

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Лисинчука Дмитра Володимировича на тему «Швидкісні моделі літосфери України за даними ширококутних сейсмічних глибинних зондувань», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 - геофізика.

Дисертаційна робота Дмитра Лисинчука спрямована на вирішення **актуальної** задачі дослідження глибинної будови земних надр на основі розрахунку швидкісних моделей за регіональними профілями, що відпрацьовані Інститутом геофізики у співпраці з закордонними науковими установами за сучасною методикою ширококутних сейсмічних зондувань. Ці дані дають достовірну інформацію про глибинну будову літосфери до глибини 60-80 км. Основою методики побудови глибинно-швидкісних моделей на теперішній час є розв'язок оберненої кінематичної задачі сейсміки з подальшим тестуванням результатів інверсії за допомогою променевого моделювання, яке базується на переборі параметрів розрізу і зменшенні розбіжності між спостереженими та модельними годографами, що зафіксовані у хвильовому полі. Пряме та обернене кінематичне моделювання, незважаючи на його відомі недоліки, використовується у зв'язку з його технологічними властивостями і, в першу чергу, завдяки відносно високій швидкості розрахунків на комп'ютерах.

Автором запропоновано підвищити ефективність інтерпретації даних регіональних профілів за рахунок комплексного використання програм інверсії перших вступів сейсмічних хвиль разом з прямим променевим моделюванням та розрахунком синтетичних сейсмограм. Кінцева модель, яка має відповідати як результатам інверсії, так і прямого променевого моделювання, в подальшому використовується для розрахунку повного хвильового поля, а синтетичні сейсмограми співставляються із спостереженим сейсмічним полем для корегування моделі. Особливо це важливо для об'єктів із складною будовою, які продукують нестандартні за формою годографи сейсмічних хвиль з розривами, перекриттями та петлями. Автор випробував нову методику інтерпретації на чотирьох регіональних профілях ширококутного глибинного сейсмічного зондування EUROBRIDGE'97, PANCAKE, DOBRE-4 та DOBRE-5 і отримав нову важливу геологічну інформацію про глибинну будову великих структурних одиниць в літосфері України та суміжних територій Білорусі та Угорщини,

таких як Східно-Європейський кратон, Транс-Європейська шовна зона, Західно-Європейська платформа і Скіфська плита.

Підтвердженням актуальності теми дисертаційної роботи є і той факт, що вона виконана у відповідності з планами держбюджетних науково-дослідних робіт Інституту Геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, в яких автор приймав участь, а саме: «Вивчення глибинної будови та геодинамічного розвитку літосфери північно-західного шельфу Чорного моря та південно-західної частини Східно-Європейської платформи у зв'язку з перспективами нафтогазоносності», № держ. реєстрації 0108U004822; «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ у зв'язку з перспективами нафтогазоносності», № держ. реєстрації 0109U002947; «Сейсмічні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської платформи та Скіфської плити вздовж профілю Маріуполь-Феодосія-Чорне море у зв'язку з перспективами нафтогазоносності» в 2004-2007, № держ. реєстрації 0107U003123; «Створення комплексної тривимірної геофізичної моделі літосфери Українського щита у зв'язку з магматизмом, тектонікою та утворенням родовищ корисних копалин. № держ. реєстрації 0102U002478; «Сейсмічні дослідження земної кори і верхньої мантії Землі північно-західного шельфу Чорного моря у зв'язку з перспективами нафтогазоносності (проект DOBRE-5)», № держ. реєстрації 0110U006596; цільова тема «Геодинамічний розвиток літосфери України та формування і розміщення родовищ корисних копалин (2012-2016 рр.)», № держ. реєстрації 0112U003044; «Геофізичні дослідження глибинної будови, еволюції та геодинаміки Азово-Чорноморського регіону України та Криму у зв'язку з оцінкою перспектив нафтогазоносності (2014-2018 рр.)», № держ. реєстрації 0114U000234; «Сейсмічні та геофізичні спостереження на платформній частині території України у 2014-2018 рр.», № держ. реєстрації 0114U000231.

Практичне значення роботи полягає в розробці нових підходів до інтерпретації даних ширококутної сейсміки, які будуть використовуватися багатьма дослідниками в наступних сейсмічних експериментах. Важливе значення для практики має також створена дисертантом база сейсмічних даних, що отримані на регіональних профілях за ширококутною системою спостережень. Ці дані можуть бути використані як для вдосконалення методики їх обробки, так і для розвитку нових алгоритмів і програм, що забезпечують інтерпретацію матеріалів глибинних сейсмічних зондувань.

