

Ю. М. Віхоть<sup>1</sup>, І. М. Бубняк<sup>2</sup>, М. В. Накапелюх<sup>2</sup>**РЕЗУЛЬТАТИ ТЕКТОНОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ФЛІШЕВОЇ ТОВЩІ СКИБОВОГО ПОКРИВУ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ У ДОЛИНІ р. БИСТРИЦЯ НАДВІРНЯНСЬКА***(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук О. Б. Гінтовим)*

Статья посвящена тектонофизическим исследованиям, проведенным в Скибовом покрове в долине р. Быстрица Надворнянская. В флишевых отложениях скиб Береговой, Оривской, Парашки и Зелемянки выполнено около 1060 измерений трещин и около 95 измерений зеркал скольжения в разных стратиграфических отложениях. С помощью комплексного анализа структурно-парагенетического и кинематического методов с использованием современного компьютерного обеспечения были определены направление и характер сил древних и молодых напряжений в этом районе в палеоген-неогеновое время.

The article is devoted to the tectonophysical researches conducted in the Skyba nappe in the valley of the Bystritsia Nadvirnianska. There are executed about 1060 intentions of joints and about 95 intentions of fault slips in the different flysh deposits of Beregova, Orivska, Parashky and Zelemianky thrusts. By the complex analysis of method of structural parageneses and kinematic method with the use of the modern computer programs it was define the directions and characters of forces old and young stress in this district in paleogene-neogene time.

**Постановка проблеми, зв'язок її з науковими і практичними завданнями**

Тектонофізичні дослідження мезоструктур є важливими при вирішенні еволюції полів напружень на територіях із складною історією геологічного розвитку, наприклад Карпат. Вони дають змогу визначати параметри полів напружень і є необхідними при встановленні напрямку та характеру сил, що діяли і спричиняли основні тектонічні процеси у регіоні.

За останні два десятиліття досягнуто значного прогресу при вивченні структурних елементів і створено низку комп'ютерних програм, які дозволяють детально та ефективно аналізувати тектонофізичний матеріал. Наприкінці ХХ ст. на територіях Західних та Східних Румунських Карпат проведені детальні мезоструктурні дослідження з метою вивчення еволюції полів напружень на різних часових проміжках, включаючи сучасний етап [14, 15]. Це дало можливість розробити низку нових концепцій, що описують розвиток регіону АЛЬКАПИ (Альпи, Карпати, Панонія) [10].

В останні роки інтерес до структурно-парагенетичного методу зменшився у зв'язку

з розробкою методів дислокаційного аналізу напружень, які мають більші можливості. Проте не варто применшувати роль структурно-парагенетичного методу, оскільки його можна використовувати там, де кінематичний метод не можна застосувати (наприклад, при вивченні планетарної тріщинуватості, ранніх деформаційних процесів). Тріщини мають велике значення для тектонофізичних досліджень, адже вони чутливо реагують на зміну будь-яких тектонічних процесів, а тому і є їх індикаторами.

На території Українських Карпат також проводилися дослідження, які можна віднести до категорії тектонофізичних з вивчення тріщин, дзеркал ковзання. Проте ці роботи мають спорадичний характер, і у них відсутній комплексний підхід до досліджень. Часто при таких дослідженнях застосовувалися застарілі методи або поля напружень визначалися на основі тільки тріщин (або тільки дзеркал ковзання).

Нами показана важливість комплексного підходу при дослідженні тріщин та дзеркал ковзання флішевого комплексу Скибового покриву Українських Карпат в долині р. Бистриця Надвірнянська для відтворення змін характеру полів напружень з часом.

