

ВІДГУК

офіційного опонента

**на дисертаційну роботу Муровської Ганни Валеріївни на тему:
«Глибинна будова та альпійська геодинаміка Карпатського та Кримсько-
Чорноморського регіонів України», представлену на здобуття наукового
ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.**

Дисертаційна робота присвячена дослідженню альпійської геодинаміки Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України на основі синтезу одержаних останнім часом даних ГСЗ стосовно глибинної будови літосфери, субповерхневої будови осадових комплексів і напружено-деформованого стану земної кори за тектонофізичними та сейсмологічними матеріалами.

Дослідження автора виконані в рамках наукових тем Інституту геофізики НАН України, які присвячені: (1) вивченню тектонофізичних факторів структурного контролю магматизму платформ і щитів, стресметаморфізму порід та рудовмісних комплексів; (2) геодинамічному розвитку літосфери України; (3) тектонофізичному вивченню корових і мантийних геодинамічних процесів з метою з'ясування механізмів, що їх контролюють, а також їх впливу на розміщення корисних копалин; (3) ролі мантийних процесів у формуванні структури земної кори і родовищ корисних копалин. Авторка була учасником міжнародного проекту IRG з геонаук Південного Кавказу та безпосереднім виконавцем його третього етапу, який стосується уточнення тектонічної еволюції Кримського півострова на основі реконструкцій палеонапруг і результатів палеомагнітного аналізу.

Робота базується на різноплановому фактичному матеріалі. Для вирішення поставлених завдань використано оригінальний комплекс методів та даних: авторські польові тектонофізичні і геолого-структурні дослідження, відомості про гіпоцентри і механізми землетрусів, отримані останнім часом результати по двом профілям ГСЗ з авторською геологічною інтерпретацією, палінспастичні реконструкції, геологічні розрізи по профілям МСГТ. Також залучено літературні джерела з сейсмотомографії, низькотемпературної термохронології та термометрії. Такий комплекс даних дав можливість розглянути будову літосфери зазначених регіонів на різних глибинних рівнях та ввести фактор часу при інтерпретації її

еволюції.

Наукова новизна отриманих результатів досліджень автора складається з 5 пунктів, кожен з яких розгорнуто та вказано конкретні параметри новизни.

Зокрема, вперше:

1. Побудовано нову тектонічну модель літосфери Українських Карпат та прилеглих регіонів по профілю ГСЗ PANCAKE за інтерпретацією сейсмічних зображень, одержаних методом міграції.

2. Виявлено еволюцію напружено-деформованого стану Українських Карпат за польовими тектонофізичними та сейсмологічними даними.

3. Виконано геологічну інтерпретацію будови та еволюції земної кори Гірського Криму на основі щойно отриманого швидкісного розрізу по лінії Севастополь-Керч.

4. Відновлено час і напрямки ранньокрейдового розтягу та кайнозойського стиснення в Гірському Криму за польовими тектонофізичними даними, а також сучасний напружено-деформований стан Кримської сейсмогенної зони.

5. Визначено вік та запропоновано механізм відкриття Чорноморської западини в Гірському Криму за тектонофізичними дослідженнями (з урахуванням іншої геолого-геофізичної інформації).

Представлені положення в цілому відображають новизну отриманих автором результатів і добре обґрунтовані в 8 розділах дисертації.

В *розділі 1* показано позицію Українських Карпат і Кримсько-Чорноморського регіону в складі західної частини Альпійсько-Гімалайського поясу, яка знаходиться в зоні конвергенції Євразійської і Афро-Арабської плит. Зроблено огляд сучасної кінематики за даними GPS, сучасних полів напружень і деформаційних режимів в зазначених регіонах та висвітлено проблемні питання їх геодинаміки. Загальною рисою Українських Карпат та Гірського Криму є їх позиція на найбільшому віддаленні від Адріатичного і Арабського інденторів, а також обмаль визначень полів напружень в їх межах. Ці чинники призводять до неоднозначної інтерпретації геодинамічних процесів, які є основою подальших геологічних досліджень.

В *розділі 2* розглянуто як загальну методологію дослідження в світлі ідей сучасної геодинаміки в зонах континентальної колізії, так і конкретні методи

обробки тектонофізичних та сейсмологічних даних. Позитивною рисою роботи є використання сучасних комп'ютерних програм Stereo32, StereoNett, Win-Tensor при обробці геолого-структурних, тектонофізичних та сейсмологічних матеріалів.