Зміст дисертації відповідає її назві та складається з переліку умовних скорочень і символів, вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних джерел, що включає 366 найменувань. Робота містить 374 сторінки машинописного тексту, 5 таблиць та 107 рисунків. За темою дисертації опубліковано 33 наукових праць: 21 стаття (у тому числі 10 у фахових українських виданнях, 11 в зарубіжних наукових журналах, що індексуються у міжнародній наукометричній базі SCOPUS) і 12 тез доповідей на міжнародних конференціях. Основні наукові результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені в публікаціях автора.

У **вступі** наведено обґрунтування актуальності вибраної теми, висвітлено стан наукової проблеми та її значимість, сформульовано мету, предмет та об'єкт досліджень, означені методи досліджень, визначено наукову новизну роботи і практичне значення отриманих результатів та зв'язок роботи з науковими темами.

У **першому розділі** дисертаційної роботи автор аналізує наявну інформацію про регіональну геологічну будову основних тектонічних структур земної кори в межах України та досліджує сейсмогеологічні умови проведення ширококутних сейсмічних зондувань. На основі наведених даних, які в своїй більшості спираються на результати глибинного сейсмічного зондування, що було виконано за допомогою аналогової записуючої апаратури, дисертант робить справедливий висновок про актуальність проведення нових досліджень, що забезпечені сучасною комп'ютерною технікою та програмами.

У **другому розділі** наведений достатньо повний огляд літератури щодо різних підходів та методичних прийомів, які використовуються при інтерпретації даних регіональних сейсмічних профілів з метою отримання інформації про глибинну будову земних надр.

Проаналізовано методи формування швидкісної моделі геологічного середовища шляхом розв'язку оберненої кінематичної задачі, результати якого в подальшому використовуються для моделювання хвильових полів. Окремо розглянуто існуючі методи повнохвильового моделювання. В кінці розділу більш детально розглянуті програмні продукти, які використовуються в інтерпретації ширококутних сейсмічних зондувань. Поставлена задача їх комплексного використання для контролю якості отриманих результатів.

Третій розділ присвячений обробці польових експериментальних даних та підготовці зведених сейсмограм для наземних та для морських

спостережень. Фактичні дані отримані під час виконання міжнародних дослідницьких проектів за методикою ширококутних глибинних сейсмічних зондувань в межах Східно-Європейського кратону від Прип'ятського рифтового прогину до західного та південно-західного схилів Українського щита, Транс-Європейської шовної зони та Північної Добруджі. Крім того розглянуті дані для Скіфської плити, які зібрані на півдні України. Дисертантом виконаний аналіз хвильових полів з виділенням та кореляцією корисних сейсмічних хвиль та побудована системи годографів для чотирьох регіональних сейсмічних профілів. Суттєвим здобутком автора є доповнення фактичних даних сейсмограмами з донних гідрофонів на одеському шельфі, які були зроблені у попередні роки і зберігались у вигляді діаграм. Вони були оцифровані і переведені у формат збереження сейсмічних даних SEG-Y. Це дало можливість проінтерпретувати їх на сучасному рівні і отримати додаткову інформацію на морській ділянці профілю. Весь фактичний матеріал, що представлений у даному розділі, став основою для розрахунку швидкісних моделей за різними алгоритмами та програмами, та підготовки синтетичних сейсмограм на основі променевого та повнохвильового моделювання.

У **четвертому розділі** описані методичні прийоми, за допомогою яких проводилася інтерпретація матеріалів регіональних сейсмічних профілів EUROBRIDGE'97, PANCAKE, DOBRE-4 та DOBRE-5. Автором використана наступна послідовність процедур обробки:

- аналіз хвильового поля та створення системи годографів, які ув'язуються у взаємних точках;
- інверсія часів пробігу сейсмічних хвиль та визначення початкового варіанту швидкісної моделі земної кори з урахуванням апріорної геологічної та петрофізичної інформації щодо складу та швидкісних характеристик верхньої частини розрізу;
- розв'язок прямої задачі з використанням променевого моделювання на основі мінімізації розбіжностей між спостереженими та розрахованими годографами;
- розрахунок синтетичних сейсмограм, оцінка достовірності отриманої швидкісної моделі, визначення необхідності її подальшого вдосконалення.

