

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОФІЗИКИ ім. С. І. СУББОТІНА**

МУРОВСЬКА Ганна Валеріївна



УДК 551.243+551.24.035 (477.8)

**ГЛИБИННА БУДОВА ТА АЛЬПІЙСЬКА ГЕОДИНАМІКА КАРПАТСЬКОГО
ТА КРИМСЬКО-ЧОРНОМОРСЬКОГО РЕГІОНІВ УКРАЇНИ**

04.00.22 – геофізика
103 – Науки про Землю

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора геологічних наук

КИЇВ–2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті геофізики імені С. І. Субботіна НАН України (м. Київ)
у відділі тектонофізики

Науковий консультант доктор геолого-мінералогічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України,
Гінтов Олег Борисович,
головний науковий співробітник,
Інститут геофізики імені С. І. Субботіна НАН України

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук, професор,
академік НАН України,
Гожик Петро Феодосійович,
директор, Інститут геологических наук НАН України

доктор геологічних наук,
Лісний Георгій Дмитрович,
заступник генерального директора, ТОВ «ГЕОЮНІТ»

доктор геологічних наук,
старший науковий співробітник,
Верховцев Валентин Геннадійович,
завідувач відділення геохімії, геодинаміки та мінеральної
сировини і відділу спеціальної металогенії, ДУ «Інститут
геохімії навколишнього середовища НАН України»

Захист відбудеться 15 жовтня 2019 року о 10 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.200.01 при Інституті геофізики імені С.І. Субботіна НАН України
за адресою: 03680, м. Київ-142, п-т Палладіна, 32.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту геофізики імені С. І.
Субботіна НАН України за адресою: 03680, м. Київ-142, п-т Палладіна, 32 та на
електронному ресурсі: <http://www.igph.kiev.ua>

Автореферат розіслано 12 вересня 2019 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради Д.26.200.01
доктор геологічних наук



Т. К. Бурахович

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Складні в тектоно-геодинамічному відношенні регіони – Карпато-Паннонський і Кримсько-Чорноморський розташовані в зоні взаємодії південно-західного краю Східно-Європейської платформи та північної гілки Альпійсько-Гімалайського гірсько-складчастого поясу. Незважаючи на довгу історію геолого-геофізичного дослідження регіонів, наразі залишається низка невирішених питань стосовно їх глибинної будови та еволюції. Останнє яскраво ілюструється значним обсягом наукових публікацій, численними схемами структурно-тектонічного районування зазначених регіонів та модельними еволюційними побудовами, які суттєво відрізняються між собою. Очевидно, прогрес в роз'язанні дискусійних питань потребує навих експериментальних даних та нетривіальних підходів.

Отриманий в поточному столітті новий масив тектонофізичних, сейсмічних та сейсмологічних даних, а також поява нових методів і комп'ютерних технологій їх обробки, створили можливості для поглиблення та уточнення знань стосовно дискусійних питань. У вивченні глибинної будови Українських Карпат суттєвим досягненням стали результати досліджень по сучасному міжнародному профілю ГСЗ PANCAKE, який перетинає Українські Карпати. Швидкісна модель по профілю висвітлила складну багатоповерхову будову Українських Карпат, що стало однією з причин багатоваріантності її інтерпретації. Це стимулювало геологічні та тектонофізичні дослідження по лінії профілю, а також додаткову інтерпретацію сейсмічних матеріалів методом міграції відбитих та заломлених хвиль. Синтез щойно отриманих геолого-геофізичних даних дозволяє побудувати нову тектонічну модель літосфери регіону.

У 2016–2018 рр було одержано швидкісний розріз по профілю Севастополь–Керч [Yegorova et al., 2018], побудований при переінтерпретації сучасними програмами матеріалів ГСЗ 1975 р. Актуальною є геологічна інтерпретація одержаного швидкісного розрізу та аналіз еволюції земної кори по профілю на базі синтезу сучасної геолого-геофізичної інформації, яка дає нові можливості для розуміння геодинаміки Кримсько-Чорноморського регіону.

В 2012–2018 рр дисертантом проведено польові тектонофізичні дослідження в Українських Карпатах і зібрано суттєвий масив даних по дзеркалам ковзання, парагенезам розривів, складчастості та іншим мезоструктурам. Обробка та узагальнення тектонофізичних даних дозволили відновити поля сучасних та палеонапружень регіону. Для Закарпатського регіону України вперше було розраховано механізми вогнищ землетрусів [Малицький та ін., 2017, 2018], що відкрило можливість визначення його сучасного напружено-деформованого стану.

В рамках міжнародних проектів DARIUS та IRG (2012—2017 рр) дисертантом було проведено комплексні геолого-структурні і тектонофізичні дослідження в Гірському Криму та відібрано зразки порід з подальшим визначенням їх віку за викопним нанопланктоном. Такий комплекс методів дозволяє пов'язати поля напруження, відновлені для окремих відслонень, з еволюцією регіональних структур та встановити вікові проміжки етапів деформації.

Поява нового масиву експериментальних даних з глибинної будови та напружено-деформованого стану літосфери Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України відкрила можливості для уточнення наших знань про її структуру та розвиток. Інтерпретація даних з глибинної будови, виконана з урахуванням напружень різного віку являє собою нетрадиційний комплекс методів та дозволяє ввести фактор часу при розгляді структури літосфери. Наведені аргументи дозволяють стверджувати, що тема роботи та запропонований синтез даних є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у відповідності з наступними науковими темами: Тектонофізичні фактори структурного контролю магматизму платформ і щитів, стресметаморфізму порід та рудовмісних комплексів» (2011–2015), № держ. реєстрації 0111U000228; Геодинамічний розвиток літосфери України та формування і розміщення родовищ корисних копалин (2012–2016), № держ. реєстрації 0112U003044; «Проект IRG з геонаук Південного Кавказу» (2012–2017). Етап 3 (01.06.2016 – 31.12. 2016): «Уточнення етапів тектонічної еволюції Кримського півострова на основі реконструкцій палеонапруг і результатів палеомагнітного аналізу» № держ. реєстрації 0114U000938; «Тектонофізичне вивчення корових і мантійних геодинамічних процесів з метою з'ясування механізмів, що їх контролюють, і їх впливу на розміщення економічно важливих покладів корисних копалин» (2016–2020), № держ.реєстрації 01164U000133; «Роль мантійних процесів у формуванні структури земної кори і родовищ корисних копалин в Україні (2017–2021)», № держ. реєстрації 0117U000373.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження альпійської геодинаміки Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України на основі синтезу нових сейсмічних даних стосовно глибинної будови літосфери, субповерхнової будови осадових комплексів та напружено-деформованого стану земної кори за тектонофізичними та сейсмологічними дослідженнями.

Об'єкт дослідження – деформаційні структури мезорівня, які вимірюються в межах відслонення: тектонічні дзеркала, парагенези розривів, складки і кластичні дайки; гіпоцентри та механізми землетрусів; геологічні карти та розрізи; сейсмічні зображення та швидкісні розрізи земної кори.

Предмет дослідження – поля напружень та деформаційні режими, що визначаються за сукупністю деформаційних структур, виміряних в натурних відслоненнях, та механізмами землетрусів, а також тектонічні моделі земної кори, які будуються на основі швидкісних моделей та хвильових зображень з урахуванням геолого-геофізичних даних.

Методи дослідження. При польових тектонофізичних дослідженнях вимірювались площинні (тектонічні дзеркала, розриви, поверхні нашарування, кластичні даки) та лінійні (борозни ковзання, шарніри складок, перетини розривів) структурні елементи. Сучасні комп'ютерні програми Stereo32, StereoNett та ін. були використані для аналізу геометричних співвідношень між елементами геологічної структури. Для опрацювання польових тектонофізичних замірів були задіяні наступні методи: структурно-парагенетичний із застосуванням моделі С. Стоянова, О. Гінтова (аналіз за парагенезами розривів) та кінематичний О. Гуценка, Ж.

Анжельє (аналіз за дзеркалами ковзання). Опрацювання масивів кінематичних даних по дзеркалам ковзання здійснювалось з використанням програми Win-Tensor. Поля напружень розраховувались для кожного відслонення окремо, після чого виконувався їх аналіз за орієнтуванням осей напружень та групування. Осі стиснення (або розтягу) кожної групи виносились на карту в кожному пункті спостереження, та проводились траєкторії стиснення (розтягу), паралельні до напрямку осей.

Для сукупностей механізмів землетрусів розраховувались поля напружень та середній механізм з використанням програми Win-Tensor. Здійснювалась типізація механізмів землетрусів за орієнтуванням головних осей тензора напружень та статистичний аналіз орієнтувань нодальних площин і векторів переміщень по них. Геологічна інтерпретація швидкісних моделей і хвильових зображень виконувалась на основі синтезу сучасної геолого-геофізичної інформації. При геодинамічній інтерпретації враховувались принципи тектоніки плит та сучасні ідеї стосовно специфіки процесів в зонах континентальної колізії, до яких відносяться Карпатський та Кримсько-Чорноморський регіони.

Основні задачі, які вирішені безпосередньо дисертантом:

1. Визначення об'єктів досліджень за аналізом космознімків та геологічних карт. Польове вивчення мезоструктур: поверхонь нашарування, контактів структурно-речовинних комплексів, тектонічних дзеркал, парагенезів розривів, елементів складок, кластичних дайок та ін.

2. Розрахунок полів напружень за експериментальними даними, визначення деформаційних режимів, співставлення полів напружень зі структурами регіонального рівня та аналіз в контексті альпійської геодинаміки Карпато-Паннонського та Кримсько-Чорноморського регіонів.

3. Збір інформації по гіпоцентрам та механізмам землетрусів Закарпаття та Кримської сейсмогенної зони, аналіз їх тектонічної позиції, статистичний аналіз механізмів землетрусів, розрахунок сучасного поля напружень та середнього механізму за сукупністю механізмів землетрусів.

4. Геологічна інтерпретація сейсмічних зображень по профілю ГСЗ PANCAKE, одержаних методом міграції з урахуванням наявної геолого-геофізичної інформації.

5. Геологічна інтерпретація швидкісної моделі по профілю Севастополь-Керч, щойно одержаної при переінтерпретації матеріалів ГСЗ.

6. Аналіз геодинамічної ситуації на базі синтезу геолого-геофізичної інформації по напружено-деформованому стану, субповерхневої та глибинній будові Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України

Наукова новизна отриманих результатів.

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

- Уточнено глибину доальпійського фундаменту та виконано інтерпретацію шару зниженої швидкості під ним.

- Виявлено та проінтерпретовано нові особливості структури земної кори та розділу Мохо по профілю

2. Вперше виявлено еволюцію напружено-деформованого стану Українських Карпат за тектонофізичними та сейсмологічними даними.

- За характером деформаційного процесу виділено дві генералізовані стадії розвитку Карпатського орогену: ранньоорогенну (32–11,5 млн) та пізньоорогенну (11,5 – 0 млн).

- Виявлено три основних поля напружень в розвитку Українських Карпат. Поле північно-східного стиску пов'язано в формуванням насувної структури прямолінійної частини Східних Карпат. Поле меридіонального стиску в північно-західній частині Карпат відзеркалює розвиток Західних Карпат. Поле південно-західного розтягу проінтерпретовано у зв'язку з формуванням скидових розломів у фундаменті потужного Карпатського алохтону.

- З'ясовано особливості сеймотектонічного процесу в Закарпатському прогині, який відбувається в верхній корі до глибин ~ 16 км в умовах стиснення та лівої транспресії.

3. Вперше виконано геологічну інтерпретацію будови та еволюції земної кори Гірського Криму на основі щойно отриманого швидкісного розрізу по лінії Севастополь–Керч та з урахуванням іншої геолого-геофізичної інформації.

- Доведено, що земна кора Південного Криму належить до континентального типу з успадкованою субмеридіональною зональністю.

- Виявлено та проінтерпретовано високошвидкісні неоднорідності на глибинах 12–30 км та їх роль в якості концентраторов сучасної деформації стиснення.

4. Вперше 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.

- Відновлено валанжин-альбський час і південно-західний напрямок розтягу в Гірському Криму та відповідну система конседиментаційних скидів, які продовжуються коровими скидами на північно-західному шельфі Чорного моря.

- Встановлено напрямки і час двостадійного кайнозойського стиснення в Гірському Криму, а також його зв'язок з будовою Гірського Криму та прогину Сорокіна.

- Виявлено особливості напружено-деформованого стану та сучасного колізійного процесу в межах Кримської сейсмогенної зони. В Керченсько-Таманській гілці, яка занурюється під північно-західний Кавказ до глибин 90 км відбувається підсув Східно–Чорноморської мікроплити під Скіфську плиту. У Південно-Кримській гілці з падінням зони гіпоцентрів до 50 км на південь відбувається фронтальна колізія Східно–Чорноморської мікроплити та Скіфської плити.

5. Вперше визначено вік та запропоновано механізм відкриття Чорноморської западини на основі тектонофізичних досліджень в Гірському Криму та з урахуванням іншої геолого-геофізичної інформації.

Практичне значення отриманих результатів. Робота доповнює сучасні уявлення про будову та розвиток літосфери Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України, що впливає на якість оцінки прогнозних запасів

вуглеводнів. Знання умов розвитку Карпатського осадового басейну та архітектури сучасної покривно-насувної споруди дозволяє виділяти ділянки, що є перспективними в нафтогазоносному плані та обґрунтовано планувати пошукові роботи. Вивчення структури та взаємовідносин осадових комплексів Гірського Криму, який є інвертованою окраїною Чорного моря, видається інформативним стосовно перспективних нафтових систем сучасної акваторії Чорного моря. Інформація про напружено-деформований стан Українських Карпат та Кримсько-Чорноморського регіону є необхідною для прогнозування негативних екзо- та ендегенних геологічних процесів в силу того, що сучасні поля напружень відіграють важливу роль в підготовці та проходженні землетрусів, зсувів та інших катастрофічних явищ. Орієнтація сучасних тектонічних напружень може слугувати для оцінки вірогідності рухів по відомим розломам та визначення напрямків переміщень по них. Представлений аналіз геодинамічної ситуації в Карпатському та Кримсько-Чорноморському регіонах може бути використаним при викладанні геологічних дисциплін в вузах України.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів забезпечується представницькою кількістю пунктів спостережень та польових замірів, застосуванням сучасних методик та програмного забезпечення при розрахунках полів напружень. Достовірність геологічної інтерпретації швидкісних розрізів та сейсмічних зображень забезпечується залученням сучасних даних з будови літосфери досліджуваних регіонів, опублікованих за останні роки в престижних європейських фахових виданнях. Висновки, зроблені за результатами авторської інтерпретації, в цілому, не суперечать сучасним уявленням про глибинну будову та еволюцію літосфери Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, представлені в дисертаційній роботі, одержані автором особисто і опубліковані в престижних фахових виданнях в Україні та за кордоном. За темою дисертації автором опубліковано 26 статей та 19 тез міжнародних конференцій. 18 робіт авторки увійшли у наукометричну базу SCOPUS, h-індекс дорічноє 4.

Результати тектонофізичного вивчення Гірського Криму знайшли своє відображення у працях [Гинтов и др., 2013; Муровская и др., 2014, 2015, 2018; Gobarenko et al., 2016; Hippolyte et al., 2018], де здобувач виконувала тектонофізичні дослідження, опрацьовувала результати вимірів та здійснювала геолого-тектонічну інтерпретацію результатів. В дослідженні [Гинтов и др., 2016] здобувач проводила узагальнення полів напружень Гірського Криму в контексті еволюції Чорноморської западини. В працях [Шеремет и др., 2014; Sheremet et al., 2016a,б] дисертант приймала участь у виборі районів та проведенні геолого-структурних спостережень.

Дисертант виконувала тектонічну прив'язку гіпоцентрів та типізацію вогнищ землетрусів, статистичний аналіз нодальних площин та векторів переміщення, розрахунок поля напружень та середній механізм за сукупністю механізмів землетрусів наступних сейсмогенних зон: Загроса [Гинтов и др., 2014], Вранча [Гинтов и др., 2015], Кримсько-Кавказької [Муровская и др., 2014, 2018; Gobarenko et al., 2016], Закарпаття [Малицький та ін., 2017 а,б] та Прикарпаття [Малицький та ін., 2018].