У розділі 3 розглянуто історію геологічного вивчення та сформульовано дискусійні питання стосовно будови і еволюції Українських Карпат, як то: архітектура Карпатської споруди, глибина дофлішового фундаменту, початок формування покривно-складчастих деформацій у внутрішніх частинах флішового поясу. Для вирішення цих проблем виконана комплексна інтерпретація збалансованого геологічного розрізу Мукачево-Бильче (паралельного до профілю ГСЗ PANCAKE) та результатів низькотемпературної термохронології (фішен-трек аналізу), яка впроваджує кількісні параметри будови і еволюції Українських Карпат.

У розділі 4 наведено огляд вивченості глибинної будови Українських Карпат методами сейморозвідки СГТ та ГСЗ. Характерні особливості структури Українських Карпат лягли в основу подальшої геологічної інтерпретації сейсмічних зображень, одержаних методом міграції. В роботі представлено нову геологічну модель по профілю ГСЗ PANCAKE, що враховує сейсмічні зображення, швидкісну модель за профілем, збалансований геологічний та сейсмогеологічний розрізи по профілях, які розташовані в безпосередній близькості. Позитивною рисою роботи є детальне висвітлення будови всіх глибинних рівнів земної кори та верхньої мантії за профілем ГСЗ PANCAKE, що стало можливим завдяки компіляції широкого масиву геолого-геофізичних даних різної глибинності.

У розділі 5 проаналізовано просторовий розподіл сильних землетрусів Закарпаття, розраховано сучасні та палеонапруження за польовими тектонофізичними і сейсмологічними даними та виконана їх геодинамічна інтерпретація. На основі результатів авторських тектонофізичних досліджень та інтерпретації механізмів землетрусів вперше побудовані траєкторії сучасного стиснення. Цікавим є співставлення траєкторій сучасного стиску з розподілом швидкостей сучасних вертикальних рухів, яке демонструє, що горизонтальні сили стиску призводять до вертикального здіймання в межах Солотвинської западини та Рахівського масиву. Траєкторії сучасного стиску в Закарпатському прогині

доповнюють траєкторії сучасного стиску в Паннонській западині та дають важливу інформацію для геодинамічних побудов всього Карпато-Паннонського регіону.

Автором розраховано ряд полів напружень в межах Українських Карпат та надана їх тектонічна інтерпретація. Визначальну роль в формуванні Українських Карпат відігравали сили стиснення, які діяли в Пн-Сх 40° напрямку. В Солотвинській западині орієнтування сил стиснення змінюється на субширотне. В центральній частині Закарпатського прогину відновлено поле напружень з субширотною віссю розтягу, яке автор пов'язує з активізацією субмеридіонального Оашського розлому і впровадженням вулканітів Вигорлат-Гутинського пасма в наслідок локального розтягу. В межах Українських Зовнішніх Карпат було реконструйовано поле напружень з орієнтацією вісі розтягу у Пд-Зх 220° напрямку, пов'язане з розломами фундаменту крайової частини Східно-Європейського кратону, які активувались в пізньому міоцені під вагою потужного Карпатського алохтону. Автором узагальнено результати тектонофізичних досліджень, палінспастичних побудов та низькотемпературної термохронології. Це дозволило виділити дві стадії розвитку Карпатського орогену та визначити їх вікові межі. У ранньорогенну стадію (32-11,5 млн. років) формувалась сучасна покривно-насувна структура Карпатської споруди, а на пізньорогенній стадії після закінчення насувоутворення (~11,5 млн. років) відбувався значний (до 7 км в центральній частині) ізостатичний підйом Карпатської споруди.