Район дослідження охоплював населені пункти, що розміщені на південний захід від м. Надвірна, – це Битків, Пасічне, Зелена,

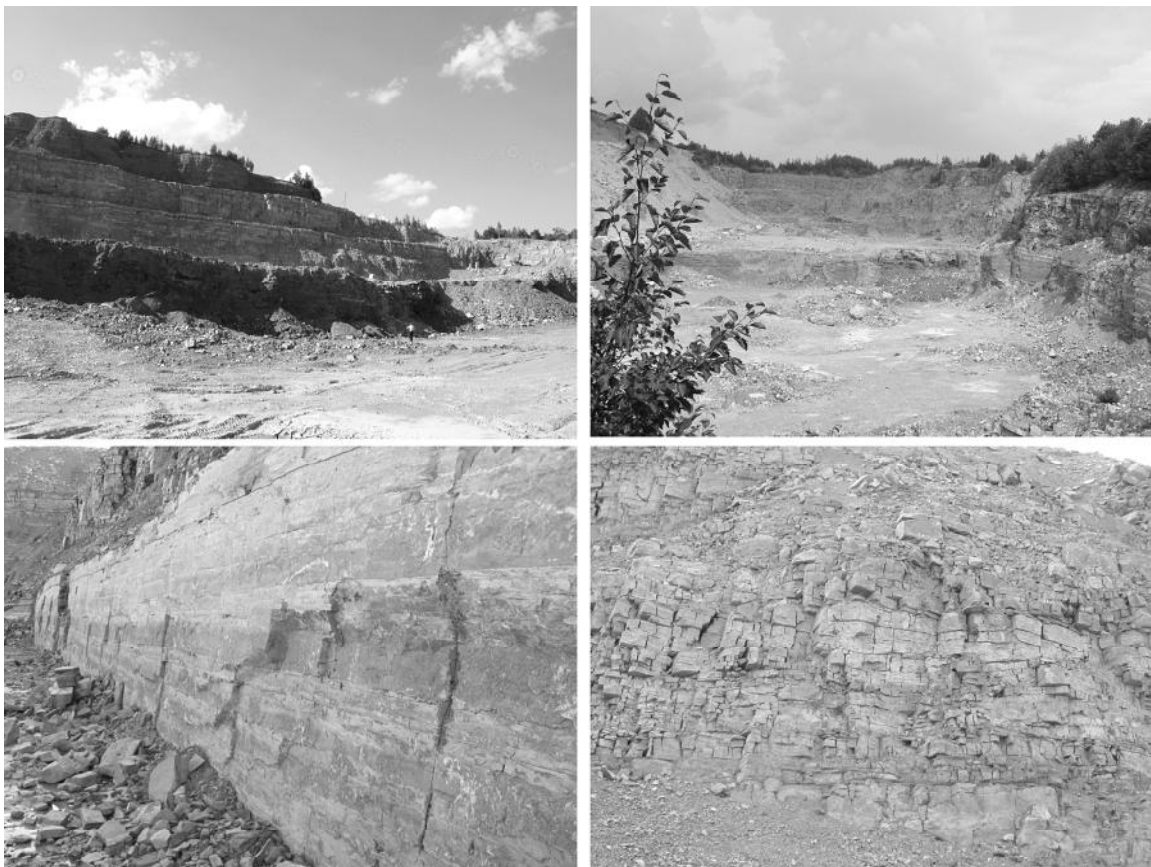


Рис. 1. Кар'єри з видобування каменю на околицях с. Пасічна

Максимець, Бистриця, Климпуші. Об'єктом дослідження обрано флішеву товщу вздовж долини р. Бистриця Надвірнянська. Були досліджені природні (у берегах названої ріки) та штучні (кар'єри з видобування каменю (рис. 1), виїмки в новозбудованих дорогах) відслонення.

