах. Книга 1. Дніпро: Фонди ДГЕ «Дніпрогеофізика», 1998. 173 с.
- Ингеров А.И., Ганоцкий О.В., Бутримов Л.П. Электромагнитные исследования в юго-западной части геотравверса «Гранит». Методика и результаты исследований. *Геофиз. сб.* 1991. № 1. С. 68—73.
- Ингеров А.И., Рокитянский И.И. Глубинные магнитотеллурические зондирования на Украинском щите. *Геофиз. журн.* 1986. Т. 8. № 3. С. 3—13.
- Круглов С.С., Гурский Д.С. Тектоническая карта Украины. М 1:1000000. Пояснительная записка, Ч. 1. Киев: УкрДГРИ, 2007. 96 с.
- Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8*. Под ред. Е.М. Шеремета. Донецк: Ноулидж, 2011. 556 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотравверсы I, II, III*. Под ред. А.В. Чекунова Киев: Наук. думка, 1987. 212 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотравверсы IV, IV, VIII*. Под ред. А.В. Чекунова Киев: Наук. думка, 1988. 172 с.
- Пигулевский П.И. Сейсмогеологическая модель строения земной коры Центральной и восточной частей Украинского щита. *Научный вестник НГУ*. 2010. № 4. С. 23—29.
- Соллогуб В.Б. *Литосфера Украины*. Киев: Наук. думка, 1986. 264 с.
- Соллогуб В.Б., Бородулин М.А., Соллогуб Н.В. Новый подход к методике изучения земной коры и верхней мантии. *Геофиз. журн.* 1985. Т. 7. № 2. С. 12—26.
- Соллогуб В.Б., Ильченко Т.В. Сейсмическая модель геотравверса VIII. *Докл. АН УССР. Сер. Б.* 1986. № 12. С. 15—18.
- Стовба С.Н., Толкунов А.П., Стифенсон Р.А. Глубинное строение Донецкого складчатого сооружения по данным региональных работ МОГТ на профиле ДОБРЕ-2000. *Научный вестник НГУ*. 2002. № 4. С. 81—84.
- DOBREFraction'99 Working Group. Grad, M., Gryn, D., Guterch, A., Janik, T., Keller, R., Lange, R., Lyngsie, S.B., Omelchenko, V.D., Starostenko, V.I., Stephenson, R.A., Stovba, S.M., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2003). «DOBREFraction'99»—velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine). *Tectonophysics*, 371(1-4), 81—110. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7).
- 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>.
- Pigulevskiy, P.I., Shumlianska, L.A., Dubovenko, Yu.I., & Svystun, V.K. (2019). The mantle disruptions by P-waves velocity gradients analysis under East of Ukrainian Shield. *18th*

- Int. Conf. on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kyiv, Ukraine, May 13—16 2019* (pp. 688—693).
- Pigulevskiy, P.I., & Stovas, O.M. (2022). Seismic geotraverse «Granit» (Ukrainian part). Re-animation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 11—16. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-4/011>.
- Starostenko, V., Janik, T., Lysynchuk, D., Sroda, P., Czuba, W., Kolomiyets, K., Gintov, O., Omelchenko, B., Komminaho, K., Guterch, A., Tiira, T., Gryn, D., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2013). 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.I., Janik, T., Yegorova, T., Farfuliak, L., Czuba, W., Sroda, P., Thybo, H., Artemieva, I., Sosson, M., Volfman, Y., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., 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 675 Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the 676 Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 201(1), 406—428. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>.
- 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., Hegedus, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2013). 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>.
- Svistun, V., & Pigulevskiy, P. (2021). Gravimetric survey and gravimetric database in Ukraine «Dni-progeofizika» during 2000—2011 carried out works on collection, analysis and formation of an electronic gravimetric data base (GDB) of the territory of Ukraine. Based on the results of the work car. *20th International Conference Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 11—13 May 2021 Kyiv, Ukraine* (pp. 1—7). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521132>.

Geotraverse «Granite—Odesa—Kryvyi Rih—Pereschepine

P.I. Pigulevskiy, 2022

Dnipropetrovsk Geophysical Expedition «Dni-progeofizika», Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article examines the results of research carried out by the methods of reflected waves and common depth point (MRW-CDP) on the «Granit» geotraverse, which crosses the whole of Ukraine from the southwest to the northeast and passes through the territories of Odesa, Mykolaiv, Dnipropetrovsk, and Kharkiv regions, west of Belgorod region of Russia. In structural and tectonic terms, the geotraverse crosses large geological structures: the marginal part of the Scythian Plate (SP), the Ukrainian Shield (USH), the Dnieper-Donetsk Basin (DDB) and the southern slope of the Voronezh Crystalline Massif (VCM).

The analysis of the features of the registered wave field and the completed structural constructions of the consolidated crust and upper mantle in the section of the «Granite» geotraverse shows a complex heterogeneous structure with certain spatially correlated regularities, against the background of which there are numerous inhomogeneities characteristic of both individual blocks and their individual intervals.

The cross-sections of all the studied geostructures are characterized by a high level of saturation with non-extended, unevenly distributed reflective elements, which occupy positions from subhorizontal to steeply sloping in space. With all the diversity of the mutual location of both individual boundaries and their groups, a fairly strict correlation is established, which primarily provides information about the nature of stratification, deformations, and the stress state of the structures of the consolidated crust and upper mantle.

In the modern structure of the crust, a significant role belongs to faults and tectonic

plates, the vast majority of which are manifested as inclined zonal bodies with different orientations. Systems of faults and plates form a complex hierarchical interdependence.

The «crust-mantle» transition zone is a complex, laterally variable area, with a thickness of 3 to 7 km, caused by systems of subhorizontal stratification, expressed by the concentration of reflective elements. The largest homogeneous and contrasting region of the transition is manifested in the structures of ancient consolidation, with a thickness of the crust of about 40 km.

