

УДК 551.24.035 (477.8)

КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ КІНЕМАТИЧНОГО ТА СТРУКТУРНО-ПАРАГЕНЕТИЧНОГО МЕТОДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВОЛЮЦІЇ ПОЛІВ ПАЛЕОНАПРУЖЕНЬ ГІРСЬКИХ ПОРІД УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

І. Бубняк¹, Ю. Віхоть^{1,2}, М. Накапелюх²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
геологічний факультет, кафедра фізики Землі,
вулиця Грушевського, 4, 79005, Львів, Україна,
e-mail: ibubniak@yahoo.com, yuvik@ukr.net

²Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України,
проспект Палладіна, 32, 03680, Київ, Україна,
e-mail: nmsol@ukr.net

Наведено детальну реконструкцію еволюції регіональних полів палеонапружень Скибового та Бориславсько-Покутського покривів для доскладчастого, складчастого та післяскладчастого етапів розвитку Українських Карпат. Побудовано хронологічну шкалу деформаційних режимів з азимутами орієнтації головних осей полів палеонапружень (σ_1 , σ_2 , σ_3) протягом цих етапів завдяки комплексному застосуванню структурно-парагенетичного та кінематичного аналізів.

Доведено, що водночас з насувами відбувалися зсувні деформації, які забезпечували швидке просування фронту складчастості. Вплив Південних та Західних Карпат на формування структури Скибового покриву виявляється в полях палеонапружень з віссю стиснення σ_1 північно-західного напрямку.

Ключові слова: Українські Карпати, кінематичний і структурно-парагенетичний методи, еволюція полів палеонапружень, тріщина, дзеркало ковзання, Скибовий і Бориславсько-Покутський покриви.

Попередні дослідження, проведені в межах Українських Карпат, не дають змоги з'ясувати детальну еволюцію регіональних полів напружень протягом усіх етапів їхнього формування, а відображають лише деякі з них.

Наша мета – довести ефективність використання комплексного аналізу тріщинуватості та дзеркал ковзання для дослідження зміни регіональних полів палеонапружень на прикладі двох сусідніх покривів, що належать один до Складчастих Карпат, а інший до Передкарпатського прогину.

Предметом та об'єктом досліджень були поля палеонапружень з азимутами орієнтації головних осей: σ_1 (стиснення), σ_2 і σ_3 (розтягнення), реконструйовані на підставі вивчення тріщин та дзеркал ковзання у флішових (верхньокрейдово-олігоценіві) та моласових (неогенові) відкладах північно-західної частини, відповідно, Скибового та Бориславсько-Покутського покривів.

Для реконструкції головних параметрів полів палеонапружень використано два методи: структурно-парагенетичний з застосуванням тектонофізичної моделі Стоянова–Гінтова (аналіз за різними парагенезисами тріщин), та кінематичний Гуценка–Анжельє (аналіз за дзеркалами ковзання) [1]. За допомогою комплексного аналізу, який передбачає сукупне використання результатів структурно-парагенетичного та кінематичного методів, побудовано загальну хронологічну шкалу деформаційних режимів Скибового та Бориславсько-Покутського покривів [1].

Тектонофізичні дані тріщинуватості та дзеркал ковзання опрацьовано за допомогою структурних комп'ютерних програм StereoNett (2.46), Win-Tensor (1.4.19), якими визначили головні параметри полів палеонапружень (σ_1 , σ_2 , σ_3).

Виконано близько 4 197 замірів тріщин та 345 замірів дзеркал ковзання у 81 відслоненні різних розмірів у Скибовому і, відповідно, 1 006 та 35 замірів у 13 точках спостережень у Бориславсько-Покутському покривах. Заміри головню проводили у природних (розташованих у руслах та берегах річок, струмків) та штучних (кар'єри, стінки доріг) відслоненнях.

Під час аналізу тріщинуватості головну увагу звертали на тріщини: нормальносічні, що характеризують доскладчасті деформаційні режими, субвертикальні в сучасному заляганні – відповідно, післякладчасті, та кососічні, що виникають під час інтенсивних тектонічних процесів (складко- та насуювотворення), – зіскладчасті. Дзеркала ковзання утворюються водночас із кососічними тріщинами.

Кількість замірів орієнтації тріщин та їхніх парагенезисів у кожному з таких відслонень становила від 50 до 100, а замірів дзеркал та штрихів ковзання – уся можлива кількість. Дослідження тріщинуватості та вивчення дзеркал ковзання проводили у літологічних відкладах різного віку – від верхньокрейдового до неогенового. На рис. 1 показано тектонічну схему з ділянками розміщення районів досліджень, де виконували реконструкцію полів палеонапружень.

Поля напружень у Скибовому покриві Українських Карпат. Дослідження з реконструкції полів палеонапруження у Скибовому покриві проведено по таких поперечних долинах: басейн р. Стрий (права притока – р. Рибник), межиріччя Опору й Оряви (струмки Кобилець та Ягистів), басейни р. Сукіль, р. Бистриця Надвірнянська.

Райони досліджень перетинають цей покрив у межах сімох із восьми скиб: Берегової, Орівської, Сколівської, Парашки, Мальманстальської, Зелем'янки, Рожанки (див. рис. 1).