Предметом дослідження в долині р. Бистриця Надвірнянська, яка перетинає Скибовий покрив у скибах Зелем'янки, Парашки, Орівській та Береговій (у напрямку з південного заходу на північний схід), були мезоструктури – тріщини та дзеркала ковзання у породах флішевої формації.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Про наявність розривних порушень в Українських Карпатах відомо давно, оскільки цей регіон є об'єктом дослідження понад два століття. Вже перші дослідники вказували на важливість вивчення розривних порушень

різних масштабів (насамперед тріщин) при геологічному зніманні, пошуках корисних копалин, особливо нафти, газу й озокериту, при дослідженні колекторів, шляхів міграції вуглеводнів. Вивчались закономірності розвитку систем тріщинуватості (від мікро- до регіональних), зв'язок систем тріщин з літологією. Досліджувались геологічні та фізико-хімічні умови утворення систем тріщин у Карпатському регіоні, роль тріщин в утворенні колекторів, взаємозв'язки між пластовими, локальними і регіональними системами тріщин та їх змін з геологічним часом та глибиною. Було доведено, що роль тріщин при формуванні колекторів може бути як позитивною, так і негативною. З того часу опубліковано багато робіт про значення тріщинуватості у нафтогазовій геології [5–7]. Варто виокремити також працю А. Chalubinska [8]. Це була перша публікація, в якій продемонстровано систематичне вивчення тріщин у платформній частині заходу України для цілей тектоніки.

Було показано, що у складних у тектонічному відношенні районах тріщиноутворення пов'язане із регіональними полями напружень, і тому вивчення тріщин може бути ключовим інструментом у відтворенні геодинамічних процесів. Деякі автори вважають, що тріщиноутворення в основному передують утворенню розломів [16, 17] та складкоутворенню [9]. Інші підтримують думку, що систематичне утворення тріщин у складчасто-насувних поясах відбувається після основних тектонічних подій [13] і що тріщини можуть бути використані для відтворення полів палеонапружень лише при певних умовах. Є й такі дослідники, які прийшли до висновку, що тріщини можуть виникати перед, під час та після складкоутворення [12]. Нещодавно в межах Карпатського регіону ця гіпотеза була підтверджена і було показано, що тріщини можуть використовуватись як індикатори палеонапружень в регіональному плані [18].

Сучасні тектонофізичні дослідження розривних порушень в Українських Карпатах розпочались в 90-х роках минулого століття [1]. При їх проведенні використовували у комплексі два методи: структурно-парагенетичний (дослідження тріщинуватості) та кінематичний (дослідження дзеркал ковзання).

Інші сучасні дослідження тріщинуватості (розривних порушень) були проведені в долині р. Опір. Тут, крім реконструкції осей напружень, здійснювалось статистичне опрацювання тріщин [19], що є додатковим критерієм про час їх утворення. Великий комплекс тектонофізичних досліджень на території Українських Карпат (а також Криму, Українського щита) було виконано та описано у монографії проф. О. Б. Гінтова у 2005 р. [3]. Зв'язок тріщинуватості з геоморфологічними особливостями флішевої товщі в Скибовому покриві Українських Карпат у межиріччі Опір – Орява показано у роботі [2].

### **Методи проведених робіт**

Тектонофізичні дослідження дозволяють визначити параметри регіональних полів тектонічних і планетарних напружень на різних етапах деформації гірського масиву, тобто встановити деформаційні режими, кінематичні характеристики переміщених

блоків, типи розломів, положення досліджуваної ділянки щодо осі обертання Землі в різній геологічний час.

При аналізі тріщинуватості застосовувався структурно-парагенетичний метод, а при вивченні дзеркал ковзання – кінематичний [3, 4].

Структурно-парагенетичний метод базується на вивченні тріщин, які сформувалися одночасно або послідовно в ході єдиного деформаційного процесу та утворюють кілька типів парагенезисів [3, 4]. У роботі застосовувалася модель деформації I-II рівнів глибинності, а інтерпретація результатів замірів тріщинуватості виконувалася на основі відомих принципів виділення парагенетично пов'язаних тріщин [3, 4].