As a result of the research, more detailed information on the structure of individual tectonic elements was obtained, and some general principles of the structure of the transition zone from the ancient continental platform to the active folded belt were clarified.

Key words: Ukrainian shield, earth's crust, seismic, common midpoint, geotravers, reflection elements.

References

- Amashukeli, T.A., Murovskaya, A.V., Yegorova, T.P., & Alokhin, V.I. (2019). The deep structure of the Dobrogea and Fore-Dobrogea trough as an indication of the development of the Trans-European suture zone. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 41(1), 153—171. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158869> (in Russian).
- Borodulin, M.A., & Baysorovich, M.N. (1992). Models of the lithosphere of the Ukrainian Shield based on CDP materials. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 14(4), 57—66 (in Russian).
- Borodulin, M.A., Razvalov, A.N., Geyko, T.S., Kovalenko, V.Yu., & Pigulevsky, P.I. (1998). *Geophysical works on the Reni—Kryvoy Rog—Urengoy geotraverse*. Report on seismological works of MRW-CDP under title 245/88 in 3 books. Book 1. Dnipro: DGE «Dniprogeophysics» Foundations, 173 p. (in Russian).
- Ingerov, A.I., Ganotskiy, O.V., & Bugrimov, L.P. (1991). Electromagnetic studies in the southwestern part of the «Granit» geotraverse. Methodology and results of research. *Geofizicheskiy Sbornik*, (1), 68—73 (in Russian).
- Ingerov, A.I., & Rokityansky, I.I. (1986). Deep magnetotelluric soundings on the Ukrainian shield. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 8(3), 3—13.
- Kruglov, S.S. & Gursky, D.S. (2007). *Tectonic Map of the Ukraine. M 1:1000000. Explanatory note, P. 1*. Kyiv: Publ. of the Ukrainian State Geological Prospecting Institute, 96 p. (in Russian).
- Sheremet, Ye.M. (Ed.). (2011). *Kryvyi Rih super-deep well SG-8*. Donetsk: Noulidzg, 556 p. (in Russian).
- Chekunov, A.V. (Ed.). (1987). *Lithosphere of Central and Eastern Europe. Geotraverses I, II, III*. Kiev: Naukova Dumka, 212 p. (in Russian).
- Chekunov, A.V. (Ed.). (1988). *Lithosphere of Central and Eastern Europe. Geotraverses IV, IV, VIII*. Kiev: Naukova Dumka, 172 p. (in Russian).
- Pigulevsky, P.I. (2010). Seismogeological model of the structure of the earth's crust in the Central and Eastern parts of the Ukrainian Shield. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 23—29 (in Russian).
- Sollogub, V.B. (1986). *Lithosphere of Ukraine*. Kiev: Naukova Dumka, 264 p. (in Russian).
- Sollogub, V.B., Borodulin, M.A., & Sollogub, N.V. (1985). A new approach to the method of studying the earth's crust and upper mantle. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 7(2), 12—26 (in Russian).
- Sollogub, V.B., & Ilchenko, T.V. (1986). Seismic model of geotraverse VIII. *Doklady AN USSR. Ser. B*, (12), 15—18 (in Russian).
- Stovba, S.N., Tolkunov, A.P., & Stephenson, R.A. (2002). Deep structure of the Donetsk folded structure according to the data of regional CDP surveys on the DOBRE-2000 profile. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 81—84 (in Russian).
- DOBREFraction'99 Working Group. Grad, M., Gryn, D., Guterch, A., Janik, T., Keller, R., Lange, R., Lyngsie, S.B., Omelchenko, V.D., Starostenko, V.I., Stephenson, R.A., Stovba, S.M., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2003). «DOBREFraction'99»—velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine). *Tectonophysics*, 371(1-4), 81—110. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00211-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00211-7).
- Maystrenko, Y., Stovba, S., Stephenson, R., Bay-

- er, 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>.
- Pigulevskiy, P.I., Shumlianska, L.A., Dubovenko, Yu.I., & Svystun, V.K. (2019). The mantle disruptions by P-waves velocity gradients analysis under East of Ukrainian Shield. *18th Int. Conf. on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, Kyiv, Ukraine, May 13—16 2019* (pp. 688—693).
- Pigulevskiy, P.I., & Stovas, O.M. (2022). Seismic geotraverse «Granit» (Ukrainian part). Re-animation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 11—16. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-4/011>.
- Starostenko, V., Janik, T., Lysynchuk, D., Sroda, P., Czuba, W., Kolomiyets, K., Gintov, O., Omelchenko, B., Komminaho, K., Guterch, A., Tiira, T., Gryn, D., Legostaeva, O., Thybo, H., & Tolkunov, A. (2013). 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.I., Janik, T., Yegorova, T., Farfuliak, L., Czuba, W., Sroda, P., Thybo, H., Artemieva, I., Sosson, M., Volfman, Y., Kolomiyets, K., Lysynchuk, D., 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 675 Scythian Platform: the DOBRE-5 profile across the northwestern Black Sea and the 676 Crimean Peninsula. *Geophysical Journal International*, 201(1), 406—428. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv018>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W., Sroda, P., Grad, M., Kovács, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I.M., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedus, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2013). 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>.
- Svystun, V., & Pigulevskiy, P. (2021). Gravimetric survey and gravimetric database in Ukraine «Dniprogeofizika» during 2000—2011 carried out works on collection, analysis and formation of an electronic gravimetric data base (GDB) of the territory of Ukraine. Based on the results of the work car. *20th International Conference Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects this, 11—13 May 2021 Kyiv, Ukraine* (pp. 1—7). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521132>.