Басейн р. Стрий. У всіх породах отримано давні зсувні поля напружень: праві (напряму зсуву показано умовно щодо простягання Українських Карпат – $310\text{--}315^\circ$) (σ_1 – 160, 165, 185, 196, 201, 202) та ліві (σ_1 – 270, 268), які, очевидно, пов'язані з нерівномірним ротаційним режимом Землі, коли вздовж осі її обертання виникли змінні поля стиснення–розтягнення і формувалася планетарна тріщинуватість. Інші поля: σ_1 – 231/01, σ_3 – 141/01; σ_1 – 226/01, σ_3 – 136/01; σ_1 – 236/01, σ_3 – 146/01, відображають початок орогенного процесу, коли стиснення вже настало, проте відклади олігоцену залягали ще горизонтально.

Поле (σ_1 – 300/01, σ_3 – 30/01) відображає розтягнення за азимутом $210\text{--}30^\circ$, під час якого, очевидно, утворився палеогеновий басейн осадонагромадження. Наймолодшими полями напружень, що визначені за субвертикальними тріщинами, є: σ_1 – 183/13, σ_3 – 093/11; σ_1 – 107/11, σ_3 – 197/14; σ_1 – 162/11, σ_3 – 072/09.

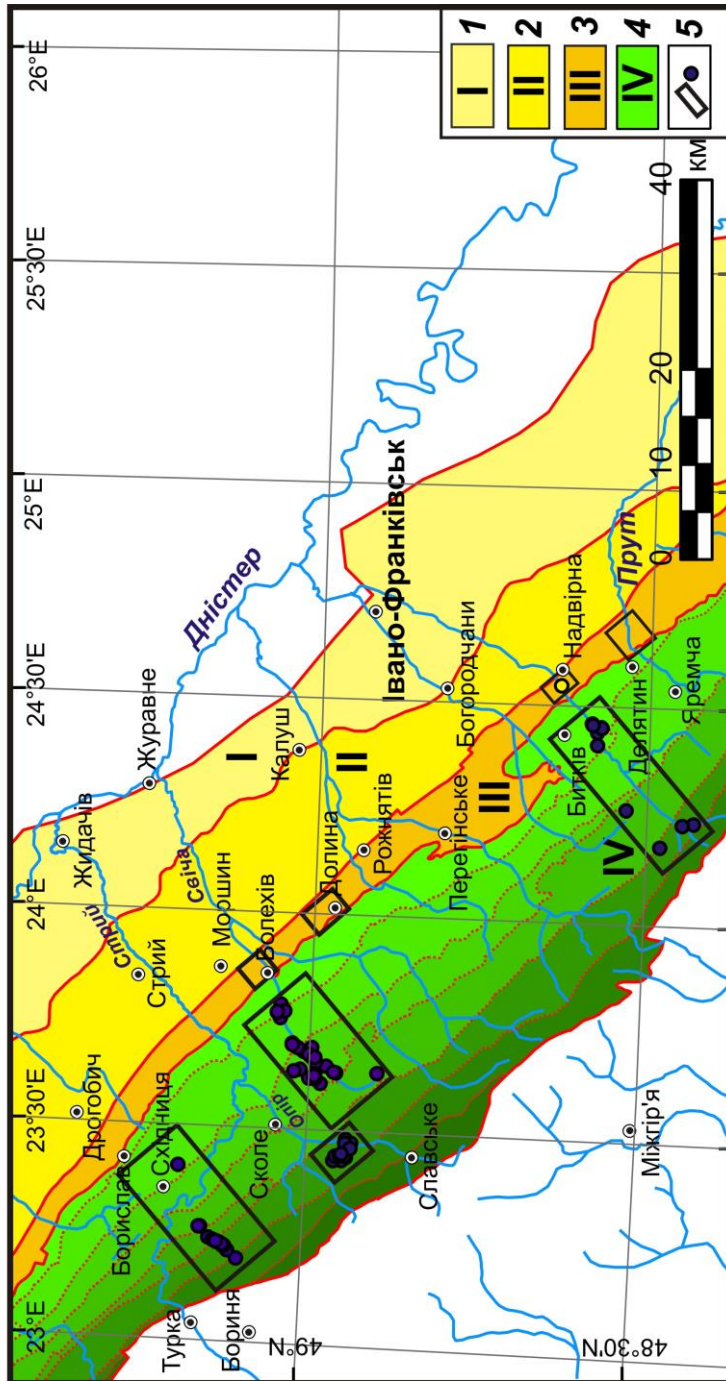


Рис. 1. Тектонічна схема (автори В. В. Кузовенко, В. С. Шлапінський, 2006) Українських Карпат з розміщенням районів досліджень (Передкарпатський прогин: 1 – Більче-Волицька зона, покрити. 2 – Самбірський, 3 – Бориславсько-Покутський; 4 – Скибовий покрив; 5 – точки з ділянками досліджень).

Переважає під час складчастого етапу було підкидове поле: $\sigma_1 - 220/15$, $\sigma_3 - 130/85$. Ліве ($\sigma_1 - 226/25$, $\sigma_3 - 136/15$) та праве ($\sigma_1 - 259/20$, $\sigma_3 - 169/15$) зсувні поля відображають різну швидкість переміщення сусідніх блоків або частин скиб і могли утворитися одночасно з насувами. Інше підкидове поле ($\sigma_1 - 140/15$, $\sigma_3 - 310/80$) відображає підкиди та насуви, поперечні до генерального напрямку переміщення скиб Українських Карпат. Скидове поле ($\sigma_1 - 323/80$, $\sigma_3 - 232/05$), за якого гірські маси переміщалися на північний схід і південний захід, є молодим і відображає осувні й інші процеси руйнування гір.