Усі досліджувані тріщини були поділені на три групи. Перша група – сполучені катетальні (нормальноносні) тріщини, що є перпендикулярними до залягання пластів, утворюються після седиментації, але перед складкоутворенням. Вони несуть інформацію про планетарну тріщинуватість та тріщинуватість, яка пов'язана з найдавнішим полем тектонічних напружень. Ці тріщини є гладкими, їх називають сколовими, або сколами Ріделя R та R' [3, 4], кут між ними становить 50–70°. Значна частина парагенетично пов'язаних сколів субперпендикулярні один до одного (85–90°). Це L- та L'-сколи, які субпаралельні площинам максимальних дотичних напружень. Вони виникають в тій же фазі деформації після сколів Ріделя тоді, коли подальша розрядка напружень за допомогою сколів Ріделя стає неможливою. Сколи мають скінченну довжину, яка залежить від властивостей матеріалу та розподілу напружень, і через те безкінечне зміщення по них неможливе. Сколи Ріделя є основними, широко поширеними розривами, їх легко визначити в полі по ромбічному (рис. 2) або паралелепіпедному рисунку. Друга група тріщин – субвертикальні в похилих пластах, є наймолодшими. Тому поля напружень, визначені за ними, відносяться до наймолодших. Третя група тріщин – косі, які належать до невизначеного класу і вважаються зіскладчастими.

Опрацювання даних проводилось у програмі StereoNett (v 2.46); автором є Ж. Дайстер (Інститут геології університету м. Бохум, Німеччина). Ця програма дозво-