Результати тектонофізичного вивчення Українських Карпат знайшли своє відображення у працях [Гинтов и др., 2014; Муровская и др., 2016, 2019; Малицький та ін., 2017а,б; Alokhin et al., 2018], де здобувач виконувала тектонофізичні дослідження, опрацьовувала результати вимірів та здійснювала геолого-тектонічну інтерпретацію результатів. В роботі [Nakapelukh et al., 2018] дисертант виконувала геолого-структурні спостереження та відновлення еволюції Карпатської покривно-насувної споруди за результатами побудови реставрованого розрізу та опублікованими даними низькотемпературної термохронології.

Автор приймала участь у геологічній інтерпретації сейсмічних зображень та швидкісних розрізів за профілями PANCAKE [Гинтов и др., 2014а,в; Verpakhovska et al., 2018; Амашукели и др., 2019], ГСЗ-25 [Муровская и др., 2016; Hippolyte et al., 2018], Севастополь–Керч [Yegorova et al., 2018]. В дослідженні [Муровская и др., 2018; Муровская, 2018; Амашукели и др., 2019] дисертант узагальнювала глибинну будову та геодинаміку Добруджі, як проміжної ланки між Карпатським і Кримсько-Чорноморським регіонами.

Апробація результатів дисертації. Результати, отримані на різних етапах роботи, були представлені на міжнародних нарадах та конференціях: Final Darius symposium, Paris, France, December 8–9, 2014; 4-ая тектонофизическая конференция «Тектоника и актуальные вопросы наук о земле», Москва, Россия, 2016; AAPG, 19–20 May 2016, Bucharest, Romania; Geoinformatics 2016, 10–13 May, Kiev; EGU General Assembly, Vienna 2016; Third scientific conference Geophysical studies and modeling of physical fields of Earth, 13–15 October 2016, Lviv – Verkhnie Synievydne, Ukraine; Geoinformatics 2017, 15–17 May 2017, Kiev, Ukraine; «Ломоносовские чтения», Москва, МГУ, Россия, 17–19 апреля 2017; Final workshop International Research Group Project, Kiev, 25–27 October, 2017; Geoinformatics 2018, 14–17 May 2018, Kiev, Ukraine; EGU General Assembly 2018, 12 April, 2018; 17th Symposium of Tectonics, Structural Geology and Crystalline Geology, Jena 2018; EGU General Assembly, Vienna 2019; Geoinformatics 2019, 13–19 May, Kiev; AAPG, 18–19 September 2019, Batumi, Georgia.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 374 сторінках, складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, 8 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Робота ілюстрована 6 таблицями та 100 рисунками. Список використаних джерел містить 346 найменувань.

Подяки. Автор висловлює подяку науковому консультанту, член-кореспонденту НАН України, д-ру геол.-мін. наук, професору Олегу Борисовичу Гінтову за всебічну підтримку при виконанні роботи. Здобувач висловлює щирі подяки керівнику українсько-французького IRG-проекту, д-ру геол. наук Тамарі Петрівні Єгоровій за всебічне сприяння у роботі, французьким партнерам: Ж-К. Іпполіту та М. Соссону за плідну співпрацю, д-ру геол. наук В.І. Альохіну, канд. геол. наук М. Накапелюху та Є. Шеремет за плідні дискусії та сумісні польові дослідження.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, її мета і окремі завдання, наведено методи досліджень, матеріали про наукову новизну одержаних результатів, особистий внесок здобувача, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі «Положення карпатського та кримсько-чорноморського регіонів у складі альпійсько-гімалайського рухомого поясу»** показано, що Українські Карпати в складі Альпійсько-Карпатської дуги і Гірський Крим в складі Малокавказької дуги входять в західну частину 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 межах Гібралтарсько-Малокавказького поясу та проблемних питань сучасної геодинаміки Карпато-Паннонського та Кримсько-Чорноморського регіонів. Швидкості пунктів GPS в Паннонській западині на границі з Українськими Карпатами (відносно Євразійської плити) є незначними, часто близькими до похибки вимірювань, а їх напрямки неоднозначні. Пункти GPS на східній окраїні Східно-Чорноморської мікроплити, яка є структуроформуючою одиницею відносно Кавказько-Кримського орогену, також мають незначні швидкості та неоднозначні напрямки переміщення. В межах Українських Карпат та північної окраїни Чорного моря майже не існує визначень поля напружень (рис. 1).

Карпато-Паннонський регіон традиційно інтерпретується з позиції плитової тектоніки як специфічний континентальний варіант системи акреційна призма-задуговий басейн. Для пояснення послідовності подій в регіоні були запропоновані наступні моделі: відкату та послідовного відриву слеба в роботах Royden (1993), Horváth et al. (2006), континентальної субдукції типу А в праці Паталаха и др. (2004), мантійного апвелінгу та активного рифтингу в статті Kovacs, Szabo (2008), двохфазного розтягу в статті Huisman et al. (2001), деламінації континентальної літосфери дослідниками Knapp et al. (2005) та Kulakov et al. (2007), гравітаційного колапсу літосфери в Gemmer, Houseman (2007). В роботах вітчизняних дослідників також є погляди на формування Карпатського регіону, які враховують ідеї тектоніки плит Крупський (2001, 2011), Паталаха и др. (2004), Бубняк І. М. (2006), Гнілко (2011, 2015), розшарованості літосфери та двоярусної тектоніки плит, Ступка (2010), Медведєв, Варичев (2000), Павлюк, Медведєв (2004), Ляшкевич (2011) та інші.

В роботах Паталаха и др. (2003, 2006), Казьмин и др. (2004), Sosson et al. (2016), Гончар (2019) вважається, що пізньокайнозойський Кримсько-Кавказький ороген та оточуючі його прогини сформувалися в зоні віддаленого північного впливу колізії Аравійської та Євразійської літосферних плит, проте механізми формування гірських споруд Кавказу і Криму, масштаби і характер відповідних тектонічних переміщень, участь або відсутність субдукції літосфери продовжують обговорюватись, наприклад, в працях Nikishin et al. (2017), Юдин (2011), Гончар (2019), [Sheremet et al., 2016, Gobarenko et al., 2016, Муровская и др., 2018] та інші.

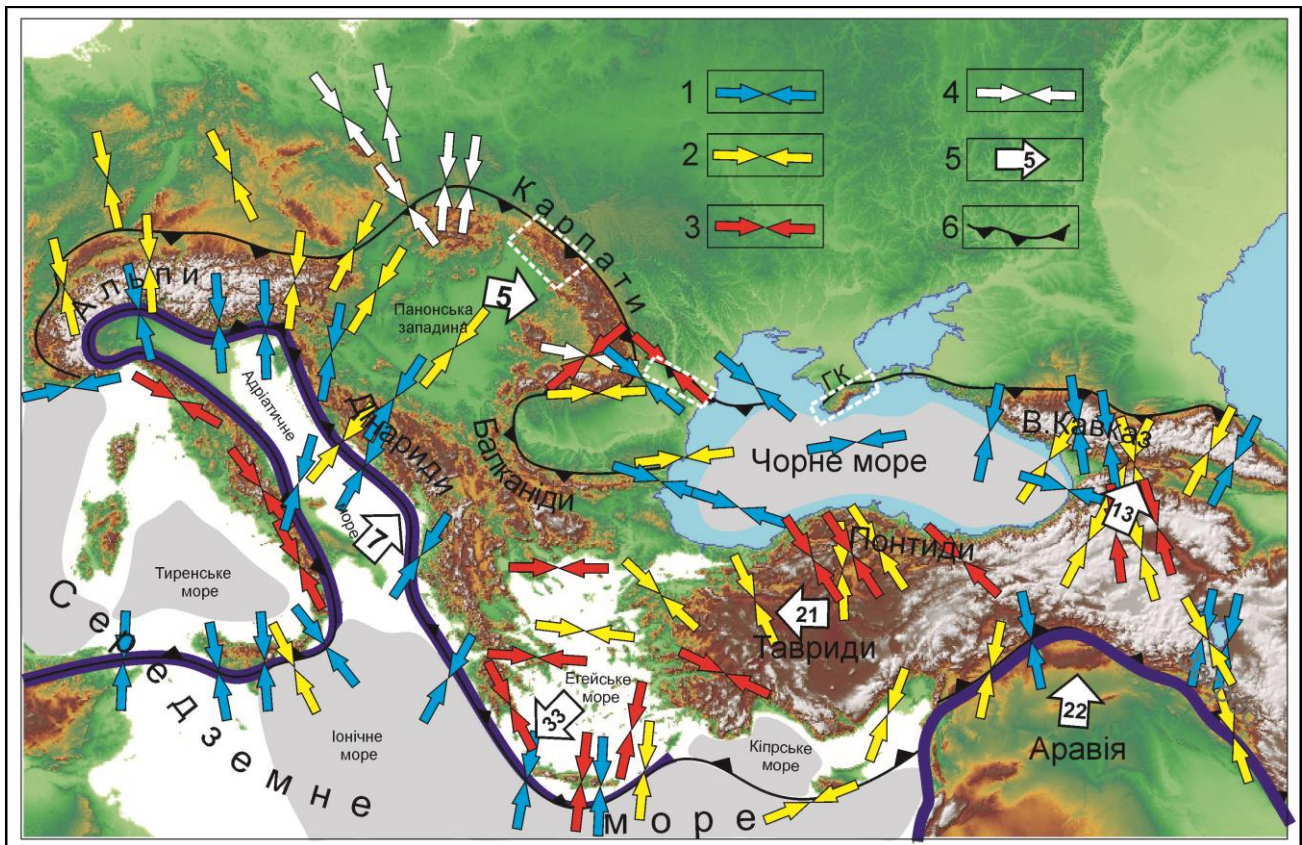


Рис. 1. Орієнтування горизонтальних осей стиснення сучасного поля напружень західної гілки Альпійсько-Гімалайського поясу: 1–4 – деформаційні режими (1 – підкидовий, 2 – зсувний, 3 – скидовий, 4 – невстановлений), 5 – швидкості пунктів GPS в мм/рік; 6 – зони субдукції і колізії. Синя лінія маркує контури Адріатичного та Аравійського виступів. Білим пунктиром показані райони досліджень, які знаходяться на найбільшому віддаленні від Адріатичного та Аравійського інденторів, в межах яких не існує визначень поля напружень. Склала Муровська за роботами Bada et al. (2007), Паталаха и др. (2003), Шевченко и др. (2014), Heidbach et al. (2016).

Загальною рисою Українських Карпат та Гірського Криму є їх сучасна позиція на найбільшому віддаленні від Адріатичного і Арабського виступів (інденторів), що призводять в дію Альпійсько-Карпатську та Малокавказьку гілки рухомого поясу. Тому зазначені індентори впливають на розвиток Карпат та Гірського Криму через систему проміжних мікроплит, внаслідок чого їх початковий імпульс послаблюється і видозмінюється, що спричиняє неоднозначності в інтерпретації геодинамічних процесів.

У другому розділі «Методологія дослідження» представлено основні ідеї сучасної геодинаміки в зонах континентальної колізії, які лягли в основу синтезу геолого-геофізичних даних в роботі: (1) континентальна літосфера характеризується реологічним розшаруванням як в розрізі, так і по літералі; (2) континентальні плити містять в собі давні розломні зони та речовинні неоднорідності, уздовж яких і концентруються внутрішньоплитні деформації; (3) в зоні колізії відбувається скорочення континентальної літосфери за рахунок її

субдукції, обдукції океанічної кори, бокового виштовхування по зсувним розломам, розклинювання, скупчення і потовщення кори.

Для обробки та інтерпретації польових тектонофізичних замірів були задіяні тектонофізичні методи: структурно-парагенетичний із застосуванням тектонофізичної моделі С. Стоянова, О. Гінтова та кінематичний О. Гуценка, Ж. Анжельє. В структурно-парагенетичному методі на основі геометричних співвідношень між парагенезами тріщин відновлюється положення головних нормальних осей тензора напружень. За допомогою кінематичного методу за сукупністю тектонічних дзеркал, активованих на загальній тектонічній стадії, відновлюється положення та співвідношення величин головних нормальних осей тензора напружень (рис. 2).



Рис. 2. Принципи розрахунку головних осей тензору напружень кінематичним методом: а – визначення секторів стиску та розтягу для одного тектонічного дзеркала з борознами ковзання; червона стрілка демонструє напрямок переміщення висячого крила розриву; для кожного дзеркала визначаються сектори стиску та розтягу, які обмежують положення осей стиску та розтягу, б – визначення загальних для двох тектонічних дзеркал секторів стиску та розтягу.

При роботі з механізмами землетрусів виконувалась їх типізація за орієнтуванням кінематичних осей, статистичний аналіз орієнтувань нодальних площин та векторів переміщень по них. Для сукупностей механізмів розраховувались поля напружень та середній механізм. Опрацювання польових тектонофізичних даних та механізмів землетрусів виконувалось з використанням комп'ютерних програм – Stereo32, StereoNett, Win-Tensor. Програма Win-Tensor є у

вільному доступі та представлена в роботі Devlaux, Sperner (2003). В програму імплементовано ряд статистичних процедур аналізу вхідних даних та методів визначення поля напружень, які дозволяють працювати як з тектонічними дзеркалами, так і з механізмами землетрусів. В данному дослідженні використовувались методи Правої дигетри, Р-Т-осей і Ротаційної оптимізації, а також багатоваріантна сепарація даних в інтерактивному режимі.

У **третьому розділі «Геологічна будова Українських Карпат»** розглянуто історію геологічного вивчення та сформульовано основні дискусійні питання стосовно будови і еволюції Українських Карпат – архітектура Карпатської споруди, особливо в межах внутрішніх скиб, глибина дофлішового фундаменту, початок формування покривно-складчастих деформацій у внутрішніх частинах флішового поясу та інші.

Комплексна інтерпретація збалансованого геологічного розрізу Мукачево–Більче (паралельного до профілю ГСЗ PANCAE) та результатів низькотемпературної термохронології (фішен-трек аналізу), виконана за участю дисертанта, впроваджує кількісні параметри будови та еволюції Українських Карпат, які враховуються в роботі при подальшому розгляді глибинної будови та геодинаміки: (1) поверхня базального детачменту алохтона Українських Флішових Карпат проходить по покрівлі фундаменту на глибинах 12–15 км; (2) первинна ширина Карпатського ранньокрейдового басейну осадонакопичення, з відкладів якого сформувався сучасний покривно-насувний пояс Українських Карпат завширшки 120 км, складала 460 км; (3) скорочення Карпатського басейну та формування покривно-насувного поясу відбувалось у два етапи з різною середньою швидкістю: в перший (32–22 млн років) швидкість скорочення складала 12–13 мм/рік, а в другий (22–11,5 млн) збільшилась до 22 мм/рік; (4) після закінчення насувоутворення (~ 11.5 млн років) відбувається ерозія та ізостатичний підйом Карпатської споруди, що досягає максимуму (до 7 км) в центральній частині Карпатського орогену.

У **четвертому розділі «Глибинна будова Українських Карпат за даними сейсморозвідки»** наведено огляд вивченості глибини будови Українських Карпат методами сейсморозвідки СГТ та ГСЗ. Характерні особливості структури Українських Карпат та їх доальпійського фундаменту узагальнені на основі сейсмогеологічних розрізів вхрест Українських Карпат за даними СГТ, які були нещодавно опубліковані в монографії Х.Б. Заяц (2013). Кристалічна кора під Українськими Флішевыми Карпатами, починаючи з Передкарпатського прогину, занурюється до 12–22 км по системі скидів північно-західних простягань, формуючи «підкарпатський трог». Сейсмогеологічний розріз Р-2, який знаходиться в безпосередній близькості до сучасного міжнародного профілю ГСЗ PANCAE, враховувався при інтерпретації сейсмічних зображень за профілем, одержаних методом міграції. Швидкісна модель за профілем ГСЗ PANCAE в роботі Starostenko et al. (2013) висвітлила складну багатоповерхову будову Українських Карпат, що стало однією з причин багатоваріантності її інтерпретації. Розбіжності між конфігурацією Карпатського алохтона на геологічному розрізі та на геологічній моделі по профілю PANCAE стимулювали проведення додаткової інтерпретації сейсмічних матеріалів методом міграції відбитих та заломлених хвиль

[Verpakhovska et al., 2018]. За даними методу міграції було одержано сейсмічні зображення земної кори та верхньої мантії. На основі сейсмічних зображень та з урахуванням геолого-геофізичної інформації дисертантом було побудовано нову інтерпретаційну модель по профілю (рис. 3).