Межиріччя Опору та Оряви. Отримані значення осей σ_1 , σ_3 засвідчують, що у верхньому палеогені (як і в басейні р. Стрий) відбулася інверсія давнього планетарного поля напружень, яка привела до формування двох типів планетарної тріщинуватості.

Інші поля напружень – зсуви, зафіксовані тріщинуватістю практично в усіх відкладах (крім порід яменської світи, проте у ній вони виявлені в басейні р. Стрий), свідчать про можливий початок загальнокарпатського стиснення ще в олігоцені.

Підтверджено також розтягнення в напрямі $210-30^\circ$. За субвертикальними тріщинами виділено чотири поля наймолодших напружень: $\sigma_1 - 177/12$, $\sigma_3 - 087/09$; $\sigma_1 - 100/10$, $\sigma_3 - 010/13$; $\sigma_1 - 220/15$, $\sigma_3 - 130/14$; $\sigma_1 - 251/09$, $\sigma_3 - 161/13$.

За більшістю дзеркал ковзання визначено підкидове поле: $\sigma_1 - 240/00$, $\sigma_3 - 150/80$, яке узгоджується з тим, що визначене і переважає за кількістю векторів на попередній ділянці, та відображає загальнокарпатське стиснення. Праві та ліві зсуви ($\sigma_1 - 245/00$, $\sigma_3 - 335/15$), очевидно, сформувалися на контактах окремих частин скиб, що переміщувалися з різною швидкістю, а інші скиди ($\sigma_1 - 323/88$, $\sigma_3 - 233/03$) супроводжували процес гороутворення або, можливо, сформувалися пізніше разом із полем ($\sigma_1 - 240/80$, $\sigma_3 - 150/03$) дуже молодого віку як відображення руйнування гірського ланцюга, під час якого утворювалися зсуви, осуви.

У басейні р. Сукіль за доскладчастими тріщинами визначено два інверсійні поля планетарних напружень – субмеридіональне стиснення ($165, 180, 180, 185, 170^\circ$), яке змінюється субширотним ($290, 265, 265^\circ$). Інше поле з віссю розтягнення 50° , як і в попередніх перетинах, відображає, очевидно, процес розтягнення земної кори під час формування палеогенового басейну. Чотири поля ($218, 235, 205, 243^\circ$) відображають початок загальнокарпатського стиснення наприкінці палеогену ще до процесів складкоутворення. Наймолодшими полями напружень є такі: $\sigma_1 - 181/09$, $\sigma_3 - 91/09$; $\sigma_1 - 272/09$, $\sigma_3 - 182/10$; $\sigma_1 - 230/09$, $\sigma_3 - 140/10$; $\sigma_1 - 145/12$, $\sigma_3 - 056/11$.

За кінематичним аналізом визначено такі поля напружень: підкидові ($\sigma_1 - 246/00$, $\sigma_3 - 156/80$; $\sigma_1 - 348/02$, $\sigma_3 - 258/89$); зсувне ($\sigma_1 - 350/05$, $\sigma_3 - 260/03$); скидові ($\sigma_1 - 133/80$, $\sigma_3 - 43/01$; $\sigma_1 - 203/80$, $\sigma_3 - 293/07$). Перше поле, що представлено найбільшою кількістю замірів, відображає загальнокарпатське стиснення, яке супроводжувалося підкидами, насувами. Друге підкидове поле має орієнтацію осі стиснення субпаралельно до простягання Українських Карпат. Аналогічне поле отримане і в долині р. Рибник. Третє поле субмеридіонального стиснення–субширотного розтягнення типово зсувне і пов'язане з досить інтенсивними переміщеннями по площинах тріщин меридіонального та північно-східного простягання. Воно безпосередньо не пов'язане з формуванням Українських Карпат, а зумовлене, очевидно, тектонічними процесами в Південних і Західних Карпатах, для яких субмеридіональне стиснення є визначальним. Останні два поля пов'язані зі скидовими процесами, що відбувалися наприкінці та після формування Українських Карпат, і є наймолодшими.

Басейн р. Бистриця Надвірнянська. Давнє поле ($\sigma_1 - 270/00$, $\sigma_3 - 00/05$) відображає, очевидно, етап розвитку планетарної тріщинуватості, а усереднене ($\sigma_1 - 220/10$, $\sigma_3 - 130/08$), що зафіксоване у всьому розрізі, – початок загальнокарпатського стиснення. За субвертикальними тріщинами визначено три наймолодші поля напружень: $\sigma_1 - 225/08$, $\sigma_3 - 135/04$; $\sigma_1 - 05/00$, $\sigma_3 - 275/00$, правий зсув; $\sigma_1 - 95/03$, $\sigma_3 - 185/00$, лівий зсув. Перше поле відображає загальнокарпатське стиснення, що продовжувалося в послабленій формі після процесів складко- і насувоутворення, коли підкидовий деформаційний режим перейшов у зсувний. Два інші поля відображають, очевидно, реверсний процес, коли досить сильне меридіональне стиснення змінилося слабшим широтним.

За кінематичними даними переважає поле напружень, що пов'язане з правозсувним деформаційним режимом ($\sigma_1 - 180/10$, $\sigma_3 - 270/05$). Воно відповідає полю правого зсуву, визначеному за молодими субвертикальними тріщинами. Дзеркала ковзання, за якими воно відновлене, також вертикальні або кругонахилені. Можна стверджувати, що це поле субмеридіонального стиснення є досить молодим і в реверсному процесі було рушійним. Воно зумовило правозсувне переміщення по розривах, паралельних до протягання Українських Карпат, і лівозсувне – по поперечних.