У розділі наведено огляд послідовності геологічних подій та геодинамічних моделей Карпато-Паннонського регіону. Виконано аналіз структури літосфери та верхньої мантії за профілем PANCAKE і запропоновано два сценарії сучасної колізійної взаємодії літосфери Східно-Європейського кратону та мікроплити Алькапа. Здійснено синтез всієї представленої в розділах 3 та 4 геолого-геофізичної інформації і зроблено ряд висновків стосовно геодинамічної ситуації в Карпато-Паннонському регіоні, а саме: (1) Пн-Сх вергентність насувів Карпатської акреційної призми, складеної глибоководними турбідитами, свідчить на користь Пд-Зх субдукції, проте слідів сутури та слеба з падінням на південний захід в корі та верхній мантії на представлений моделі по профілю ГСЗ PANCAKE не виявлено. (2) Потоншання літосфери під Паннонським басейном є суттєво більшим, ніж

потоншення кори, що свідчить про вирішальну роль мантійного апвелінгу в його формуванні. (3) Зараз в Українських Карпатах відбувається континентальна колізія, що призводить до підсуву літосферної мантії Паннонії під Східно-Європейський кратон. Верхня частина кори Паннонського басейну та Закарпатського прогину по горизонтальному детачменту на глибині 15-16 км насувається в бік Карпат. Суттєвим досягненням є порівняння структури земної кори і верхньої мантії до глибин 500 км та висновок стосовно вирішальної ролі мантійних процесів в геодинаміці регіону.

В розділі 6 зроблено огляд літературних джерел стосовно будови Кримсько-Чорноморського регіону. Представлено новий геологічний розріз через східну частину Гірського Криму та прогин Сорокіна за результатами тектонофізичних і геолого-структурних спостережень на суходолі та інтерпретації 7 сейсмічних профілів МСГТ в акваторії Чорного моря. Розріз демонструє кінематичну єдність складчасто-насувної структури Гірського Криму і прогину Сорокіна, яка сформувалась в кайнозойський період в результаті колізії та підсуву Східно-Чорноморської мікроплити під Скіфську плиту.

Вперше на сучасному рівні отримано швидкісний розріз за профілем ГСЗ Севастополь-Керч при переінтерпретації сейсмічних матеріалів 1975 року. Виконана геологічна інтерпретація швидкісної моделі за профілем з урахуванням геолого-геофізичних даних, яка свідчить про складну будову давньої континентальної кори Південного Криму внаслідок її багаторазової перебудови. Цікавим є висновок, що докембрійські неоднорідності земної кори Південного Криму впливають на подальший її розвиток і закладення елементів альпійського етапу тектогенезу.

В розділі 7 представлено результати авторських геолого-структурних та тектонофізичних досліджень в Гірському Криму, виконаних в рамках міжнародних DARIUS та IRG проєктів. Позитивною особливістю тектонофізичних досліджень є їх тісний зв'язок з геологічними даними та розвитком всього Чорноморського регіону. Автор зв'язала мезоструктури (тектонічні дзеркала), що за розміром відповідають масштабу відслонення, з регіональними розломами, для яких в рамках IRG проєкту за нанопланктоном було визначено вік ранньокрейдової

активізації. Таким чином, в Гірському Криму було виявлено етап валанжин-альбського розтягу Пд-Зх напрямку. В умовах розтягу формувалась система напівграбенів, які швидко заповнювались морськими теригенними відкладами з включенням олістостромових та дебритних комплексів. Завершення етапу розтягу маркується різкою зміною характеру деформації та осадонакопичення на границі нижньої і верхньої крейди.

Для характеристики етапу кайнозойського стиснення також задіяний комплекс тектонофізичних та геологічних даних. Показано, що стиснення починається в палеоцені і складається з двох окремих фаз. Перша фаза Пн-Сх стиснення відноситься до границі палеоцену-еоцену та підтверджується інверсією крейдових скидів у якості підкидів. Друга – основна фаза стиснення – починається з олігоцену та підтверджується інверсією крейдових скидів в якості правих зсувів. Для характеристики сучасних тектонічних процесів залучено дані про сейсмічність Кримської сейсмогенної зони. Виконано аналіз локалізації гіпоцентрів слабких землетрусів та їх порівняння з гравітаційним полем, батиметрією, глибинами Мохо і кристалічного фундаменту. Для сукупностей механізмів сильних землетрусів розраховані поля напружень. Виявлено дві генералізовані гілки з різним характером сейсмічності. В Керченсько-Таманській гілці, яка занурюється під кутом 30° у північному напрямку до глибини 90 км, відбувається підсув Східно-Чорноморської мікроплити під Скіфську плиту. В Південнобережній гілці відбувається колізійний процес, який спричиняється коровим Східно-Чорноморським індентором та ускладнюється наявністю Алуштинського субмеридіонального глибинного розлому і потужних магматичних тіл, які зазнають інтенсивної сучасної деформації.