В даному розділі наведено результати побудови глибинно-швидкісних моделей уздовж відповідних регіональних профілів та охарактеризовані основні проблеми, що виникають під час цієї роботи. Проведено аналіз

вихідних хвильових полів, які є основою для формування моделі, що здійснюється шляхом порівняння синтетичних сейсмограм із спостереженими. Отримані глибинно-швидкісні моделі автор використовує як первинне наближення, що в подальшому уточнюється за допомогою повнохвильового моделювання.

У п'ятому розділі проведено аналіз швидкісної моделі будови земної кори та верхньої мантії вздовж досліджуваних профілів. В даному розділі демонструється важливий результат дисертації, який представлений побудованими швидкісними моделями для поздовжніх та поперечних сейсмічних хвиль по кожному профілю та їх геологічній інтерпретації.

Сейсмічна швидкісна модель за профілем EUROBRIDGE'97 визначає три блоки, які обумовлені наявністю бічних контрастів в швидкостях P- і S-хвиль і у відношенні V_p/V_s . Центральній частині відповідає фундаменту Волинського блоку, в якому профіль перетинає Коростенський плутон. Південна частина відповідає Подільському блоку Українського щита. Північна частина повністю розташована в межах магматичного поясу Оснітськ-Мікашевичі, де профіль перетинає область Прип'ятського прогину. Загалом, профіль перетинає кордони між трьома різними областями фундаменту або блоками сарматського сегменту земної кори Східно-Європейського кратону. Модель розподілу значень сейсмічних швидкостей показує відмінності між цими блоками. Основною причиною цих відмінностей може бути вплив Коростенського плутону, який утворився внаслідок інтрузій у Волинському блоці, і становить більшу частину цього блоку вздовж даного профілю. Автор справедливо припускає про можливість трансформації швидкісної структури окремих блоків земної кори, яка вплинула на основні швидкісні характеристики та швидкісну модель в цілому.

Швидкісна модель уздовж профілю PANCAKE містить три основних блоки, що відповідають: 1) Паннонському басейну разом з Закарпатським прогином; 2) Карпатському орогену разом з Прикарпатським прогином та Транс'європейською шовною зоною; 3) Східно-Європейському кратону з неопротерозойськими та палеозойськими структурними одиницями. На профілі зареєстровані значні зміни потужності земної кори і глибини границі Мохо. У південно-західній частині в межах Паннонського басейну і Закарпатського прогину глибина до границі Мохо складає від 22 до 25 км. На відстані близько 100 км від цієї зони, у Карпатах, глибина границі Мохо збільшується з 25 до 45 км. В межах східної частини транс'європейської

шовної зони і Східно-Європейського кратону (СЕК) глибина границі Мохо майже однакова і рівномірно зростає з біля 45 км під Прикарпатським прогином до приблизно 50 км на ділянці Волино-Подільського блоку на Українському щиті.

Найбільш помітною особливістю швидкісної моделі для профілю DOBRE-4 є те, що вона містить три послідовних синклінальних і антиклінальних вигину поверхні Мохо з довжиною хвилі близько 125 - 150 км і амплітудою від 8 до 16 км. Таким чином, потужність кори в значній мірі змінюється уздовж профілю - від 44-49 км в проміжку 220-260 км до 33-38 км на дистанціях 130 – 170 і 280 - 330 км. Крім нерівностей поверхні Мохо, аналогічна хвилеподібна поведінка, хоча і в меншому масштабі, притаманна швидкісним границям в моделі верхньої земної кори і верхніх рівнів мантії

Профіль DOBRE-5 перетинає головні тектонічні одиниці Скіфської платформи (СП), які представляють собою складну мозаїку сегментів фундаменту байкальського і фанерозойського віку за межами південної границі СЕК. Швидкісна модель Р-хвиль за профілем DOBRE-5 показує чітку сегментацію кори на чотири блоки із заходу на схід: 1) Переддобруджінський прогин (ділянка вздовж профілю (20-160 км)); 2) Одеський шельф Чорного моря разом з Каркінітським прогином (160-360 км); 3) Центральне Кримське підняття (360-520 км); 4) Індоло-Кубанський прогин на Керченському півострові (520-620 км). Перераховані блоки відокремлені один від одного великими глибинними розломами. Сегментація областей земної кори, які виділені за сейсмічними даними для профілю DOBRE-5, корелюється з закономірностями гравітаційного та магнітного полів.