Наступне поле за кількістю заміряних дзеркал – підкидове ($\sigma_1 - 55/12$, $\sigma_3 - 325/75$) – є найдавнішим, у якому відбувався основний процес складко- і насувоутворення з переміщенням матеріалу з південного заходу на північний схід. Інше поле напружень – зсувне: $\sigma_1 - 304/05$, $\sigma_3 - 214/10$. Скидове поле ($\sigma_1 - 135/85$, $\sigma_3 - 45/08$) за кінематичними ознаками є наймолодшим, виникло наприкінці процесу складко- і насувоутворення, коли почала формуватися структура Українських Карпат.

Поля напружень у Бориславсько-Покутському покриві Передкарпатського прогину. Головні дослідження з визначення полів напружень проведені у неогенових відкладах на таких ділянках: Болехівській, Долинській (у кар'єрах), Надвірнянській та Делятинській (у долинах рік Бистриця Надвірнянська та Прут) (див. рис. 1).

Ділянка Болехівська. За нормальності тріщинами визначено зсувне поле напружень: $\sigma_1 - 197/05$, $\sigma_3 - 287/10$, яке відображає формування планетарної тріщинуватості.

Усі парагенезиси кососічної тріщинуватості свідчать про скидовий деформаційний режим з субвертикальною віссю σ_1 . Усереднені поля напружень: $\sigma_1 - 149/85$, $\sigma_3 - 240/08$ і $\sigma_1 - 149/85$, $\sigma_3 - 298/00$ підтверджують одночасне загально- й антикарпатське розтягнення, тобто прогинання району досліджень, коли складчастість до кінця ще не сформувалася.

Субвертикальні тріщини свідчать про розтягнення басейну ($\sigma_1 - 145/10$, $\sigma_3 - 55/13$) в недавньому минулому, яке продовжується і нині.

Ділянка Долинська. Визначені давні поля: планетарне ($\sigma_1 - 175/02$, $\sigma_3 - 265/08$) та зсувне ранньокарпатського стиснення ($\sigma_1 - 240/06$, $\sigma_3 - 330/09$). За кососічною системою тріщин відновлено насувне загальнокарпатського стиснення ($\sigma_1 - 235/29$, $\sigma_3 - 56/61$) та скидове поля з південно-східною орієнтацією осі розтягнення ($\sigma_1 - 247/76$, $\sigma_3 - 120/05$). Зазначимо, що деформаційний режим розтягнення на ділянці підтверджений удвічі більшою кількістю парагенезисів, ніж режим стиснення. Зсувне поле напружень ($\sigma_1 - 258/05$, $\sigma_3 - 348/07$), відновлене за субвертикальними в сучасному заляганні тріщинами, відображає, швидше за все, розтягнення земної кори Бориславсько-Покутського покриву, яке триває й досі.

Ділянка Надвірнянська. У стебницьких пісковиках виявлено доскладчасте ($\sigma_1 - 185/02$, $\sigma_3 - 275/10$ – планетарна тріщинуватість) і післяскладчасте ($\sigma_1 - 192/05$, $\sigma_3 - 282/12$ – субмеридіональне стиснення) зсувні поля, що мало відрізняються від аналогічних полів напружень Скибового покриву, а зіскладчасті деформації мають трохи інший характер. Тут, крім звичайного загальнокарпатського підкидового поля ($\sigma_1 - 248/15$, $\sigma_3 - 82/75$), фіксують два скидові, орієнтовані осями розтягнення перпендикулярно одне до одного: $\sigma_1 - 260/75$, $\sigma_3 - 38/10$ та $\sigma_1 - 310/86$, $\sigma_3 - 130/04$. Останнє поле, як і у випадку з Болехівською ділянкою, свідчить про загальне прогинання району ще до закінчення фази складкоутворення.

Аналогічна картина простежена і в добротівських відкладах на південно-західній околиці м. Надвірна. Якщо за парагенезисами нормальносічних і субвертикальних тріщин визначають, відповідно, зсувні поля початку загальнокарпатського ($\sigma_1 - 229/03$, $\sigma_3 - 319/05$) і антикарпатського ($\sigma_1 - 301/04$, $\sigma_3 - 211/10$) стиснення, то за замірами кососічної тріщинуватості, крім зсуво-насувного поля загальнокарпатського стиснення ($\sigma_1 - 22/16$, $\sigma_3 - 273/36$), фіксують ще три скидові поля з різною орієнтацією осей розтягнення: $\sigma_1 - 305/42$, $\sigma_3 - 198/11$; $\sigma_1 - 22/59$, $\sigma_3 - 126/07$; $\sigma_1 - 159/77$, $\sigma_3 - 72/12$. Це знову ж таки є ознакою деформаційного режиму розтягнення й занурення Бориславсько-Покутського покриву в процесі складко- і насувоутворення.

Ділянка Делятинська охоплює правий і лівий береги р. Прут у м. Делятин, с. Заріччя і нижче за течією до гирла р. Ослава. Поля напружень за парагенезисами нормальносічних тріщин у породах менілітової світи ($\sigma_1 - 277/03$, $\sigma_3 - 07/10$ і $\sigma_1 - 02/02$, $\sigma_3 - 272/10$) відображають реверсний режим формування планетарної тріщинуватості. За парагенезисами кососічних тріщин відновлено підкидове поле: $\sigma_1 - 22/15$, $\sigma_3 - 254/64$. Наявність тут цього поля підтверджують і результати досліджень дзеркал ковзання: $\sigma_1 - 09/05$, $\sigma_3 - 255/78$.