У розділі 8 представлені тектонофізичні та геологічні дані, які дозволяють визначити час і механізм відкриття Чорного моря. Зважаючи на те, що Гірський Крим до кайнозойської інверсії був північною окраїною Чорного моря, етап ранньокрейдowego розтягу в Гірському Криму було пов'язано з рифтингом в Чорному морі. Вивчені автором скидові розломи на суходолі було корельовано з коровими детачментами в Чорному морі на профілі ГСЗ 25. Базуючись на розподілі напружень на окраїнах Чорного моря запропоновано модель близького за часом

відкриття Західно-Чорноморської западини (проти годинникової стрілки) та Східно-Чорноморської западини (за годинниковою стрілкою).

У розширених висновках автором відображені основні результати дисертаційної роботи, а саме: (1) Особливості глибинної будови Українських Карпат та Гірського Криму; (2) Основні етапи геодинамічної еволюції Українських Карпат та Кримсько-Чорноморського регіонів, відновлені за комплексом геолого-геофізичних даних; (3) Порівняння основних рис геодинаміки Карпато-Паннонського та Кримсько-Чорноморського регіонів.

Зауваження до дисертаційної роботи Муровської Г.В.:

1. В розділі 2 не сфокусовано увагу на особливостях застосування різних методів тектонофізики саме для даного дослідження.

2. У розділі 3 не представлена стратиграфічна колонка, на базі якої виконувався поділ породних комплексів на компетентні та некомпетентні для побудови збалансованого розрізу.

3. У цьому ж розділі не виконано порівняння представленого збалансованого геологічного розрізу через Пн-Зх частину Українських Карпат із збалансованими розрізами через їх Пд-Сх частину.

4. В розділі 4 при побудові тектонічної моделі по профілю PANCAKE не враховано результати по геотраверсу II, що є паралельним та знаходиться в безпосередній близькості до нього.

5. Таблицю 5.1 в розділі 5 треба винести в додатки.

6. Наведені у цьому ж розділі рисунки 5.20, 5.21 та 5.22, які відбивають основний результат авторського дослідження полів напружень, дуже мілкі та погано читаються.

7. Огляд уявлень стосовно тектоніки та геодинаміки Гірського Криму і нову геолого-структурну карту Гірського Криму доречно перенести з шостого розділу у розділ 7, який присвячений геодинаміці регіону.

8. Таблицю 7.1 в розділі 7 треба винести в додатки.

9. На рисунку 7.2. у цьому ж розділі виконана кореляція подій в Кримсько-Чорноморському регіоні. Надзвичайно характерною особливістю є прискорення більше ніж в 2 рази швидкості осадонакопичення в Чорному морі та прискорення

орогенезу в Гірському Криму в пліоцені. Проте в роботі не надано пояснень цьому факту.

Наведені зауваження в цілому не знижують високий науковий рівень виконаних досліджень. Наукові положення дисертації Муровської Ганни Валеріївни добре обґрунтовані, результати досліджень автора мають наукову і практичну цінність.

Достовірність результатів підтверджується великим об'ємом фактичних даних, застосуванням сучасних технологій їх обробки, залученням при інтерпретації значної кількості різнопланових геолого-геофізичних матеріалів.

Результати досліджень у повній мірі викладені в 26 статтях які входять до переліку наукометричних баз і 19-ти тезах доповідей міжнародних конференцій.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації і основним науковим результатам, які характеризують наукову новизну роботи.

Дисертаційна робота Муровської Г.В. за змістом, обсягом і стилем викладеного матеріалу та оформленням відповідає вимогам п. п. 9, 10, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р (зі змінами, які внесені згідно з Постановами КМУ №56 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від 27.07.2016 р.), а також вимогам наказу № 40 від 12.01.2017. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук, інших нормативних актів МОН України та паспорту спеціальності 04.00.22 – геофізика (103 – науки про Землю).

Усе це дає основу стверджувати, що Муровська Ганна Валеріївна заслуговує наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Доктор геологічних наук, керівник Відділення геохімії, геодинаміки та мінеральної сировини і завідувач відділу спеціальної металогенії Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»



Верховцев В.Г.

Підпис В.Г. Верховцева засвідчую:

учений секретар

Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», кандидат технічних наук



Литвиненко О.В.