У **Висновках** автор справедливо наголошує, що виконана робота забезпечила отримання глибинної будови літосфери України на основі швидкісних моделей, які розраховані за даними ширококутних глибинних сейсмічних зондувань вздовж регіональних профілів. Швидкісні характеристики літосферних структурних блоків, шарів, що їх складають, зон контактів та зрощування окремих одиниць дають нову інформацію про умови утворення, деформації та історію розвитку як окремих тектонічних структур, так і всього регіону загалом.

По дисертаційній роботі слід відзначити такі **зауваження**:

1. В тексті роботи присутні деякі граматичні неточності, наприклад: «склон Українського щита», «шовная зона» (стор. 56, рис.1.4), «хвилеве поле» (стор. 155, 234), Голванівська шовна зона замість Голованівська шовна

- зона, Гріхово-Павлоградський розлом замість Горіхово-Павлоградський розлом тощо.
2. Частина рисунків містить написи англійською мовою, наприклад, рис. 1.3 на стор. 50, рис. 1.5 на стор. 59, рис. 1.6 на стор. 64, рис. 1.8 на стор. 70.
 3. На оглядовій тектонічній карті у першому розділі відсутній масштаб і умовні позначення, деякі назви наведено нерозбірливо. Аналогічне зауваження стосується також автореферату.
 4. Підписи рисунків, що ілюструють хвильове поле у третьому розділі, перевантажені інформацією про нормалізацію, фільтрацію, редукцію, виділені годографи і т.д., які майже всі співпадають між собою. Краще було б дати загальний опис, а для кожного рисунку вказувати відмінності, якщо такі присутні.
 5. У четвертому розділі для розрахунку швидкісних моделей за профілем EUROBRIDGE'97 на основі томографічної інверсії автор наводить три варіанта рішення, кожне з яких отримане для формально різних параметрів моделі, таких як глибина, інтервал дискретизації моделі та середньоквадратичне відхилення часів вступу спостережених та розрахункових годографів. Для коректного порівняння результатів інверсії, ці параметри було б варто зберегти для кожного з варіантів моделі.
 6. Автором запропонована методика побудови швидкісної моделі з використанням різних алгоритмів та відповідних програмних рішень. Однак, для кожного з чотирьох розглянутих профілів застосовані різні набори програм моделювання. Єдиною загальною для всіх даних є програма І.Пшенчика та В.Червєня SEIS83 для прямого променевого моделювання та розрахунку часів вступу сейсмічних хвиль. Автору варто було б рекомендувати послідовність процедур обробки, що доцільно було б використовувати при проведенні інтерпретації даних ширококутного глибинного сейсмічного зондування.
 7. Методика формування глибинно-швидкісних моделей на основі інверсії часів вступу зареєстрованих сейсмічних хвиль і прямого променевого моделювання не передбачає наявності розривних порушень, що є обмеженням. Проте, цей факт ніяк не обговорюється, хоча автор у п'ятому розділі стверджує, що тектонічний шов Херсон-Смоленськ знайшов своє відображення у швидкісній моделі за профілем DOBRE-4.
 8. Метою роботи є вивчення будови літосфери території України на основі швидкісних моделей. В розділі 2 показано методику побудови моделей, в

розділі 3 - експериментальні дані, в розділі 4 – побудова моделей. Лише розділ 5 присвячений заявленому вивченню будови літосфери на основі швидкісних моделей. Тобто, в роботі більше уваги було приділено саме побудові швидкісних моделей, а не їх інтерпретації.

Вищенаведені зауваження не ставлять під сумнів значимість головних положень роботи і не знижують загальної позитивної оцінки дисертації.

Результати досліджень, що представлені автором, в достатній мірі обґрунтовані і є такими, що не викликають сумнівів. Основні положення та висновки дисертації в повній мірі представлені в опублікованих роботах, які вийшли у фахових українських виданнях та міжнародних наукових журналах. Автореферат в повній мірі відображає зміст дисертаційної роботи.

Висновок. Дисертаційна робота «Швидкісні моделі літосфери України за даними ширококутних сейсмічних глибинних зондувань» є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, що має вагомое теоретичне і практичне значення, заслуговує позитивної оцінки, відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567) та іншим інструктивним вимогам Міністерства освіти і науки щодо докторських дисертацій, а її автор Дмитро Володимирович Лисинчук заслуговує на присудження наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Заступник генерального директора
ТОВ «ГЕОЮНІТ»,
доктор геологічних наук



Г.Д.Лісний

Підпис Г.Д.Лісного засвідчую

Провідний інспектор з кадрів

Т.В.Дем'янчук