Нижче за течією в с. Заріччя за нормальносічними тріщинами фіксують поле напружень ($\sigma_1 - 263/04$, $\sigma_3 - 353/06$), у якому сформувалася планетарна тріщинуватість, та зсувні поля ($\sigma_1 - 297/04$, $\sigma_3 - 207/03$ і $\sigma_1 - 22/04$, $\sigma_3 - 292/05$), що відображають, відповідно, загальнокарпатське розтягнення – завершення осадоагромадження менілітової світи, і загальнокарпатське стиснення, що передувало складкоутворенню. Аналіз молодій субвертикальної тріщинуватості свідчить про зсувні поля: загальнокарпатського стиснення ($\sigma_1 - 240/10$, $\sigma_3 - 330/09$; $\sigma_1 - 200/04$, $\sigma_3 - 120/11$), загальнокарпатського розтягнення ($\sigma_1 - 303/06$, $\sigma_3 - 213/10$). Ці поля доводять, що стиснення і розтягнення, ортогональні до простягання Українських Карпат, продовжувалися у зсувному деформаційному режимі й після основного етапу альпійського тектогенезу. Парагенезиси кососічних тріщин, що виникли під час складко- і насувоутворення, відображають такі поля напружень: підкидові загальнокарпатського стиснення ($\sigma_1 - 210/04$, $\sigma_3 - 130/69$ і $\sigma_1 - 260/01$, $\sigma_3 - 07/67$); скидові, відповідно, загальнокарпатського ($\sigma_1 - 317/70$, $\sigma_3 - 220/00$) й антикарпатського ($\sigma_1 - 150/68$, $\sigma_3 - 293/10$) розтягнення. Аналогічні поля напружень визначені й за дзеркалами ковзання: $\sigma_1 - 36/17$, $\sigma_3 - 283/52$ і $\sigma_1 - 196/68$, $\sigma_3 - 67/14$.

У добротівських відкладах на обох берегах р. Прут за нормальносічною тріщинуватістю визначено два усереднені поля: $\sigma_1 - 266/05$, $\sigma_3 - 356/07$ (планетарна тріщинуватість) та $\sigma_1 - 215/05$, $\sigma_3 - 305/10$ (початок загальнокарпатського стиснення, перед складкоутворенням). Результати інтерпретації парагенезисів кососічних тріщин і дзеркал ковзання дають усереднені поля: три підкидові ($\sigma_1 - 223/17$, $\sigma_3 - 85/65$; $\sigma_1 - 10/10$, $\sigma_3 - 138/57$; $\sigma_1 - 193/02$, $\sigma_3 - 290/68$, за дзеркалами ковзання), та одне скидове ($\sigma_1 - 334/79$, σ_3

– 158/14). Для скидових полів, які були усереднені, характерне розміщення осей розтягнення в секторі – близько 90° .

У слобідських конгломератах парагенезиси нормальносічних тріщин відображають етап формування планетарної тріщинуватості: $\sigma_1 - 187/03$, $\sigma_3 - 277/07$; $\sigma_1 - 92/02$, $\sigma_3 - 182/05$ (ревесно-зсувний деформаційний режим). За молодією субвертикальною тріщинуватістю зафіксоване зсувне поле: $\sigma_1 - 169/02$, $\sigma_3 - 259/08$. А за парагенезисами кососічних тріщин, утворення яких супроводжувало основний складчасто-насувний процес, визначено такі поля напружень: два підкидкові ($\sigma_1 - 240/03$, $\sigma_3 - 332/55$; $\sigma_1 - 39/22$, $\sigma_3 - 159/50$); два загальнокарпатського ($\sigma_1 - 307/62$, $\sigma_3 - 47/05$) і антикарпатського ($\sigma_1 - 270/67$, $\sigma_3 - 152/18$) розтягнення; одне підкидо-зсувне ($\sigma_1 - 282/05$, $\sigma_3 - 188/32$) субширотного стиснення.

Еволюція полів напруження та геодинаміка досліджуваного району. Реконструйовані поля палеонапружень з азимутами орієнтацій головних осей (стиснення σ_1 , розтягнення σ_3), деформаційними режимами, що отримані по чотирьох перерізах Скибового покриву та на ділянках Бориславсько-Покутського покриву, розкласифіковані по етапах – доскладчастому, складчасто-насувному і післяскладчастому.

Час деформаційних процесів визначали за геологічними даними про вік відкладів, у яких виконували заміри. Враховували, що планетарна тріщинуватість виникає в гірських породах під час їхньої часткової літифікації, тобто одразу після їхнього відкладення, а тектонічні тріщини можуть утворитися в будь-який час, однак не раніше відкладення наймолодших пластів, у яких відновлене це поле напружень. Дзеркала ковзання відображають молоді інтенсивні тектонічні процеси.

Об'єднання полів напружень у групи за азимутами орієнтації головних осей виявилось в багатьох випадках синхронним часові деформаційних процесів і відповідає єдиним деформаційним режимам. Синхронізація трьох параметрів – часу деформації, азимутів орієнтації головних осей і деформаційних режимів – дає змогу з достатньою впевненістю говорити про тектонічні сили в земній корі, що діяли на всіх трьох етапах формування Скибового та Бориславсько-Покутського покривів.