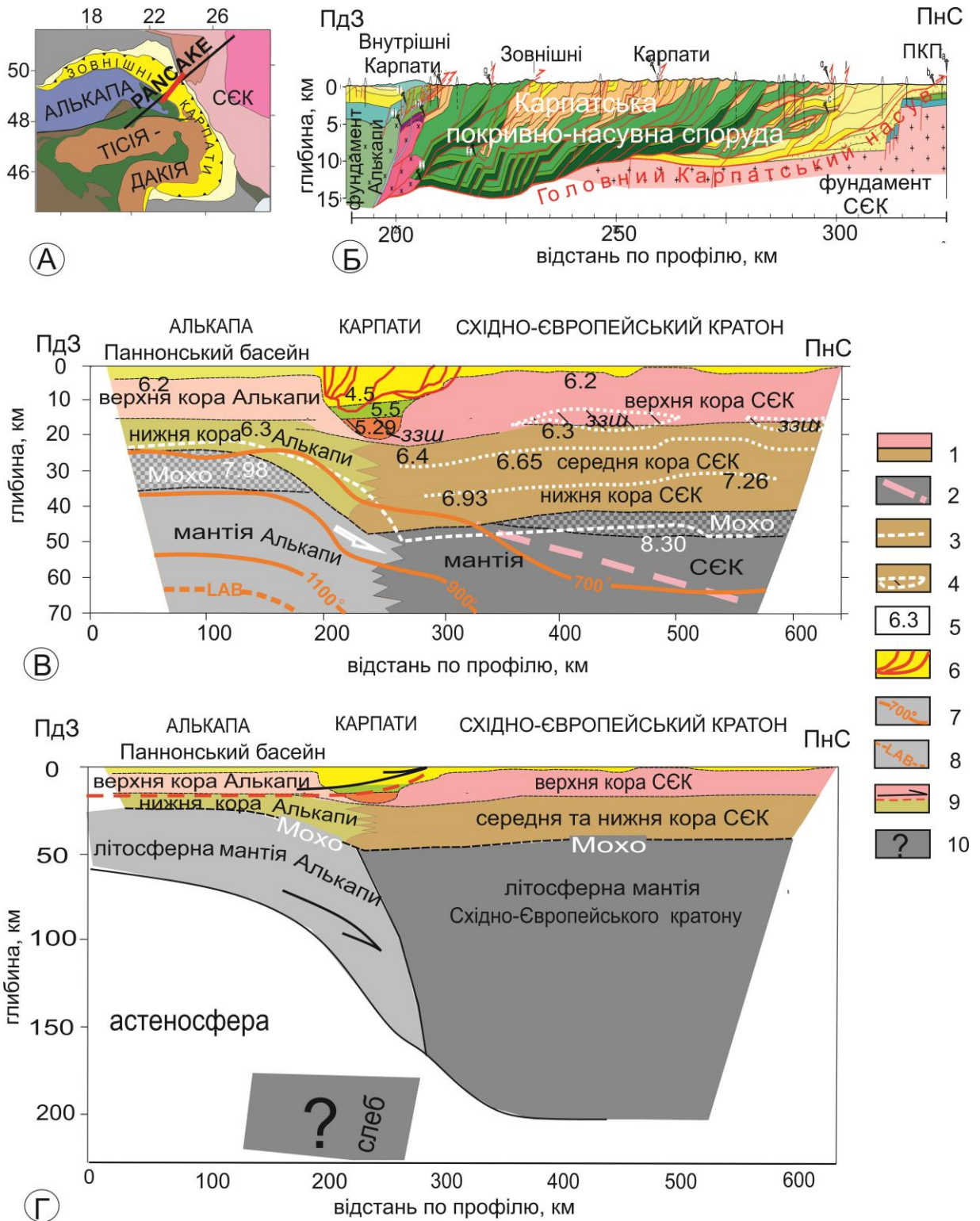


Рис. 3. Структура літосфери по профілю ГСЗ PANCEKE: А – положення профілю ГСЗ PANCEKE і лінії збалансованого розрізу (червона лінія); Б – збалансований геологічний розріз через Українські Карпати [Nakapelukh et al., 2017];

В – тектонічна модель літосфери по профілю PANCAKE на основі сейсмічних зображень за методом міграції [Verpakhovska et al., 2018]; Г – структура літосфери побудована на основі моделі земної кори (рис 3, В) та глибини покрівлі астеносфери: 1, 2 – сейсмічні границі (1 – в корі, 2 – в верхній мантії), 3–5 – сейсмічні дані за Starostenko et al. (2013) (3 – сейсмічні границі, 4 – зони зниженої швидкості, 5 – швидкості (км/с)), 6 – геометрія Карпатської покривно-насувної споруди за роботою В.Є. Шлапінського (2007).

У п'ятому розділі «Напружено-деформований стан та геодинаміка Українських Карпат» підрозділи 5.1 – 5.2 присвячені аналізу тектонічної позиції суттєвих землетрусів Закарпатського прогину та їх механізмів.

Гіпоцентри землетрусів, спроектовані на швидкісний розріз по профілю ГСЗ Чоп-Великий Бичків, просторово співвідносяться з горизонтальними межами в земній корі та тяжіють до двох похилих (під кутом 50° – 30°) на схід розломів, що порушують всю земну кору. Ці розломи проєктуються на денну поверхню в районі Вигорлат-Гутинського вулканічного хребта та річки Тересля. Одинадцять гіпоцентрів з глибинами 2–9 км та відповідні механізми спроектовані на найближчі до них геологічні розрізи в хрест Закарпатського прогину. Аналіз просторового розподілу гіпоцентрів 21 найбільш сильних землетрусів показав їх просторовий зв'язок з різного роду неоднорідностями: вертикальними, похилими та горизонтальними зонами розломів, границями магматичних тіл, горизонтальними границями в земній корі до глибин 10 км. Група більш глибоких (до 16 км) гіпоцентрів пов'язана з зоною глибинного Оашського розлому, що падає під кутом $\sim 45^{\circ}$ на схід, поділяє Чоп-Мукачівську та Солотвинську западини з різними типами земної кори, а також, очевидно, слугує підходящим каналом для вулканітів Вигорлат-Гутинського пасма.

Для вивчених землетрусів найбільш характерними є механізми зсувного та підкидового типів, причому майже для всіх зсувних механізмів присутня, крім зсувної, насувна компонента переміщення. В межах Чоп–Мукачівської западини більшість складають механізми зсувного типу, а в зоні контакту Закарпатського прогину з складчастими Карпатами переважають механізми підкидового типу. Аналіз орієнтації 42 нодальних площин свідчить, що найбільш задіяними в сучасному сеймотектонічному процесі є розриви карпатського простягання, характер домінуючих переміщень по яких – зсуви та насуви. Завдяки насувним компонентам переміщення відбувається горизонтальне скорочення Закарпатського прогину в північно-східному напрямку, а зсувні компоненти переміщення свідчать про повороти блоків Внутрішніх Карпат відносно Зовнішніх Карпат та Східно–Європейського кратону.

Підрозділи 5.3 – 5.5 присвячені результатам тектонофізичних дослідженням в Українських Карпатах. Вивчення мезоструктур було виконано в 60 пунктах спостереження (47 пунктів в межах Зовнішніх Карпат і 23 пункти в Зоні П'єнінських скель та Закарпатському прогині) (рис. 4), на яких було виміряно більше 2 000 дзеркал ковзання та парагенезів розривів. При польових дослідженнях також аналізувалась складчастість, результати вивчення якої враховувались при палінкастичних реконструкціях.

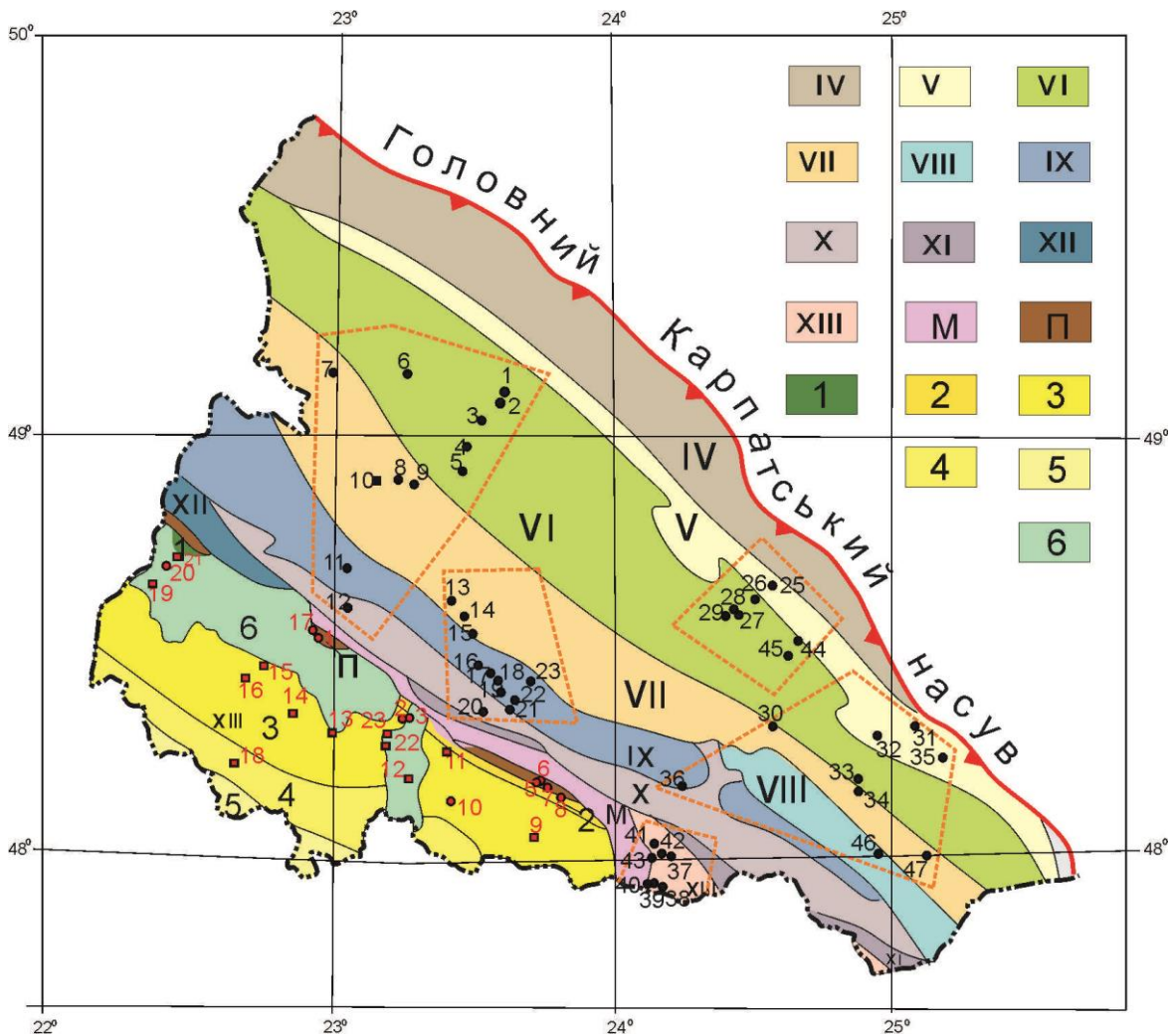


Рис. 4. Punkти тектонофізичних спостережень та їх номери на тлі тектонічної схеми за Глушко, Круглов, (1986): IV – Самбірський покрив, V – Бориславсько-Покутський покрив, VI – Скибовий покрив, VII – Кросненський покрив, VIII – Черногорський покрив, IX – Дуклянський покрив, X – Поркулецький покрив, XI – Рахівський покрив, XII – Магурський покрив, XIII – Мармароський масив, М – зона Мармароських кліпів, П – Зона П'єнінських кліпів, 1–4 – Закарпатський прогин (ЗП) та його зони (1–Підгалля, 2 – крайова, 3 – центральна, 4 – Припаннонська), 5 – Паннонська западина, 6 – Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо; пункти спостереження в Зовнішніх Карпатах позначено чорним кольором; в Закарпатському прогині та Зоні П'єнінських скель пункти позначено червоним і надано їм окрему нумерацію; всі пункти спостережень були згруповані в п'ять доменів за принципом просторової близькості та оконтурені полігонами.

За результатами тектонофізичних досліджень реконструйовано ряд полів напружень, які проілюстровано траєкторіями стискаючих, розтягуючих і дотичних напружень, та надано їм геодинамічної інтерпретації. Домінують поля напружень ПнС 40° стиснення, які, очевидно, віддзеркалюють північно-східну вергентність насувів в Українських Карпатах. Для основного поля стиску було побудовано траєкторії дотичних напружень, що складають кут 45° з траєкторіями стиснення (рис. 5).

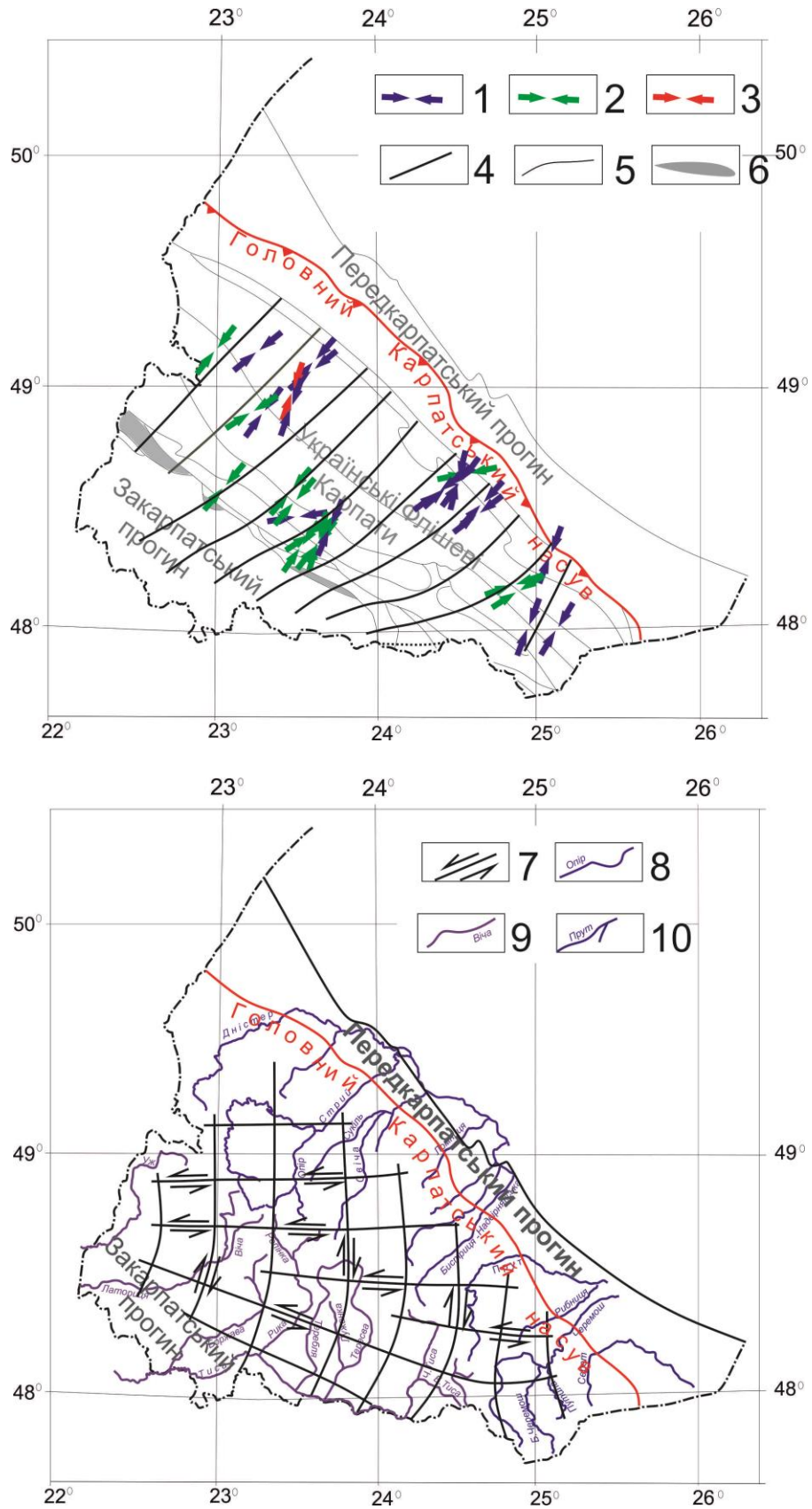


Рис. 5. Орієнтування головного поля напружень Українських Карпат; зверху – траєкторії стискаючих напружень на тлі тектонічної схеми; знизу – траєкторії дотичних напружень на тлі річкової сітки: 1–3 – напрямок осей стиснення та

деформаційні режими (1 – підкидовий, 2 – зсувний, 3 – скидовий), 4 – траєкторії стиску, 5 – границі тектонічних одиниць, 6 – Зона П'єнінських скель, яка поділяє Зовнішні та Внутрішні Карпати, 7 – траєкторії дотичних напружень (стрілки відповідають напрямкам потенційного зсувного переміщення, 8–10 – річкова сітка.

Дотичні напруження мають субмеридіональний і субширотний напрямки та добре погоджуються з орієнтуванням річкової сітки, що може бути аргументом на користь закладення річкової сітки по системі зсувних розломів. В межах Українських Зовнішніх Карпат було реконструйовано поле напружень з орієнтацією осі розтягу у південно-західному 220° напрямку, пов'язане з розломами фундаменту крайової частини Східно-Європейського кратону, які активувались як зсуво-скиди в пізньому міоцені під вагою потужного Карпатського алохтону. Третє поле напруження з субмеридіональною віссю стиснення та переважанням зсувних режимів найяскравіше проявлене в північно-західній частині Українських Карпат та, можливо, пов'язано з зоною зчленування Західних і Східних Карпат.

Окремо розглянуто поля напружень в межах Закарпатського прогину, який є найсейсмоактивнішим регіоном Українських Карпат. Домінуюче поле характеризується горизонтальним орієнтуванням осі стиснення у північно-східному напрямку і розвинуте в більшій частині прогину та в Зоні П'єнінських скель (рис. 6). В прилеглий до Рахівського масиву південно-східній частині Солотвинської западини напрямком стиснення змінюється на субширотний. Деформаційні режими стиснення розвинені в зонах контакту западини та прилеглих частин Зони П'єнінських скель і Рахівського масиву. Зсувні деформаційні режими домінують в центральній частині Чоп-Мукачівської западини, а скидові типи розвинені переважно в межах Солотвинської западини. Орієнтування траєкторій стиснення відносно Зони П'єнінських скель, що поділяє Внутрішні та Зовнішні Карпати свідчить про сучасний режим транспресії в межах зони з лівозсувною складовою її кінематики. Разворот траєкторій стиснення в широтному напрямку, очевидно, віддзеркалює ротацію за годинниковою стрілкою мікроплити Тісія-Дакія в фундаменті Солотвинської западини.

В центральній частині Закарпатського прогину відновлено локальне поле напружень з субширотною віссю розтягу, яке, очевидно, пов'язане з активізацією субмеридіонального Оашського розлому і впровадженням вулканітів Вигорлат-Гутинської гряди внаслідок локального розтягу.

Розподіл сучасного поля стиснення в Паннонській западині (білі лінії), доповнений малюнком для Закарпатського прогину (чорні лінії) (рис. 6, праворуч) дає додаткову інформацію для геодинамічних побудов. Траєкторії стиснення формують віялоподібний малюнок: в Західних Карпатах вони вивертають з північно-східного до північного напрямку, а в Східних Карпатах поступово змінюють простягання на схід і далі (в Трансильванській западині та Апусенах) – на південний-схід. Представлений сучасний розподіл напружень в Паннонській западині та Закарпатському прогині знаходиться у тісному зв'язку з рельєфом – траєкторії стиснення перпендикулярні до простягання Західних, Східних та Південних Карпат. У зв'язку з цим доречно пригадати, що для системи Альпи-Карпати-Дінаріди характерна дивергентная структура, тобто основні елементи

тектонічної будови – насуви і покриви – орієнтовані від центру Паннонської западини до периферії. Ці факти, на думку авторів Шевченко и др. (2014) свідчать про те, що зараз і в недавньому геологічному минулому Паннонський регіон розширюється від центру до периферії, що вимагає для свого пояснення додаткового, крім впливу Адріатичного індентору, механізму.

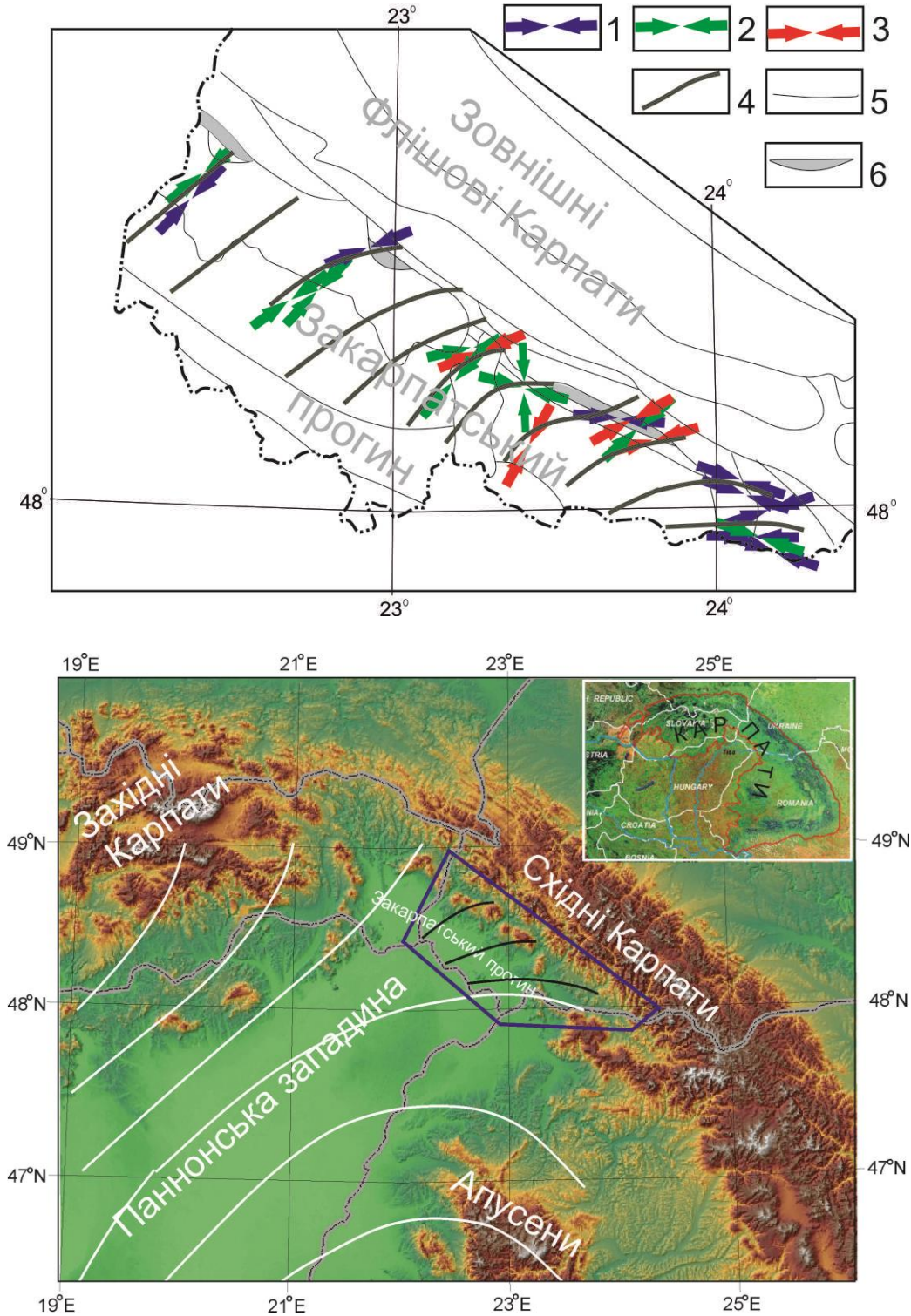


Рис. 6. Траєкторії сучасного стиснення в межах Закарпатського прогину (зверху) та Паннонської западини (знизу) за тектонофізичними та сейсмологічними даними: 1–3 – напрямок осей стиснення та деформаційні режими (1 – підкидовий, 2 –

зсувний, 3 – скидовий), 4 – траєкторії стиску, 5 – границі тектонічних одиниць, 6 – Зона П'єнінських скель, яка поділяє Зовнішні та Внутрішні Карпати. Праворуч показано траєкторії сучасного стиснення в межах Паннонської западини (білі лінії) за роботою Vada et al. (2007), доповнені траєкторіями стиснення в Закарпатського прогину (чорні лінії) за даним дослідженням.

За тектонофізичними результатами і урахуванням комплексної інтерпретації палінспастичних реконструкцій з результатами низькотемпературної термохронології [Nakarelukh et al., 2017] виділено дві стадії розвитку Карпатського орогену. У ранньорогену стадію (32–11,5 млн) відбуваються складчасто-насувні деформації за рахунок горизонтального скорочення в умовах підкидового деформаційного режиму (рис. 7).

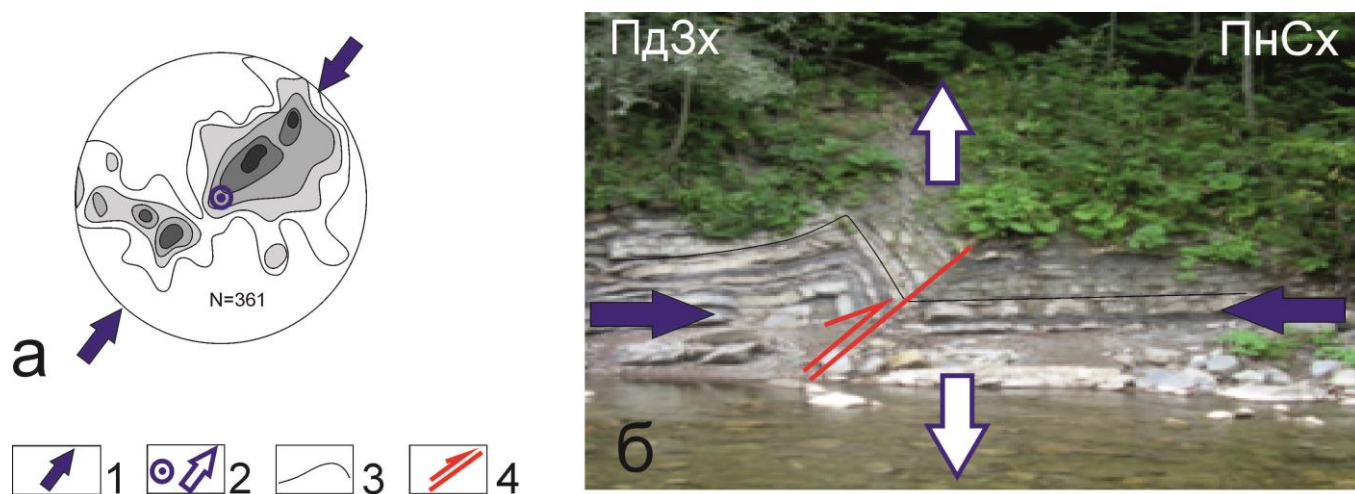


Рис. 7. Реконструкція поля напружень за орієнтування та типом складчастості в межах Українських Карпат: а – контурна діаграма полюсів площин нашарування та реконструйований напрямок стиснення; б – приклад насуву та принасувної складки в умовах підкидового деформаційного режиму. 1 – орієнтування горизонтальної вісі стиснення, 2 – орієнтування вертикальної вісі розтягу, 3 – поверхня нашарування, 4 – площина насуву. У ранньорогену стадію (32–11,5 млн) відбуваються складчасто-насувні деформації за рахунок горизонтального скорочення в умовах підкидового деформаційного режиму.

На пізньорогенній стадії після закінчення насувуоутворення (~ 11.5 млн років) відбувається ізостатичний підйом Карпатської споруди (до 7 км в центральній частині орогену), а деформування орогену здійснюється по крихким розломам, переважно, в умовах зсувних деформаційних режимів (рис. 8).

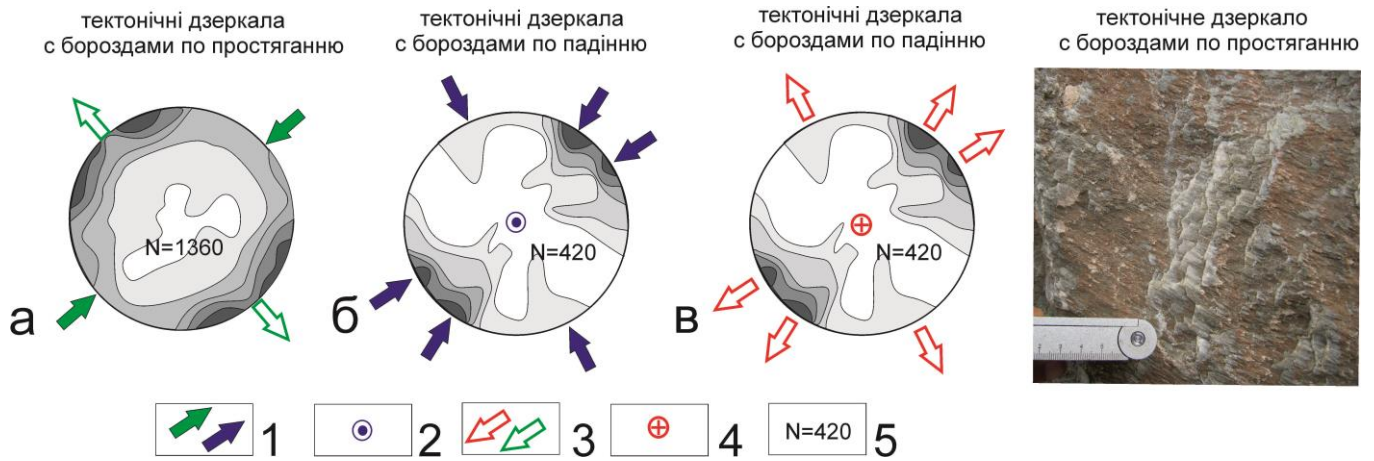


Рис. 8. Реконструкція полів напружень за орієнтуванням тектонічних дзеркал: а–в – контурні діаграми полюсів тектонічних дзеркал показані на верхній півсфері сітки Вульфа (а – дзеркала ковзання з борознами по простяганню, б–підкидові дзеркала ковзання з борознами по падінню, скидові дзеркала ковзання з борознами по падінню). 1–4 – напрямки осей тензора напружень (1 – горизонтального стиснення, 2 – вертикального розтягу, 3 – горизонтального розтягу, 4 – вертикального стиснення), 5 – кількість тектонічних дзеркал. На пізньоорогеній стадії після закінчення насувоутворення (~ 11.5 млн років) відбувається ізоостатичний підйом Карпатської споруди (до 7 км в центральній частині орогену), а деформування орогену здійснюється по крихким розломам, переважно, в умовах зсувних деформаційних режимів.