Загальна хронологічна шкала деформаційних режимів з узагальненими та усередненими полями напружень показана на рис. 2. Вона відображає еволюцію полів напруження – азимутальної орієнтації напрямів осей стиснення σ_1 і розтягнення σ_3 , деформаційних режимів – Скибового та Бориславсько-Покутського покривів протягом доскладчастого, складчасто-насувного і післяскладчастого етапів формування та їхній вплив на напружено-деформований стан досліджуваних ділянок. Результати кінематичного аналізу по перетинах Скибового покриву узагальнені у зведених стереограмах (рис. 3). Привертає увагу добра збіжність результатів визначення полів напружень під час головних етапів деформації по чотирьох перетинах Скибового та на ділянках Бориславсько-Покутського покривів.

На доскладчастому етапі в районі досліджень і, швидше за все, на ширшій площі цілком переважали тангенціальні сили, тому площина $\sigma_1\sigma_3$ була практично горизонтальною (максимальний кут нахилу – 17°). Навіть під час формування басейнів осадонагромадження, коли робочою була вісь σ_3 , субперпендикулярна до простягання Українських Карпат, вісь стиснення σ_1 займала субгоризонтальне положення. Уже на доскладчастому етапі почалося загальнокарпатське стиснення земної кори (середні азимуту орієнтації осей $\sigma_1 - 218-240$, див. рис. 2, “зсув при стисненні”), у цьому разі площина $\sigma_1\sigma_3$ залиша-

лася субгоризонтальною, оскільки деформації на початку були невеликими. Поля напружень визначали головню за парагенезисами доскладчастих нормальносідчних тріщин.

Район досліджень	Доскладчастий етап				Складчасто-насувний етап				Післякладчастий етап						
	палеоцен-олігоценовий час				міоценовий час				пліоценовий час						
Сквибей покря	басейн р.Стрий	182/01 272/01	269/01 359/01	300/01 030/01	231/01 141/01	220/15 130/85	226/25 136/15	259/20 169/15	140/15 310/80	183/13 093/11	107/11 197/14	323/80 232/05	240/80 233/03	203/80 293/07	
	межиріччя Опору та Оряви	180/15 090/12	248/11 205/14	115/11 205/14	218/15 128/13	240/00 150/80	245/00 335/15	245/00 335/15	245/00 335/15	177/12 087/09	100/10 010/13	323/88 233/03	240/80 233/03	240/80 233/03	
	басейн р.Сукіль	177/10 081/09	273/08 183/09	140/09 050/07	225/09 135/09	246/00 156/80	245/00 335/15	245/00 335/15	245/00 335/15	230/09 140/10	272/09 182/10	145/12 056/01	133/80 043/01	203/80 293/07	
	басейн р.Бистриця	270/00 000/05			220/10 130/08	055/12 325/75	045/04 315/10	045/04 315/10	045/04 315/10	225/08 135/04	095/03 185/00	304/05 214/10	135/85 045/08	135/85 045/08	
	Ділянка Болехівська	197/05 287/10										145/10 055/13	149/85 240/08	149/85 298/00	
	Ділянка Долинська	175/02 265/08			240/06 330/09	235/29 056/80				258/05 348/07				247/76 120/05	
	Ділянка Надвірна-нська	185/02 215/10			229/03 319/05	248/15 082/75				192/05 282/12		301/04 211/10	260/75 038/10	289/83 109/07	
	Ділянка Делятинська	185/03 275/08	269/04 359/08	297/04 207/03	215/05 305/10	226/03				220/07 315/10	169/02 259/08	303/06 213/10	231/06	231/06	141/14
	режим цинний	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння
	деформація	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння	полпр-не стисне-ння
Умовні позначення:															

Рис. 2. Загальна хронологічна шкала деформаційних режимів у Скибовому та Бориславсько-Покутському покрях із зазначенням полів напружень з азимутальними орієнтаціями осей стиснення σ_1 (а) та розтягнення σ_3 (б) протягом різних етапів.

Проте як тільки почала формуватися складчасто-насувна структура Скибового покриву, вісь розтягнення (мінімального стиснення) σ_3 набула субвертикального положення, визначеного за кінематичним методом. Підкидовий деформаційний режим практично скрізь (по чотирьох перетинах Скибового покриву) визначений за максимальною кількістю векторів переміщень і відновлений за пологоспадними та субгоризонтальними дзеркалами ковзання, що утворені насувами.