В *підрозділі 5.6* узагальнено основні етапи кайнозойської еволюції Карпато-Паннонського регіону, розглянуто основні геодинамічні моделі формування Карпато-Паннонського регіону за літературними джерелами та з урахуванням одержаних в роботі результатів. Для виявлення особливостей структури літосфери під Українськими Карпатами було співставлено будову земної кори по профілю ГСЗ PANCAKE з рельєфом покривлі астеносфери за двома незалежними роботами Dérerová et al. (2006) та Horváth et al. (1993). Для обох моделей мінімальна товщина літосфери спостерігається під Паннонським басейном (55–60 км), а максимальна – під Карпатами (до 220 км). Відповідно до моделі Dérerová et al. (2006) під Карпатами знаходиться потужний літосферний корінь, який дещо повторює форму гравітаційного мінімуму, та, очевидно, зобов'язаний своїй появі урахуванню гравітаційного поля авторами. Таке потовщення літосфери під Карпатами може бути наслідком континентальної А-субдукції, яка відбулась після повного поглинання океанічної літосфери. Модель гравітаційного колапсу за Gemmer, Houseman (2007) також задовільно пояснює існування літосферного кореню.

Можливим є й інший сценарій сучасного колізійного процесу в регіоні. Якщо літосфера не має потужного кореню під Українськими Карпатами, як запропоновано в статті Horváth et al. (1993), можна припустити механізм розклинювання літосфери мікроплити Алькапи і насування її верхньої кори в бік Східно–Європейського кратону, в той час як літосферна мантія Алькапи підсувається під кратон. Така модель вимагає наявності горизонтального детачменту, по якому відбувається насув

верхньої кори Алькапи в бік кратону. Дане дослідження представило наступні аргументи на користь існування такого детачменту та процесу насування: (1) Земна кора Паннонського басейну, відповідно до сейсмічних зображень за методом міграції, змінює свої фізичні властивості на глибині 15 км. (2) Саме такий рівень відповідає найглибшим землетрусам Закарпатського прогину. (3) Сучасне поле напружень в Закарпатському прогині вказує на умови стиснення на його границі із Зовнішніми Карпатами. Аналогічна модель розклинювання літосфери або т.зв. «крокодильної тектоніки» пропонується також в роботах Środa (2010), Ступка (2010), Медведев, Варичев (2000) та ін.

В *підрозділі 5.6* також виконано порівняння будови земної кори по профілю РАНСАКЕ за даними ГСЗ і структури верхньої мантії до глибин 400 км за даними регіональної сейсмотомографії представленими в роботі Цветкової та Бугаєнко (2012). Структура верхньої мантії по профілю демонструє екструзію розігрітої мантійної речовини з Паннонського басейну під Східно-Європейський кратон. Треба зазначити, що на представленій сейсмотомографічній моделі не виявлено аномалії, яка би могла відповідати імовірному слєбу з падінням на південний-захід. Одним з пояснень відсутності слєбу, який передбачається плейтектонічною моделлю направленої на південний-захід субдукції океану Магура під мікроплити Алькапа та Тісія-Дакія за класичними роботами Csontos, Voros (2004) та Schmid et al. (2008), є потік розігрітої мантійної речовини, який «стер» океанічний слєб. Проте рядом авторів запропоновані альтернативні механізми для пояснення геодинаміки Карпато-Паннонського регіону без залучення ідеї субдукції. В роботі Fassenna et al. (2003) запропонована ідея, що латеральний мантійний потік, який індукується субдукційними процесами в Середземноморському регіоні, може призводити в дію весь Карпато-Паннонський регіон. В статті Kovacs, Szabo (2008) запропоновано походження мантійного потоку внаслідок бокової екструзії у східному напрямку мікроплит в основі Паннонського басейну.

Не зважаючи на неоднозначності в поясненні природи мантійної низькошвидкісної аномалії під Українськими Карпатами, дане дослідження ілюструє незаперечну роль мантійних процесів (апвелінгу або/та латерального мантійного потоку) в геодинаміці регіону. Наявність мантійного апвелінгу може бути додатковим (крім тиску Адріатичного індентору) механізмом сучасної геодинаміки регіону, перспективною видається також модель розклинювання літосфери (т.зв. «крокодильна» тектоніка).

У **шостому розділі 6 «Глибинна будова Кримсько-Чорноморського регіону»** зроблено огляд сучасних уявлень стосовно поверхневої і глибинної будови та еволюції Кримсько-Чорноморського регіону. Розглянуто будову осадового заповнення прогину Сорокіна, за [Sheremet et al., 2016 б] та показано кінематичну єдність складчасто-насувної структури Гірського Криму і прогину Сорокіна.

Глибинну будову Гірського Криму вперше на сучасному рівні висвітлює щойно опублікований швидкісний розріз по профілю ГСЗ Севастополь–Керч, отриманий при переінтерпретації сейсмічних матеріалів 1975 р [Yegorova et al., 2018]. Дисертантом виконано геологічну інтерпретацію швидкісної моделі за профілем з урахуванням геолого-геофізичних даних, яка свідчить про складну будову давньої континентальної кори Південного Криму внаслідок її багаторазової

перебудови (рис. 9). В розділі доведено, що земна кора Південного Криму належить до континентального типу з успадкованою субмеридіональною зональністю, яскравим проявом якої є зона Корсаксько-Феодосійського розлому, що поділяє кору на два сегменти з різної потужністю, внутрішньою будовою і еволюцією. В більш високошвидкісній та товстій корі Гірського Криму виявлено дві границі Мохо, на рівнях 43 і 52–56 км, які пов'язані з етапами її докембрійської та альпійської еволюції. Більш тонка кора західної частини Індоло-Кубанського прогину обмежена поверхнею Мохо на глибині 40–48 км і має потужний (понад 10 км) осадовий шар.

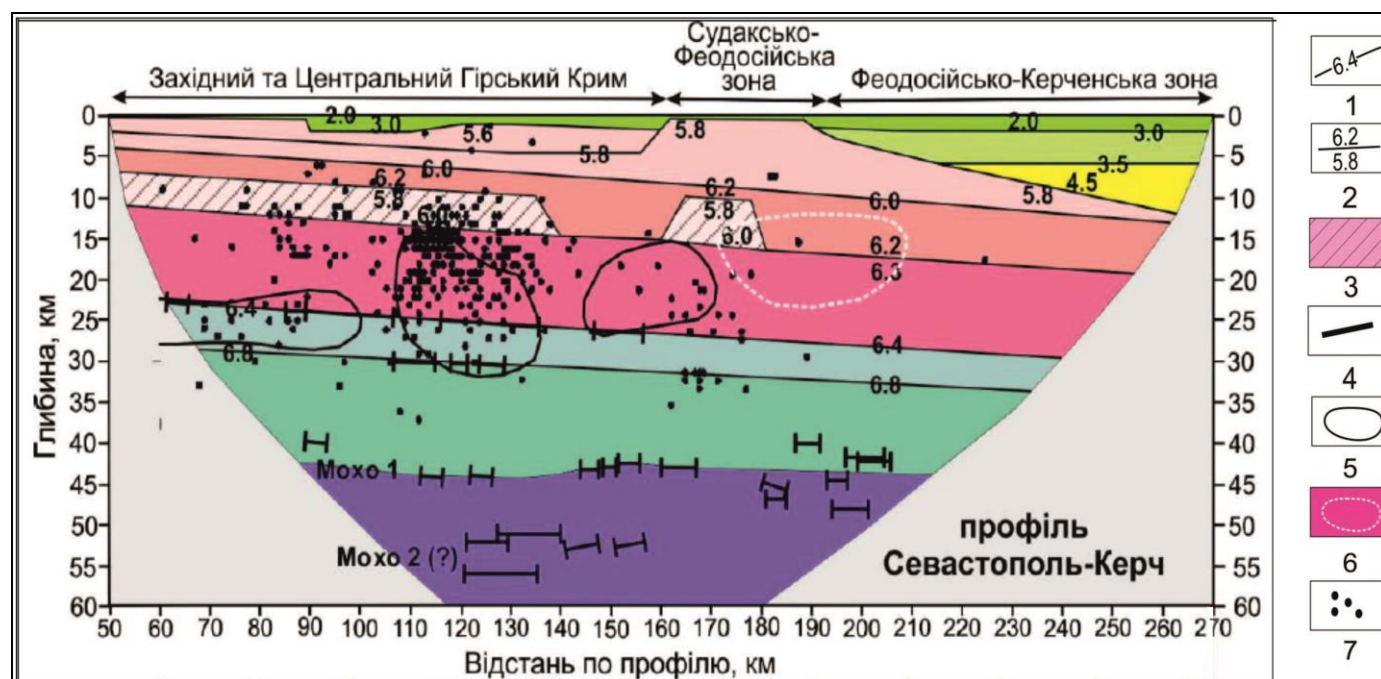


Рис. 9. Швидкісна модель земної кори за профілем ГСЗ Севастополь–Керч: 1 – ізолінії V_p , км/с, 2 – сейсмічні границі зі стрибком швидкостей, км/с, 3 – інверсійні зони знижених швидкостей, 4 – відбиваючі майданчики, 5 – зони підвищених швидкостей за даними локальної сейсмотомографії, 6 – Судаксько-Феодосійська зона низьких швидкостей за даними локальної сейсмотомографії, 7 – гіпоцентри слабких землетрусів.

В корі Гірського Криму виявлено інверсійні зони на глибинах 6–15 км та відбиваючі майданчики на 23–33 км, які відображають її горизонтальну розшарованість та розглядаються як детачменти. В неоднорідній корі Гірського Криму за даними локальної сейсмотомографії [Yegorova et al, 2018] на глибинах 12–30 км виділяються числені високошвидкісні тіла, яким на поверхні відповідають магматичні утвореннями середньоюрського віку. Магматичні тіла зазнають зараз потужної деформації, про що свідчить концентрація гіпоцентрів землетрусів на їх границях та в їх межах.

У сьомому розділі «Поля напружень та геодинаміка Кримсько-Чорноморського регіону» підрозділ 7.1 присвячено просторовому розподілу слабкої сейсмічності Кримської сейсмогенної зони, яка віддзеркалює сучасний геодинамічний процес в області переходу від товстої (до 48–50 км) кори Кримських

гір до тонкої кори Чорноморської западини. В підрозділі 7.2 розглянуто позицію і механізмами вогнищ сильних землетрусів північної частини Чорного моря (рис.10), визначено сучасне поле напружень та середній механізм в Південно-Кримській підзоні.

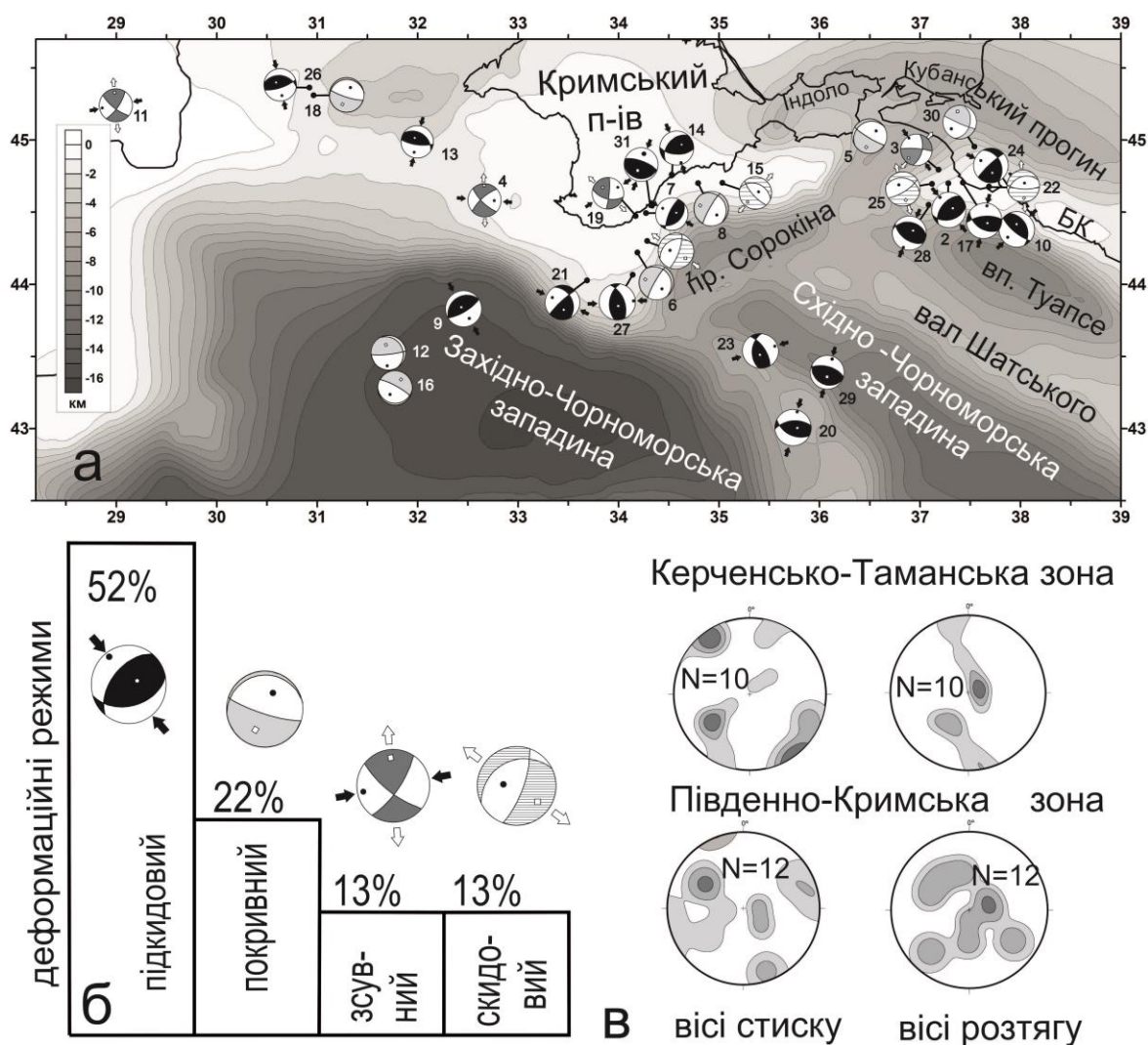


Рис. 10. Просторовий розподіл і типізація механізмів вогнищ сильних землетрусів північної частині Чорного моря: а – епіцентри землетрусів і відповідні їм механізми на тлі глибин кристалічного фундаменту, б – кількісне співвідношення механізмів різних типів, в – аналіз орієнтування осей стиску та розтягу в різних частинах сейсмогенної зони.

Аналіз орієнтувань кінематичних осей у вогнищах показує, що більша частина механізмів (52 %) відноситься до підкидового типу з переважанням у вогнищах горизонтальної осі стиснення (рис. 10). Землетруси з механізмами покривного типу є другими по кількості (22 %) та локалізуються в інтервалі глибин 15–33 км. Аналіз просторового розподілу вогнищ сильних землетрусів вздовж Південного Криму призводить до висновку, що максимально сейсмічно активними є структури Південно-Кримського насувного фронту, що проходить уздовж континентального схилу на відрізку від м. Севастополь на заході і до м. Судак на сході, а також січна

до него трансформна зона по меридіану Алушти. В її межах локалізовані вогнища 7 сильних землетрусів з переважанням механізмів підкидового та зсувного типів. Переміщення по зоні розлому, формування якої відбувалось в середній юрі, на сучасному етапі здійснюється в умовах лівої транспресії.

В підрозділі 7.3 описано поля напружень в межах Гірського Криму за польовими тектонофізичними даними. Результати геолого-структурних та тектонофізичних досліджень в Гірському Криму, поставлені в контекст розвитку всього Чорноморського регіону, дозволили виділити генералізовані етапи його розвитку: ранньокрейдвий розтяг та кайнозойське стиснення. В Гірському Криму виявлено етап валанжин-альбського розтягу південно-західного напрямку, в якому були задіяні ортогональні конседиментаційні скиди північно-західних простягань (рис. 11 в).

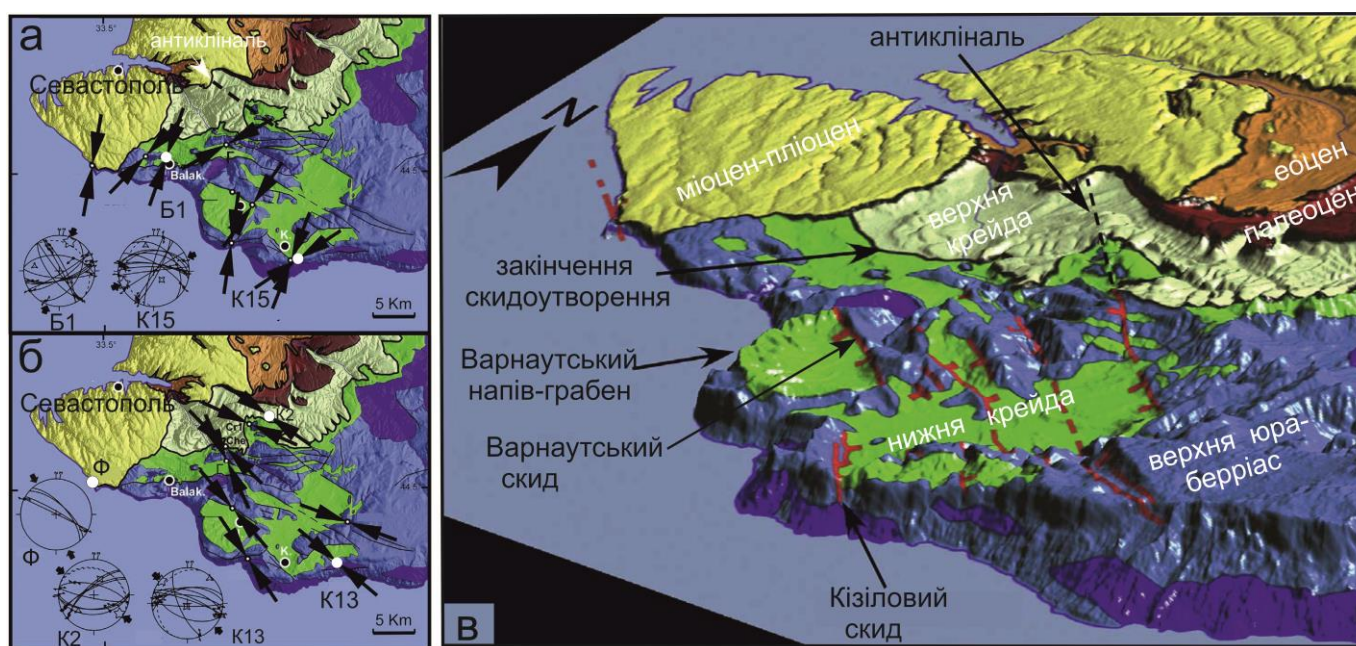


Рис. 11. Визначення двох етапів кайнозойського стиснення в південно-західній частині Гірського Криму за польовими тектонофізичними даними: а – напрямок ранньеоценового стиснення, б – напрямок олігоцен-сучасного стиснення: чорні стрілки демонструють напрямок стиснення на окремих відслоненнях, внизу показано дві кінематичні стереограми (для пунктів спостереження Б1 та К15) з визначенням напрямку стиснення, в – 3-Д модель демонструє систему крейдових напівграбенів та скидів, які їх обмежують (червоні лінії), за [Hippolyte, et al., 2018].

В умовах розтягу формувалась система напівграбенів, які швидко заповнювались морськими теригенними відкладами з включенням олістостромових та дебритних комплексів. Завершення етапу розтягу (рифтингу) маркується різкою зміною характеру деформації та осадонакопичення на границі нижньої та верхньої крейди.

Етап кайнозойського стиснення в Кримсько-Чорноморському регіоні починається в палеоцені і складається з двох окремих фаз, які виділяються за тектонофізичними та геологічними даними (рис. 11 а, б). Перша стадія північно-

східного стиснення відноситься до границі палеоцену–еоцену та супроводжується інверсією крейдових скидів у якості підкидів. Геологічним підтвердженням цієї стадії є перерва у осадоагромадженні та стратиграфічне неузгодження між палеоценом і середнім еоценом, а також антиклінальні складка, у яку задіяні доеоценові відклади (рис. 11 а, в). Другий основний етап стиснення на північній окраїні Чорного моря починається з олігоцену, знаковою подією якого є формування передових прогинів Сорокіна та Туапсе, виповнених глинистими відкладами переважно олігоцену–нижнього міоцену. В західній частині Гірського Криму відбувається інверсія крейдових скидів в якості правих зсувів (рис. 11 б). Сарматські морські відклади зустрічаються на висоті більше ніж 1000 м на плато Чатир-Даг в межах Головного пасма Гірського Криму, яке було сформовано ортогональним до нього стисненням південно-східного напрямку. В межах східної частини Гірського Криму в шаруватих породах таврійської серії виникає субгоризонтальний детачмент, від якого відходить на земну поверхню серія насувів. Насувоутворення поступово просувається у південному напрямку та переходить в синорогенні осади прогину Сорокіна. Поля напружень та геометрія насувів у Гірському Криму та прогині Сорокіна відображають умови південно-східного стиснення.

В цілому кайнозойський етап, який включає дві описані стадії, було охарактеризовано траєкторіями, що ілюструють сумарний результат стиснення за цей період. Траєкторії орієнтовані ортогонально до берегової лінії Південного Криму та до області аномального потовщення земної кори під південно-західною частиною Криму. Просторовий розподіл полів напружень та стиль деформації свідчить про існування відмінностей східної (Судаксько-Феодосійської) зони від центральної та західної частин Гірського Криму. В східній частині Гірського Криму превалюють поля напружень підкидового типу, а в центральній та західній частинах характерними є поля напружень зсувного типу, що пов'язано з успадкованими особливостями будови земної кори цих сегментів.

Сучасні тектонічні процеси в межах Кримської сейсмогенної зони продовжують етап кайнозойського стиснення. Вогнища землетрусів локалізовані уздовж Кримсько-Кавказької дуги з двома генералізованими гілками з різним характером сейсмічності (рис. 12). Керченсько-Таманська гілка занурюється під кутом 30° у північному напрямку до глибини 90 км. Регіональне напруження стиску за сукупністю механізмів землетрусів характеризується північно-східним орієнтуванням. В Керченсько–Таманській зоні відбувається підсув Східно–Чорноморської мікроплити під Скіфську плиту.

Південно–Кримська гілка сейсмогенної зони з гіпоцентрами до 50 км має падіння на південь. Алуштинська смуга найбільш щільного розташування вогнищ відповідає ланцюгу магматичних тіл середньої юри в зоні меридіонального розлому. Алуштинський розлом в умовах сучасного північно-західного 300° стиску працює як лівий підкидо-зсув. В Південнобережній гілці відбувається колізійний процес, який спричиняється коровим Східно–Чорноморським індентором та ускладнюється наявністю в корі Гірського Криму потужних магматичних тіл. Нерівномірне вклинювання індентора в неоднорідну та розшаровану континентальну кору Гірського Криму призводить до її скупчення та потовщення (рис. 12).

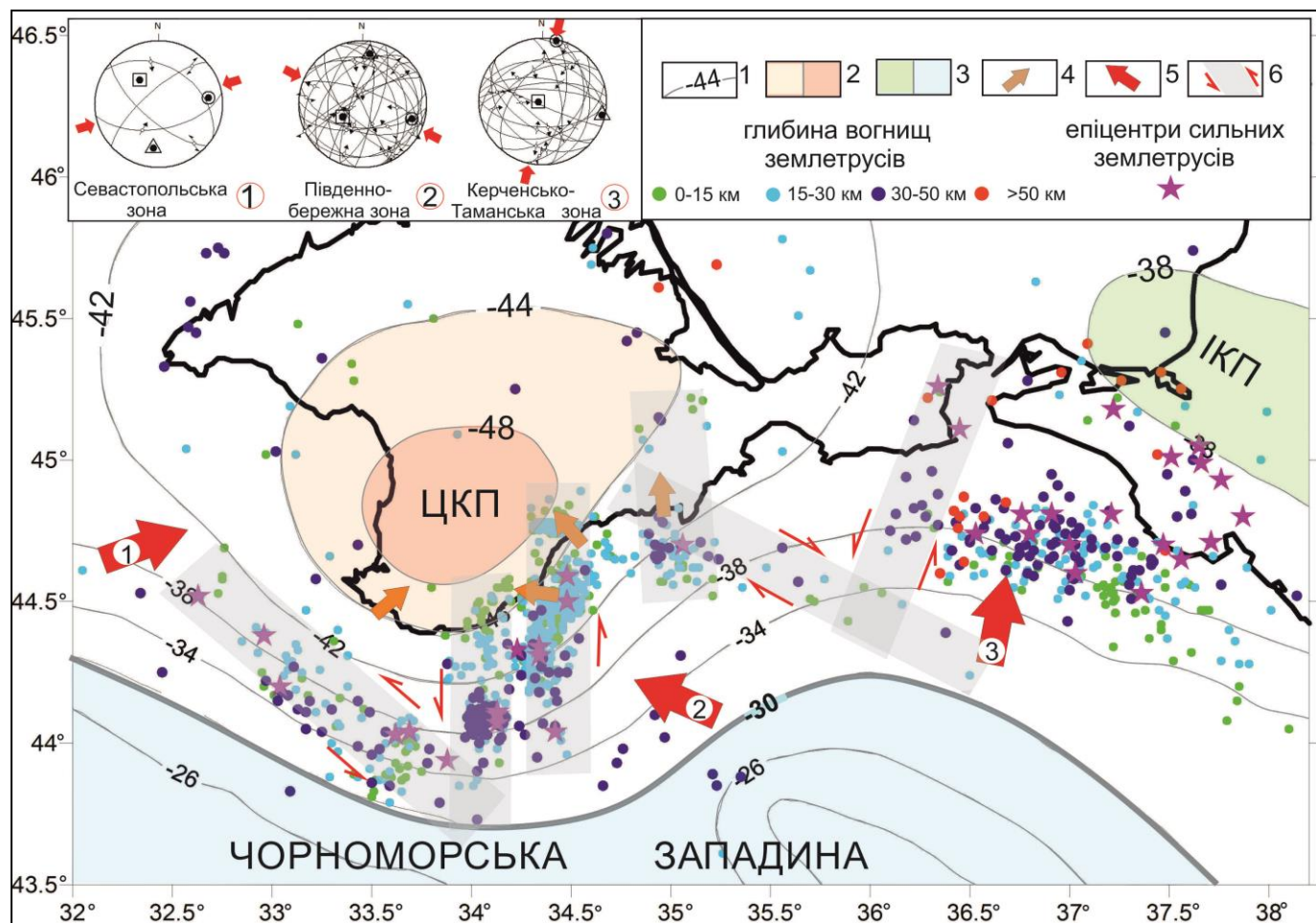


Рис. 12. Тектонічна схема демонструє зв'язок напружено-деформованого стану Кримської сейсмогенної зони з потужністю земної кори. Зверху ліворуч: поля напружень, розраховані для сукупності механізмів землетрусів по окремих підзонах; Зверху праворуч: 1 – ізолінії глибин Мохо, 2 – потовщена кора, 3 – потоншена кора, 4, 5 – орієнтація напружень стиску (4 – за тектонофізичними даними, 5 – за механізмами землетрусів), 6 – зони розломів за розподілом землетрусів та імовірний напрямок переміщень по них. Скорочення: ЦКП – Центрально-Кримське підняття, ІКП – Індоло-Кубанський прогин.

У восьмому розділі «Час та механізм відкриття Чорного моря» розглянуто тектонофізичні та геологічні докази ранньокрейдового континентального рифтингу в Гірському Криму. Порівняння еволюції північної та південної окраїн Чорного моря дозволили запропонувати механізм відкриття Чорноморської западини. В Гірському Криму було закартовано систему скидів, сформованих в умовах південно-західного розтягу. В напівграбенах, обмежених скидами, відкладались синрифтові породи валанжин-пізньоальбського віку (рис. 13).

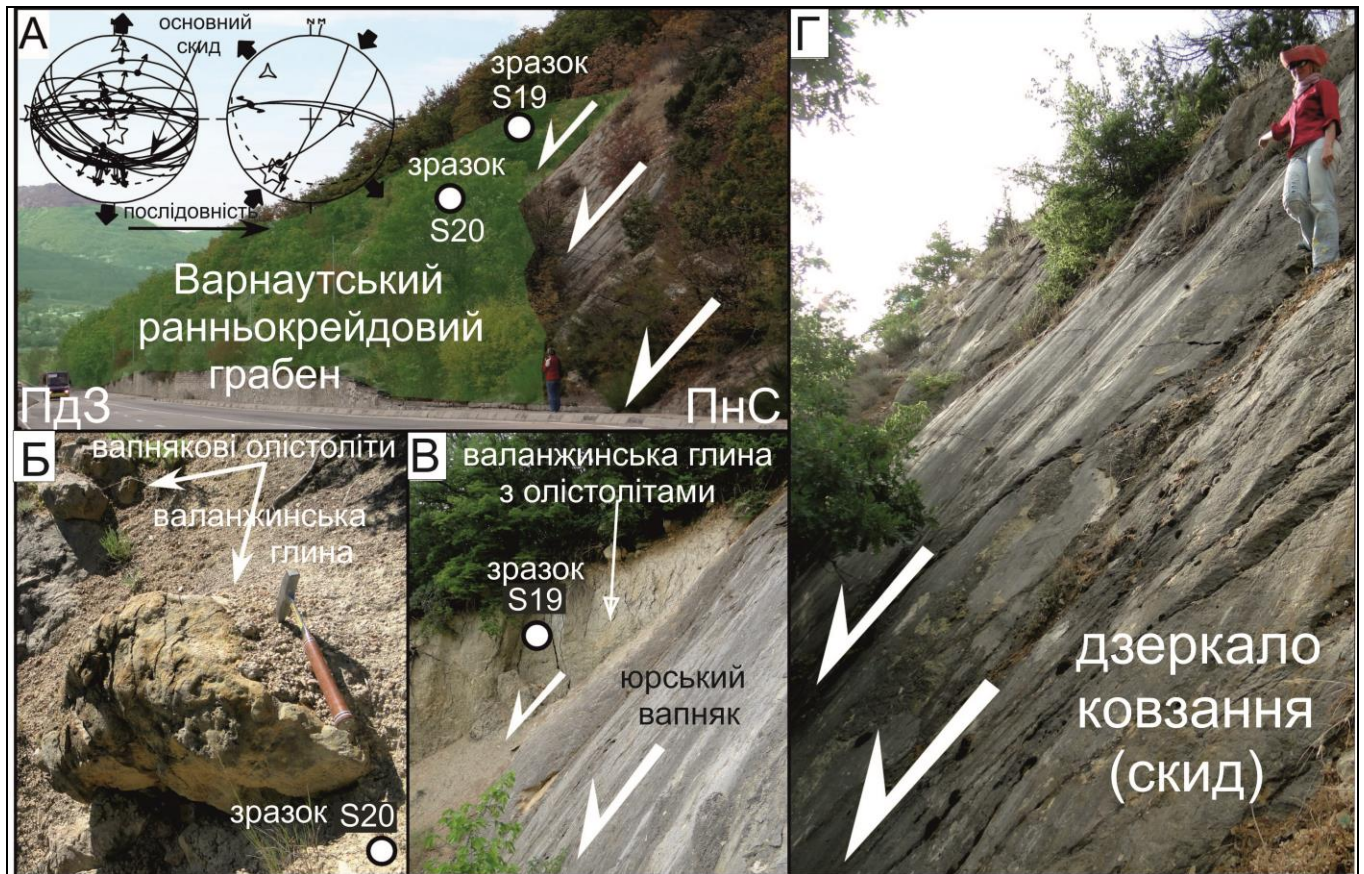


Рис. 13. Бортовий скид, що обмежує Варнаутський напівграбен; А – тектонічне дзеркало скидового типу; зразки 19 та 20 вміщують викопний нанопланктон валанжинського віку; кінематичні стереограми відновлюють два послідовних етапа еволюції розлому: північний розтяг та північно–східне стиснення; Б – олістоліти юрських вапняків у валанжинських глинах вздовж розлому; В – контакт між крейдовими глинами та юрськими вапняками; Г – гігантські борозни ковзання на поверхні тектонічного дзеркала вказують на скидове переміщення.