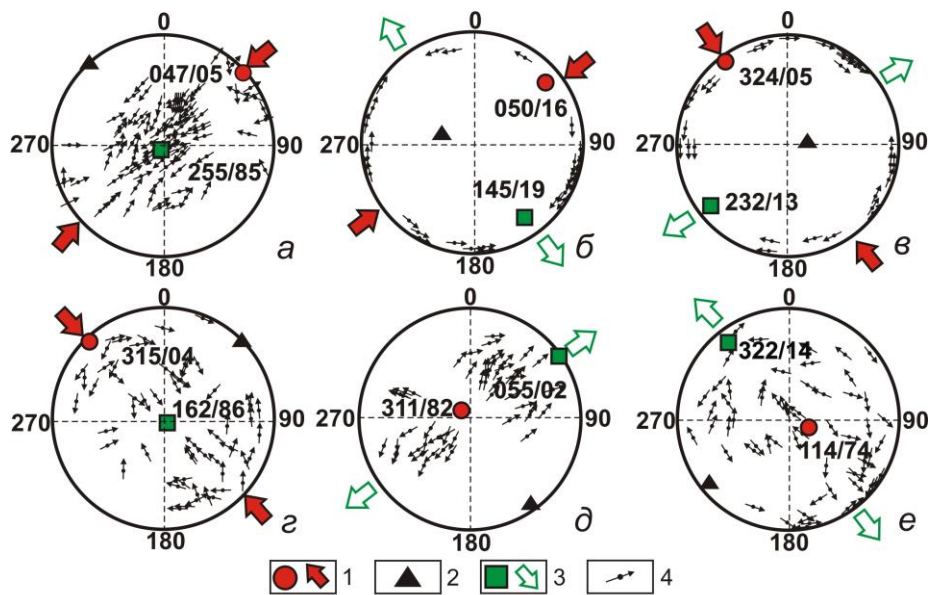


Рис. 3. Узагальнені поля напружень Скибового покриву, отримані за кінематичними даними. Головні осі та їхні напрями: 1 – стиснення, 2 – середня, 3 – розтягнення; 4 – вектори переміщень.

За наведеними даними (див. рис. 2, перший “підкид”) загальне усереднене положення осі стиснення σ_1 визначене як 235/11, тоді як за кінематичними даними (див. рис. 3, *a*) – 047/05. Обидва значення, отримані за кінематичним і структурно-парагенетичним аналізами досліджень, є дуже близькими: розбіжність у нахилі й орієнтації осі стиснення становить 16 та 8°. Отримане положення осі стиснення досить добре узгоджується з матеріалами тектонофізичного вивчення Румунських Східних Карпат [3], за якими орієнтація осі стиснення під час формування складчасто-насувної структури була $241/15 \pm 15^\circ$.

Водночас з насувами формувалися дзеркала ковзання із субгоризонтальними штрихами, що орієнтовані субперпендикулярно до простягання Українських Карпат. Наявність крутоспадних і майже вертикальних дзеркал ковзання свідчить про існування зсувів у північно-східному і південно-західному напрямках. Більшість дзеркал зі штрихами зсувного типу мають північно-східне простягання (див. рис. 3, *b* – *e*).

Подібні зсувні процеси не можна пояснити нічим іншим, як нерівномірним за швидкістю й амплітудою переміщенням скиб та їхніх частин у північно-східному напрямі, що підтверджене і за геологічними даними. Тому частково не можна погодитися з дос-

лідниками Румунських Східних Карпат [3], які зачисляють аналогічні зсувні процеси до післянасувної фази.

Звернемо увагу на те, що орієнтація осей стиснення і за підкидового, і за зсувного деформаційних режимів під час складчасто-насувних процесів нерідко відхилена від азимута 40–220° (нормаль до простягання Скибового покриву – 310°) у бік великих азимутів – 55, 245, 246, 259°. Фронтальні крила скиб і складок часто мають простягання 330–345°, практично паралельне до простягання зон розломів у фундаменті Передкарпатського прогину й Українських Карпат. Отже, підтверджено висновок про те, що блоки фундаменту, обмежені такими розломами, слугували бар'єрами на шляху переміщення покривів, і тому відбувалася переорієнтація осі σ_1 у напрямі, перпендикулярному до них.

Підкидо-насуво-зсувний процес гороутворення був ускладнений підкидами, насувами і зсувами, поперечними до генерального напрямку переміщення скиб (орієнтування осі стиснення σ_1 – 324/05 і 315/04, див. рис. 3, в, з), а також реверсними рухами, відображеними в інверсійних полях напружень з осями меридіонального і широтного орієнтування (у середньому σ_1 – 177/09, σ_3 – 087/07 і σ_1 – 093/01, σ_3 – 183/01). Останні два поля мають тектонічну природу і відрізняються від планетарної тріщинуватості тим, що їх визначають за молодими субвертикальними тріщинами та дзеркалами ковзання. Обидва ці явища, накладені на формування покривів, можна пояснювати з єдиної позиції. У регіональному плані вони пов'язані з формуванням Західних і Південних Карпат, напружено-деформований стан яких передавався Українським Зовнішнім Карпатам.

У глобальному плані дію тангенціальних сил субмеридіонального і північно-західного напрямку пояснюють конвергенцією Адріатичної та Європейської мікроплит, а також Африкано-Аравійської і Євразійської мегаплит. У праці [3] для Румунських Східних Карпат також визначили як одне з головних підкидове поле σ_1 – 149/09 \pm 14°, σ_3 – 026/70 \pm 19°, близьке за положенням осі стиснення до аналогічного визначеного нами поля для Українських Карпат. Вік цього палеополя – пліоцен. Поля стиснення-розтягнення з меридіональним і широтним орієнтуванням головних осей згадані автори не виявляють, тому що ці поля визначають, головню, за парагенезисами молодих субвертикальних тріщин, а вони використовували тільки кінематичний метод. Проте інші дослідники [2] довели, що меридіональне стиснення було головним для західної частини Карпато-Паннонського мегаблока в еоцені-пізньому сарматі, а в пізньому міоцені-антропогені воно домінувало в південній частині Румунських Східних Карпат. Міоцен-пліоценове меридіональне і північно-західне-південно-східне стиснення ці автори пов'язують зі стисненням Африканської мегаплити.

Останніми у шкалі розміщені скидові деформації, вісь розтягнення σ_3 яких орієнтована як у північно-східному, так і в північно-західному напрямках (див. рис. 3, д, е). Скиди продовжуються і сьогодні, проте вони могли відбуватися і раніше – під час насувів і зсувів. Однак їхній молодий вік є імовірнішим.

Під час аналізу напружено-деформованого стану досліджуваних ділянок двох покривів виявлено деякі їхні особливості та зроблено висновки.

Для Бориславсько-Покутського покриву характерна приблизно однакова кількість визначень підкидових і скидових деформаційних режимів. Тому можна стверджувати, що, незважаючи на певну подібність складчасто-насувної структури Скибового і Бориславсько-Покутського покривів, алохтонна частина Передкарпатського прогину після сильного стиснення зазнала достатньо сильного розтягнення, унаслідок чого системи

тріщин, за якими визначено таке розтягнення, є відкритими. Про Скибовий покрив цього сказати не можна, оскільки переважна кількість структурних парагенезисів формувалася в ньому за умов стиснення. Навіть скидовий деформаційний режим, який супроводжує розпад гірської системи, визначають у Скибовому покриві найчастіше за дзеркалами ковзання, що, зазвичай, не формуються під час розтягнення.

Тому, порівнюючи структуру тріщин Скибового покриву та алохтонної частини Передкарпатського прогину, можна вважати, що перша є закритою системою, сформованою в умовах стиснення, а друга стала відкритою внаслідок розтягнення, що наступало після процесів стиснення (насувоутворення).

Результати наших досліджень засвідчують, що повну і вичерпну інформацію про зміну полів напружень описаної ділянки може дати лише комплексний аналіз різних за віком тріщинуватостей та дзеркал ковзання. Тому не можна погодитися з деякими дослідниками, які применшують роль структурно-парагенетичного методу, який насправді дає змогу визначати як доскладчасті, так і наймолодші деформаційні режими, чого не можна зробити кінематичним методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Гинтов О.Б.* Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины / О.Б. Гинтов. – К : Феникс, 2005. – 572 с.
2. *Fodor L.* Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data / L. Fodor, L. Csontos, G. Bada [et al.] // *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen*. London: The Geological Society, 1999. – N 156. – P. 295–334.
3. *Matenco L.* Tertiary tectonic evolution of the external South Carpathians and the adjacent Moesian platform (Romania) / L. Matenco, G. Bertotti, C. Dinu, S. Cloetingh // *Tectonics*. – 1997. – N 16(6). – P. 896–911.

*Стаття: надійшла до редакції 11.09.2012
доопрацьована 30.09.2012
прийнята до друку 10.10.2012*

COMBINATION OF THE KINEMATIC AND STRUCTURAL-PARAGENETIC METHODS FOR STUDY THE EVOLUTION OF THE PALAEOSTRESS FIELDS OF ROCKS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS

I. Bubniak¹, Yu. Vikhot^{1,2}, M. Nakapelukh²

*¹Ivan Franko National University of Lviv,
geological faculty, department of physics of the Earth,
Hrushevsky Street, 4, 79005, Lviv, Ukraine,
e-mail: ibubniak@yahoo.com, yuvik@ukr.net*

*²Institute of Geophysics National Academy of science of Ukraine,
Palladin avenue, 32, 03680, Kyiv, Ukraine,
e-mail: nmsol@ukr.net*

A detailed reconstruction the regional fields stress evolution of Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes for prefolding, folding and postfolding stages of development of the Ukrainian Carpathians is presented. The chronological scale deformation modes with azimuths orientation of main axes palaeostress fields (σ_1 , σ_2 , σ_3) during these stages were created using a complex application of structural-paragenetic and kinematic analyses.

It has been proven that thrust shear stress was coeval with strike-slip that provided the rapid advancement of the thrust front. The influence of the Southern and Western Carpathians in the formation of Skyba nappe structure is shown in the creation of the stress fields with the axis of compression σ_1 in the north-western direction.

Key words: the Ukrainian Carpathians, kinematic and structural-paragenetic methods, palaeostress field evolution, joint, slickenside, Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes.

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОГО И СТРУКТУРНО-ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ПОЛЕЙ ПАЛЕОНАПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД УКРАИНСКИХ КАРПАТ

І. Бубняк¹, Ю. Віхоть^{1,2}, М. Накапелюх²

*¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
геологічний факультет, кафедра фізики Землі,
вулиця Грушевського, 4, 79005, Львів, Україна,
e-mail: ibubniak@yahoo.com, yuvik@ukr.net*

*²Інститут геофізики імені С. І. Субботина НАН України,
проспект Палладина, 32, 03680, Київ, Україна,
e-mail: nmsol@ukr.net*

Приведено детальную реконструкцию эволюции региональных полей палеонапряжений Скибового и Бориславско-Покутского покровов для доскладчатого,

складчатого и послескладчатого етапов развития Украинских Карпат. Построено хронологическую шкалу деформационных режимов с азимутами ориентации главных осей полей палеонапряжений (σ_1 , σ_2 , σ_3) на протяжении этих етапов благодаря комплексному использованию структурно-парагенетического и кинематического анализов.

Доказано, что одновременно с надвигами происходили сдвиговые деформации, которые обеспечивали быстрое продвижение фронта складчатости. Показано влияние Южных и Западных Карпат на формирование структуры Скибового покрова, которое проявляется в выявлении полей напряжений с осью сжатия σ_1 северо-западного направления.

Ключевые слова: Украинские Карпаты, кинематический и структурно-парагенетический методы, эволюция полей палеонапряжений, трещина, зеркало скольжения, Скибовой и Бориславско-Покутский покровы.