На південній окраїні Чорного моря в Понтідах дослідженнями Hippolyte et al. (2014) було задокументоване аналогічне кримському готерів-альбське скидоутворення з південно-західним напрямком розтягу і зроблено висновок, що ранньокрейдоровий розтяг віддзеркалює рифтову фазу розвитку Чорного моря. Виконана автором геологічна інтерпретація швидкісного розрізу по профілю ГСЗ 25 через північно-західний шельф Чорного моря показала, що закартовані на суходолі скиди пов'язані з похилими коровими детацментами в акваторії.

Спираючись на розподіл напружень на окраїнах Чорного моря, в дисертації запропоновано модель близького за часом відкриття Західно–Чорноморської западини (проти годинникової стрілки) та Східно–Чорноморської западини (за годинниковою стрілкою). Ця модель враховує наявні трансформні разломи на західній та східній окраїнах Чорного моря та протилежні напрямки ротації пізньокрейдорових порід на його південній окраїні за палеомагнітними даними, опублікованими в роботі Meijers et al.

(2010). Відкриття Чорноморського басейну обумовлено задуговим розтягом внаслідок асиметричного відкату слєбів океанічної літосфери Неотетису, що субдукувала у північному напрямку під південну окраїну Євразії. Відповідно до моделі, після закінчення рифтингу, в сеномані-ранньому кампані, відбувається формування океанічної кори та південний дрейф блоків південної окраїни Чорного моря.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі представлено нові результати та нове вирішення проблем з глибинної будови та напружено-деформованого стану літосфери Українських Карпат і Кримсько-Чорноморського регіонів, а також надана авторська інтерпретація їх альпійського розвитку.

1. Інтерпретація сейсмічних матеріалів по профілю ГСЗ РАНСАКЕ методом міграції, який перетинає Східно-Європейський кратон, Українські Карпати та Паннонський басейн, дозволила одержати нову тектонічну модель літосфери та зробити наступні висновки. Доальпійський фундамент Карпатського алохтону досягає глибин ~14–15 км. Під ним до глибини 21 км виділяється шар зниженої швидкості, який може відповідати розущільненим породам зони Тейсейра–Торнквіста. Кристалічна кора представлена двома доменами по обидві сторони Карпатської споруди: Паннонським басейном з тонкою континентальною корою (24–25 км) та Східно-Європейським кратоном з товстою континентальною корою (42–45 км). Кристалічна кора під Паннонським басейном складається з двох шарів: верхнього (до глибини 15 км) – більш розшарованого та нижнього – більш гетерогенного. Земна кора Східно-Європейським кратону змінює свої властивості та вміщує шар пониженої швидкості на глибинах 18–19 км. Перехід від нижньої кори до мантиї під Паннонським басейном представлений потужною (11 км) перехідною зоною підвищеної розшарованості. В верхній мантиї виявлено сейсмічну границю, яка починається під Карпатською спорудою з рівня Мохо та полого занурюється під кратон. Особливості будови літосфери Паннонського басейну пов'язуються з мантийним апвелінгом та з підсувом літосфери Паннонського басейну в напрямку Карпат.

2. Уточнено уявлення стосовно будови та еволюції Українських Карпат на основі синтезу представлених в роботі даних: 1) комплексної інтерпретації збалансованого геологічного розрізу в безпосередній близькості до профілю РАНСАКЕ та результатів низькотемпературної термохронології (фішен-трек аналізу); 2) визначення сучасних та палеонапружень за результатами польових тектонофізичних досліджень та механізмами вогнищ землетрусів.

Українські Флішеві Карпаті та внутрішня частина Передкарпатського прогину представляють покривно-насувну споруду північно-східної вергентності, яка утворилась з відкладів крейдового осадового басейну завширшки 460 км внаслідок скорочення ложа басейну до сучасної його ширини 120 км. У ранньоорогену стадію (32–11,5 млн років) відбувались складчасто-насувні деформації за рахунок горизонтального скорочення ложа басейну. На пізньоорогеній стадії після закінчення насувоутворення (~ 11,5 млн років) відбувається ізостатичний підйом

Карпатської споруди (до 7 км в центральній частині орогену) та активуються крихкі розломи.

Найактивніший сучасний сейсмотектонічний процес відбувається в Закарпатському прогині в верхній корі до глибин ~ 16 км в умовах стиснення та лівої транспресії. Сейсмогенні посувки здійснюються переважно по розривам карпатського простягання та мають зсувні та підкидові компоненти переміщення. Завдяки насувним компонентам переміщення відбувається горизонтальне скорочення Закарпатського прогину в північно-східному напрямку, а зсувні компоненти переміщення свідчать про повороти блоків Внутрішніх Карпат відносно Зовнішніх Карпат та Східно-Європейського кратону. В Солотвинській западині орієнтування осей стиснення змінюється з північно-східного на субширотне, що співпадає з розподілом швидкостей сучасних вертикальних рухів.

3. Вперше на сучасному рівні вивчено будову земної кори Гірського Криму в результаті переінтерпретації сейсмічних матеріалів за профілем ГСЗ Севастополь–Керч та комплексної геолого-геофізичної інтерпретації швидкісного розрізу. Доведено, що земна кора Південного Криму належить до континентального типу з успадкованою субмеридіональною зональністю, найвиразнішим проявом якої є Корсаксько-Феодосійський розлом. В більш високошвидкісній та товстій корі Гірського Криму виявлено дві границі Мохо, на рівнях 43 і 52–56 км, які пов'язані з етапами докембрійської та альпійської еволюції кори. Більш тонка кора західної частини Індоло-Кубанського прогину обмежена поверхнею Мохо на глибинах 40–48 км і має потужний (понад 10 км) осадовий шар. В корі Гірського Криму виявлено інверсійні зони зниженої швидкості на глибинах 6–15 км та відбиваючі майданчики на 23–33 км, які відображають її горизонтальну розшарованість та розглядаються як детачменти. В неоднорідній корі Гірського Криму на глибинах 12–30 км виявлено числені високошвидкісні тіла, яким на поверхні відповідають магматичні утворення середньоюрського віку. Магматичні тіла піддаються зараз потужній деформації стиснення, про що свідчить концентрація гіпоцентрів землетрусів в їх межах, а також розраховані поля напружень Кримської сейсмогенної зони. В Кримській сейсмогенній зоні в межах континентального схилу відбувається колізія та підсув Східно-Чорноморської мікроплити під Скіфську плиту, яка ускладнюється успадкованою неоднорідністю літосфери.

4. Одержано нові тектонофізичні та геологічні докази ранньокрейдного континентального рифтингу в Гірському Криму та його зв'язку з розкриттям Чорноморського басейну. Закартовано систему скидів, сформованих в умовах південно-західного розтягу. В напівграбенах, обмежених скидами, формувались синрифтові відклади валанжин-пізньоальбського віку. На південній окраїні Чорного моря в Понтидах було задокументоване аналогічне кримському готерив-альбське скидоутворення з південно-західним напрямком розтягу і зроблено висновок, що ранньокрейдний розтяг віддзеркалює рифтову фазу розвитку Чорного моря. Геологічна інтерпретація швидкісного розрізу по профілю ГСЗ 25 через північно-західний шельф Чорного моря показала, що скиди на суходолі пов'язані з пологими коровими детачментами в акваторії. 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). Ця модель враховує наявні трансформні розломи на західній та східній окраїнах Чорного моря та протилежні напрямки ротації пізньокрейдових порід на південній окраїні моря за палеомагнітними даними. Відкриття Чорного моря обумовлено задуговим розтягом внаслідок асиметричних відкатами слабів океанічної літосфери Неотетису, що субдукувала під південну окраїну Євразії.

5. Геодинамічні процеси в Карпато-Паннонському та Кримсько-Чорноморському регіонах, які відносяться до зони континентальної колізії Євразійської та Афро-Арабської плит, приводяться в дію різними інденторами (Адріатичним та Арабським відповідно). Загальною рисою регіонів є положення на найбільшому видаленні від інденторів, внаслідок чого початковий імпульс останніх послаблюється і видозмінюється. В розглянутих регіонах в процес колізії втягнута континентальна літосфера, яка характеризується реологічним розшаруванням як в розрізі, так і по літералі, а внутрішньоплитові деформації зосереджуються в ослаблених зонах на місці давніх успадкованих структур.

Паннонська та Чорноморська западина традиційно відносяться до задугових басейнів, проте між ними існують суттєві відмінності. Формування Паннонського басейну з тонкою континентальною корою здійснилось досить недавно (23–12 млн), проте він не досяг стадії океанічного басейну. Мантійний апвелінг під Паннонським басейном, очевидно, визначає основні риси розвитку Карпато-Паннонського регіону. В протилежність до Паннонського, Чорноморський басейн підстеляється тонкою (суб)океанічною корою та більш товстою континентальною літосферою. Згідно з представленою в роботі моделлю рифтинг в Чорному морі закінчився 80 млн років тому, за пострифтовий період літосфера Чорноморського басейну суттєво охолола та реагує на сучасну деформацію як жорстка мікроплита. Загальною рисою розвитку Паннонського та Чорноморського задугових басейнів за даним дослідженням є умови стиснення на їх окраїнах (в Закарпатському прогині та прогині Сорокіна) внаслідок підсуву їх потоншеної континентальної літосфери від товсту літосферу Східно–Європейського кратону.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових виданнях.

1. Гинтов, О.Б., **Муровская, А.В.**, Мычак, С.В. (2013). Полевая тектонофизика в решении проблем геодинамического развития территории Украины. *Геодинамика и тектонофизика*, 4(5), 281—299. <https://doi.org/10.5800/GT-2013-4-3-0101>.

2. Гинтов, О.Б., Бубняк, И.Н., **Муровская, А.В.**, Вихоть, Ю.М., Накапелюх, М.В., Шлапинский, В.Е. (2014). Тектонофизический и палинспастический разрезы Украинских Карпат вдоль геотраверса DOBRE-3 (PANCAKE). *Геофизический журнал*, 36(3), 3—34. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i3.2014.116050>.

3. Вольфман, Ю.М., Гинтов, О.Б., Колесникова, Е.В., **Муровская, А.В.** (2014). Тектонофизическая интерпретация механизмов очагов землетрясений системы

Загрос. *Геодинамика и тектонофизика*, 5(1), 305—319. <http://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0129>.

4. Гинтов, О.Б., Егорова, Т.П., Цветкова, Т.А., Бугаенко, И.В., **Муровская, А.В.** (2014). Геодинамические особенности зоны сочленения Евразийской плиты и Альпийско-Гималайского пояса в пределах Украины и прилегающих территорий. *Геофизический журнал*, 36(5), 26—63. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i5.2014.111568>

5. Шеремет, Е., Соссон, М., Гинтов, О., Мюллер, К., Егорова, Т., **Муровская, А.** (2014). Ключевые проблемы стратиграфии восточной части Горного Крыма. Новые микропалеонтологические данные датирования флишевых пород. *Геофизический журнал*, 36(2), 35—51. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i2.2014.116117>

6. **Муровская, А.**, Шеремет, Е., Лазаренко, О. (2014). Деформации верхнемеловых — неогеновых отложений юго-западного Крыма по тектонофизическим данным. *Геофизический журнал*, 36(6), 79—92. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111027>

7. **Муровская, А.**, Ипполит, Ж.-К., Шеремет, Е., Егорова, Т., Вольфман, Ю., Колесникова, К. (2014). Деформационные структуры и поля напряжений юго-западного Крыма в контексте эволюции Западно-Черноморского бассейна. *Геодинаміка*, (2), 53—68. <https://doi.org/10.23939/jgd2014.02.053>.

8. Гинтов, О.Б., **Муровская, А.В.**, Егорова, Т.П., Вольфман, Ю.М., Цветкова, Т.А., Бугаенко, И.В., Колесникова, Е.Е., Островной, А.М., Бубняк, И.Н. (2015). Глубинная сейсмогенная зона Вранча как индикатор геодинамического процесса. *Геофизический журнал*, 37(3), 22—49. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i3.2015.111101>.

9. **Муровская, А.**, Накапелюх, М., Вихоть, Ю., Шлапинский, Е., Бубняк, И. (2016). Кинематическая эволюция Зоны Пеннинских утесов в кайнозое (Украинские Карпаты). *Геофизический журнал*, 38(5), 119—136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i5.2016.107826>.

10. Гинтов, О.Б., Цветкова, Т.А., Бугаенко, И.В., **Муровская, А.В.** (2016). Некоторые особенности строения мантии Восточного Средиземноморья и их геодинамическая интерпретация. *Геофизический журнал*, 38(1), 17—29. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i1.2016.107719>.

11. Gobarenko, V.S., **Murovskaya, A.V.**, Yegorova, T.P., & Sheremet, E.E. (2016). Collisional processes at the northern coast of the Black Sea. *Geotectonics*, 50(4), 407—424. <https://doi.org/10.1134/S0016852116040026>.

12. Sheremet, Ye., Sosson, M., Ratzov, G., Sydorenko, G., Voitsitskiy, Z., Yegorova, T., Gintov, O., & **Murovskaya, A.** (2016). An offshore-onland transect across the north-eastern Black Sea basin (Crimea margin): Evidence of Paleocene to Pliocene two-stage compression. *Tectonophysics*, 688, 84—100. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.09.015>.

13. Sheremet, Ye., Sosson, M., Muller, C., **Murovskaya, A.**, Gintov, O., & Yegorova, T. (2016). New datings (by Nannofossils assemblages) and structural data from flysch formations of the Crimea Peninsula (Ukraine): consequence on the tectonic evolution of the Eastern Black Sea. In M. Sosson, R. Stephenson (Eds.), *Tectonic*

evolution of the Eastern Black Sea and Caucasus, 428, (pp. 265—305). Geological Society London Special publication. <http://doi.org/10.1144/SP428.14>.

14. Малицький, Д.В., **Муровська, А.В.**, Гінтов, О.Б., Гнип, А.Р., Обідіна, О.О., Мичак, С.В., Грицай, О.Д., Павлова, А.Ю. (2017). Механізми вогнищ землетрусів та поле напружень Солотвинської западини Закарпаття. *Вісник КНУ. Геологія*, (2), 43—51. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.77.05>.

15. Малицький, Д.В., **Муровська, А.В.**, Обідіна, О.О., Гнип, А.Р., Грицай, О.Д., Павлова А.Ю., Пугач А.В. (2017). Визначення полів напружень у земній корі за механізмами вогнищ місцевих землетрусів у Закарпатті. *Вісник КНУ. Геологія*, (3), 36—45. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.78.05>.

16. Nakapelyukh, M., Bubniak, I., Yegorova, T., **Murovskaya, A.**, Gintov, O., Shlapinskyi, V., & Vikhot, Yu. (2017). Balanced geological cross-section of the outer Ukrainian Carpathians along the PANCAKE profile. *Journal of Geodynamics*, 108, 13—25. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2017.05.005>.

17. Yegorova, T. P., Baranova, E. P., Gobarenko, V. S., & **Murovskaya A. V.** (2018). Crustal Structure of the Crimean Mountains along the Sevastopol—Kerch Profile from the Results of DSS and Local Seismic Tomography. *Geotectonics*, 52(4), 468—484. <https://doi.org/10.1134/S0016852118040027>.

18. Alokhin V. I., Tikhlivets, S. V., **Murovska, A. V.**, & Puhach, A. V. (2018). Mineralogical features of the clastic dykes of the Eastern Carpathians Skybova zone. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27(1), 3—11. <https://doi.org/10.15421/111824>.

19. Hippolyte, J-C., **Murovskaya, A.**, Volfman, Yu., Yegorova, T., Gintov, O., Kaymakci, N., & Sangu, E. (2018). Age and geodynamic evolution of the Black Sea Basin: Tectonic evidences of rifting in Crimea. *Marine and Petroleum Geology*, 93, 298—314. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.03.009>.

20. **Муровская, А.**, Ипполит, Ж-К., Шеремет, Е., Егорова, Т. (2018). Современные и палеонапряжения в пределах Северной окраины Черного моря и Горного Крыма в мезо-кайнозой—квартере (по механизмам очагов землетрясений и полевым тектонофизическим данным). *Геофизический журнал*, 40(1), 42—55. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i1.2018.124013>.

21. Verpakhovska, A., Pylypenko, V., Yegorova, T., & **Murovskaya, A.** (2018). Seismic image of the crust on the PANCAKE profile across the Ukrainian Carpathians from the migration method. *Journal of Geodynamics*, 121, 76—87. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.07.006>.

22. Малицький, Д., Гнип, А., Грицай, О., **Муровська, А.**, Кравець, С., Козловський, Е. (2018). Механізм вогнища і тектонічний контекст землетрусу 29.09.2017 р. поблизу м. Стебник. *Геодинаміка*, (1), 100—107. <https://doi.org/10.23939/jgd2018.01.100>.

23. **Муровская, А.В.**, Егорова, Т.П., Фарфуляк, Л.В. (2018). Глубинное строение территории Украины по современным геофизическим данным. Добруджа. В кн.: В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов (Ред.), *Очерки геодинамики Украины* (с. 102—109). Киев: ТОВ "ПДПРТЕМСТВО "ВІ ЕН ЕЙ".

24. **Муровская, А.В.** (2018). Особенности геодинамического развития регионов Украины. Геодинамика Добруджи. В кн.: В.И. Старостенко, О.Б. Гинтов

(Ред.), *Очерки геодинамики Украины* (сс. 202—210). Киев: ТОВ "ПІДПРІЄМСТВО "ВІ ЕН ЕЙ".

25. Амашукелі, Т.В., **Муровская, А.В.**, Егорова, Т.П. (2019). Глубинное строение Добруджи и Преддобруджинского прогиба как отражение развития Транс-Европейской шовной зоны. *Геофизический журнал*, 42(1), 153—171. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158869>.

26. **Муровська, А.**, Амашукелі, Т., Альохін, В. (2019). Поля напружень та деформаційні режими в межах української частини Східних Карпат за тектонофізичними даними. *Геофизический журнал*, 42(2), 84—98. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i2.2019.164455>.

Тези доповідей і матеріали конференцій

1. Hippolite, J.-C., **Murovskaya, A.**, Muller, C., Volfman, Yu, Yegorova, T., Gintov, O., Sosson, M., & Sheremet, Ye. (2014). Preliminary study of Cretaceous normal faulting in Western Crimea. *Special Darius publication of final symposium December 8—9, 2014* (pp. 66—67). Paris, France.

2. Hippolyte, J.-C., Kaymakci, N., Sangu, E., Espurt, N., Müller, C., & **Murovskaya, A.** (2014). New structural paleostress and stratigraphic data in the Pontides, (Turkey): from the opening of the Black Sea to the collision of continental blocks. *Special Darius publication of final symposium December 8—9, 2014* (pp. 64—65). Paris, France.

3. Sheremet, Y., Sosson, M., Muller, C., **Murovskaya, A.**, Gintov, O., Yegorova, T., & Hippolite, J.-C. (2014). New stratigraphic and structural data from the East Crimea mountains: consequence on the tectonic evolution of the Eastern Black Sea basin. *Special Darius publication of final symposium December 8—9, 2014* (pp. 136—137). Paris, France.

4. Егорова, Т.П., Гобаренко, В.С., **Муровская, А.В.** (2016). Структура и современные коллизионные процессы Крымско-Черноморского региона: *Материалы 4-й тектонофизической конференции «Тектоника и актуальные вопросы наук о земле». Том 1. Раздел. 1. Природное напряженно-деформированное состояние горных массивов и современная геодинамика* (сс. 60—66). Москва, Россия.

5. Sheremet, Y., Sosson, M., G. Ratzov, G., Sidorenko, G., Yegorova, T., Gintov, O., & **Murovskaya, A.** (2016). An offshore-onland transect across the northern inverted part of the Eastern Black Sea basin: new evidence of the earliest compressional stage in the Cenozoic. *AAPG, 19—20 May 2016. Bucharest, Romania.*

6. Sheremet, Y., Sosson, M., Ratzov, G., Sidorenko, G., Yegorova, T., Gintov, O., & **Murovskaya, A.** (2016). An offshore-onland transect across the NE Black Sea (Crimean margin): evidence of Paleocene to Pliocene two-stage compression. *Abstract EAGE_30680, 10—13 May 2016, Kiev.*

7. Yegorova, T., Gobarenko, V., **Murovskaya, A.**, & Sheremet, Ye. (2016). Crustal underthrusting in the Crimea-Northern Black Sea area. Vol. 18. *Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly. Vienna, 2016.*

8. **Муровська, А.В.**, Накапелюх, М.В., Віхоть, Ю.М., Шлапінський, В.Є., Бубняк, І.М. (2016). Кінематична еволюція зони Пенінських скель в кайнозойі

(Українські Карпати). *Third scientific conference Geophysical studies and modeling of physical fields of Earth. 13—15 October 2016, Lviv—Verkhnie Synievydne* (pp. 110—113).

9. Алёхин, В.И., Тихливец, С.В., **Муровская, А.В.**, Пугач, А. В. (2017). Условия залегания и состав кластических даек Сходниці и Рыбника (Скибовая зона Украинских Карпат). *Розвиток промисловості та суспільства. Секція 5. Геологія і прикладна мінералогія. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Криворізький національний університет, 24—26 травня 2017 р.* Кривий Ріг: Видавничий центр Криворізького нац. ун-ту.

10. Малицький, Д.В., **Муровська, А.В.**, Обідіна, О.О., Гінтов, О.Б., Гнип, А.Р., Пугач, А.В. (2017). Поле напружень для Закарпаття за фокальними механізмами. *16th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 15—17 May 2017, Kiev, Ukraine.* Conference Paper. [https://doi.org/ 10.3997/2214-4609.201701862](https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701862).

11. Промышлова, М.Ю., Демина, Л.И., Бычков, А.Ю., **Муровская, А.В.**, Гушин, А.И., Царев, В.В. (2017). Брекчии офиолитовой ассоциации Юго-Западного Крыма. «Ломоносовские чтения» МГУ, 17—19 апреля 2017. Москва, Россия.

12. **Murovskaya, A.**, Sheremet, Ye., Sosson, M., Hippolyte, J-C., Gintov, O., & Yegorova, T. (2017). Paleo- and recent stress regimes of the Crimea Mountains based on micro- and macroscale tectonic analysis and earthquakes focal mechanisms: *Abstracts Volume. International Research Group Project “South Caucasus Geosciences” Final Workshop, October 25—27, 2017, Kiev.* *Геофизический журнал*, 30(4), 107—109.

13. Sheremet, Ye., Sosson, M., **Murovskaya, A.**, Gintov, O., & Yegorova, T. (2017). Tectonic evolution of the Crimean Mountains since the Triassic: Insight from the new dating and on-and-offshore structural data (macro- and microscale). In general tectonic context of the Greater Caucasus-Black Sea domain: *Abstracts Volume. International Research Group Project “South Caucasus Geosciences” Final Workshop, October 25—27, 2017, Kiev.* *Геофизический журнал*, 30(4), 115—117.

14. Starostenko, V., Sosson, M., Farfulyak, L., Gintov, O., Yegorova, T., **Murovskaya, A.**, Sheremet, Ye., & Legostaeva O. (2017). Deep crustal structure of the transition zone of the Scythian Plate and the East European Platform (DOBRE-5 profile): consequences of the Alpine Tectonic evolution: *Abstracts Volume. International Research Group Project “South Caucasus Geosciences” Final Workshop, October 25—27, 2017, Kiev.* *Геофизический журнал*, 30(4), 120—122.

15. **Муровская, А. В.**, Малицький, Д. В., Гнип, А. Р., Махницький, Н. Р., Мычак, С. В., Поляченко, Е. Б. (2018). Активная тектоника и современное поле напряжений Закарпатского прогиба по механизмам очагов землетрясений. *17th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 14—17 May 2018, Kiev, Ukraine.* Conference Paper. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801852>

16. Sheremet, Ye., Sosson, M., **Murovskaya, A.**, Gintov, O., & Yegorova, T. (2018). Tectonic evolution of the Crimean Mountains during the Meso-Cenozoic in the context of the Black Sea-Greater Caucasus domain. *EGU General Assembly 2018, 12 Apr 2018, 20* (pp. 89—97).

17. Nakapelyukh, M., Yakibyuk, Y., Kuts, I., & **Murovskaya**, A. (2018). The geological evolution of the south-west margin of East European platform: from Paleozoic fold-thrust belt to Miocene Foredeep: *17th Symposium of Tectonics, Structural Geology and Crystalline Geology, Jena 2018*.

18. **Murovskaya**, A., Amashukeli, T., Yegorova, T., Bezuhlyi, R., Verpakhovska, A., Nakapelukh, M. (2019). The main features of the lithosphere structure along the PANCAKE profile in the context of geodynamics of the Carpathian-Pannonian region. *18th International Conference on Geoinformatics — Theoretical and Applied Aspects, 13—19 May 2017, Kiev, Ukraine*. Conference Paper. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902092>

19. 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. (2017). Seismic model of the crust and upper mantle across the Eastern Carpathians – from the Apuseni Mountains to the Ukrainian Shield. *Geophysical Research Abstracts Vol. 21, EGU2019-5419-2, 2019. The General Assembly 2019 of the European Geosciences Union (EGU), 7—12 April 2019. Vienna, Austria*.

АНОТАЦІЯ

Муровська Г.В. Глибинна будова та альпійська геодинаміка Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика (103–науки про Землю). – Інститут геофізики НАН України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота виконана з метою дослідження альпійської геодинаміки Карпатського та Кримсько-Чорноморського регіонів України на основі синтезу нових даних стосовно будови літосфери і напружено-деформованого стану земної кори регіонів за тектонофізичними, сейсмічними та сейсмологічними даними. Відповідно до представленої тектонічної моделі літосфери по сейсмічному профілю ГСЗ PANCAKE доальпійський фундамент Карпатського алохтону досягає глибин ~14–15 км. Кора Паннонського басейну є розшарованою на глибині 15 км, що робить можливим відносно самостійну кінематику її верхнього шару. Потужний (11 км) розділ Мохо на глибині 25 км та піднята термальна астеносфера під Паннонським басейном (55–60 км) відзеркалюють роль мантійного апвелінгу в геодинаміці регіону. Сучасний сеймотектонічний процес відбувається в верхній корі Закарпатського прогину в умовах стиснення та лівої транспресії. Земна кора Південного Криму належить до континентального типу з успадкованою субмеридіональною зональністю. Неоднорідна кора Гірського Криму є розшарованою на глибинах 6–15 і 23–33 км та насиченою магматичними тілами на глибинах 12–30 км, які піддаються сучасній деформації стиснення. В Кримській сейсмогенній зоні відбувається колізія та підсув Східно-Чорноморської мікроплити під Скіфську плиту. В роботі представлено докази ранньокрейдового континентального рифтингу в Гірському Криму та його зв'язку з розкриттям Чорноморського басейну.

Ключові слова: Українські Карпати, Кримсько-Чорноморський регіон, глибинна будова літосфери, тектонічні дзеркала, поля напружень, деформаційні режими, механізми землетрусів, колізійні процеси, розкриття Чорного моря.

SUMMARY

Murovska G.V. Deep structure and alpine geodynamics of the Carpathian and Crimean-Black Sea regions of Ukraine. – The manuscript on qualifying scientific work. – Qualifying scientific work on the rights of manuscript. The doctor of geological sciences thesis in speciality 04.00.22 – geophysics (103 – natural sciences). – Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, 2019.

Thesis is carried out with the purpose of researching the alpine geodynamics of the Carpathian and Crimean – Black Sea regions of Ukraine on the basis of synthesis of new data of the lithosphere structure and the stressed-strain state of the crust of the study regions by tectonophysical, seismic, and seismological data. According to the presented tectonic model of the lithosphere along the WARR seismic PANCAKE profile crossing the Ukrainian Carpathians, the pre-alpine base of the Carpathian allochthon reaches depth of ~ 14-15 km. The crust of Pannonian Basin is layered at the depth of 15 km, making possible relatively independent kinematics of its upper layer. The thick (11 km) Moho discontinuity at depth of 25 km and the uplifted the thermal asthenosphere (55-60 km) beneath Pannonian Basin reflect the crucial role of mantle upwelling in the geodynamics of the region. The recent seismotectonic process occurs in the upper crust of the Transcarpathian trough under condition of compression and left transpression. The Earth crust of the Southern Crimea is of continental type with inherited N–S – trending heterogeneity. The inhomogeneous crust of Mountain Crimea is stratified at depths of 6-15 and 23-33 km and saturated with magmatic bodies, which are now subjected to compression deformation. Collision and thrusting of the East Black Sea microplate under the Scythian Plate is occurring in the Crimean seismic zone. Evidences of Early Cretaceous continental rifting in the Mountain Crimea and its relation to the Black Sea Basin opening is presented.

Key words: Ukrainian Carpathians, Black Sea, Mountain Crimea, lithosphere deep structure, slicken–sides, stress fields, deformation regimes, earthquake mechanisms, collision processes, Black Sea opening

АННОТАЦІЯ

Муровская А. В. Глубинное строение и альпийская геодинамика Карпатского и Крымско-Черноморского регионов Украины. – Квалификационная научная работа на правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени доктора геологических наук по специальности 04.00.22 – геофизика (103 – науки о Земле). – Институт геофизики НАН Украины, Киев, 2019.

Диссертационная работа выполнена с целью исследования альпийской геодинамики Карпатского и Крымско-Черноморского регионов Украины на основе синтеза новых данных о глубинном строении литосферы и напряженно-

деформированном состоянии земной коры регионов по тектонофизическим и сейсмологическим исследованиям.

Представлена новая тектоническая модель литосферы Украинских Карпат, полученная при дополнительной интерпретации профиля ГСЗ РАНСАКЕ методом миграции. Доальпийский фундамент Карпатского аллохтона достигает глубин ~ 14–15 км. Под ним до глубины 21 км выделяется слой пониженной скорости, который может быть представлен разуплотненными породами зоны Тейсейра-Торнквиста. Тонкая (24–25 км) континентальная кора Паннонского бассейна является реологически расслоенной на глубине 15 км, что делает возможным ее относительно независимую кинематику. Раздел Мохо, представленный мощным 11-километровым слоем на глубине 25 км и поднятая (55–60 км) термальная астеносфера отражают существенную роль мантийного апвеллинга в геодинамике региона.

Украинские флишевые Карпаты представляют собой надвиговое сооружение северо-восточной вергентности, которое образовалось из отложений мелового осадочного бассейна шириной 460 км вследствие сокращения его ложа до современной ширины 120 км. В первую стадию развития Карпатского сооружения (32–11,5 млн лет) происходили покровно-надвиговые деформации. На второй стадии после окончания надвигообразования (~ 11,5 млн лет) происходит изостатический подъем Карпатского орогена (до 7 км в его центральной части) и активизируются сдвиговые разломы. Наиболее активный современный сейсмотектонический процесс происходит в верхней коре Закарпатского прогиба до глубин ~ 16 км в условиях сжатия и левой транспрессии.

Представлена геологическая интерпретация скоростного разреза по профилю Севастополь–Керчь, полученного при обработке материалов ГСЗ 1975 г с помощью современной методики и программы. Кора Южного Крыма относится к континентальному типу с унаследованной субмеридиональной зональностью. Земная кора Горного Крыма является расслоенной на глубинах 6–15 и 23–33 км, неоднородной и насыщенной высокоскоростными включениями на глубинах 12–30 км, которые проинтерпретированы как магматические тела среднеюрского возраста. Магматические тела подвергаются сейчас мощной деформации сжатия, о чем свидетельствует концентрация гипоцентров землетрясений в их пределах. В Крымской сейсмогенной зоне в пределах континентального склона происходит коллизия и поддвиг Восточно-Черноморской микроплиты под Скифскую плиту. Представлены тектонофизические и геологические доказательства раннемелового континентального рифтинга в Горном Крыму и его связи с раскрытием Черноморского бассейна.

Ключевые слова: Украинские Карпаты, Крымско-Черноморский регион, глубинное строение литосферы, тектонические зеркала, поля напряжений, деформационные режимы, механизмы землетрясений, коллизионные процессы, раскрытие Черного моря.