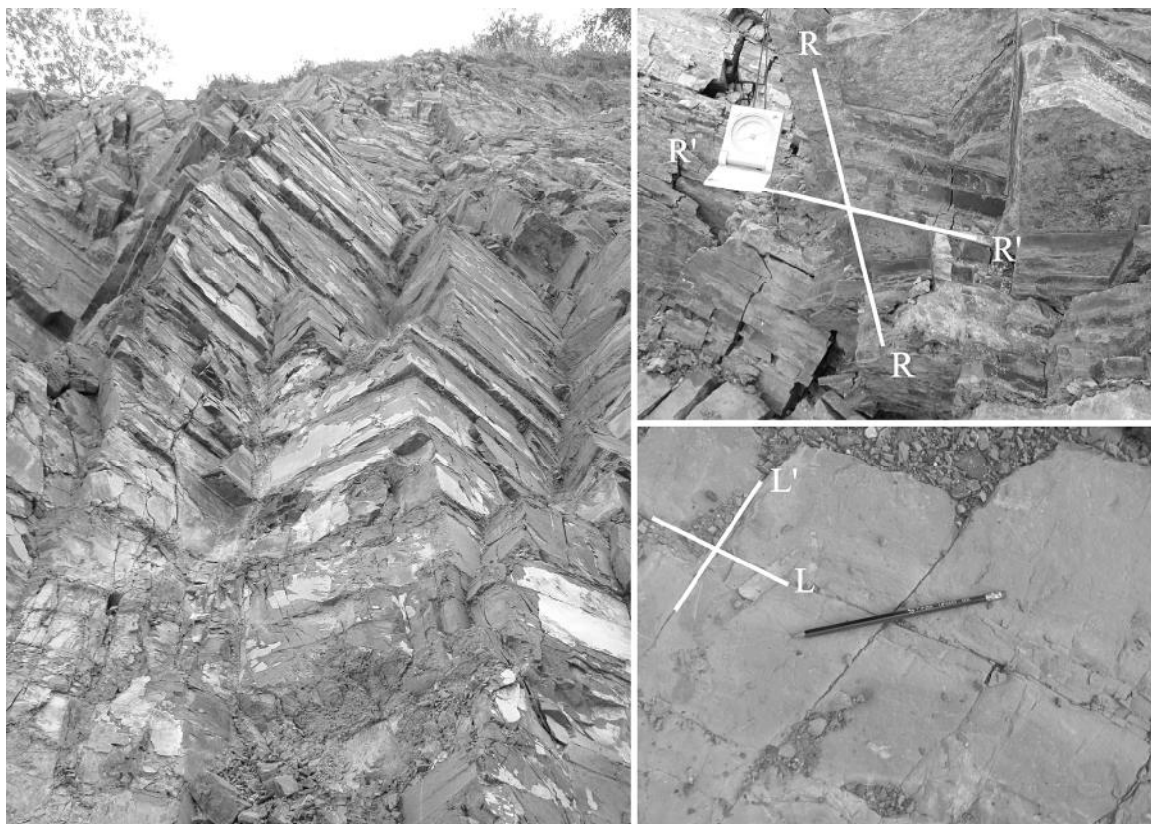


Рис. 2. Сполучені тріщини у пласті пісковика у еоценових відкладах

ляє опрацьовувати просторові дані на сітці Вульфа (нижня або верхня півсфера), будувати контурні діаграми, за допомогою яких визначаються напрямки головних осей напружень. Обрання цієї програми для опрацювання тектонофізичних даних викликано тим, що з її допомогою можна швидко перевести початкові значення елементів залягання тріщин, що були заміряні безпосередньо у відслоненнях при сучасному заляганні товщ, до значень, які відповідають первинному (горизонтальному) заляганню пласта, що дозволяє виділяти катетальні тріщини, а також косі та субвертикальні (у сучасному заляганні).

Вивчення дзеркал ковзання проводилося з використанням кінематичного методу. Хоча кількість їх менша, ніж тріщин, проте без дослідження дзеркал ковзання неможливо дати вичерпну інформацію про еволюцію полів напружень території. Застосування кінематичного методу для дзеркал ковзання є більш трудомістким, аніж вивчення тріщинуватості. Крім того, він дозволяє визначити більше кінематичних параметрів,

зокрема коефіцієнт відношення величин головних напружень  $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ , який використовується для характеристики типу напруженого стану.

Дзеркала ковзання утворюються під час інтенсивних тектонічних рухів; вони несуть важливу інформацію про характер переміщення (рис. 3, 4).

Аналіз дзеркал ковзання проводився за допомогою програми Win-Tensor (v 1.4.8) [11]. Програма дозволяє визначити найоптимальніше значення головних осей  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , їх стереографічні координати на сітці Вульфа та коефіцієнт  $R$ .

### Результати дослідження та їх обґрунтування

Всього було виконано 1060 замірів елементів залягання тріщин у породах палеогену (від  $P_{1jm}$  до  $P_{3vr}$ ) і вивчено 95 дзеркал ковзання у відкладах середнього палеогену. Нижче подана геологічна карта з нанесеними місцями дослідження тріщин та дзеркал ковзання (рис. 5).

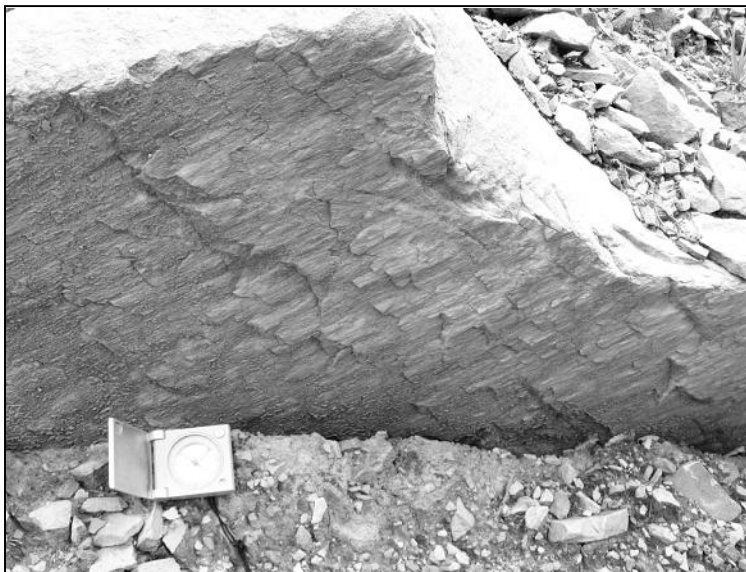


Рис. 3. Дзеркало ковзання у кар'єрі біля дороги

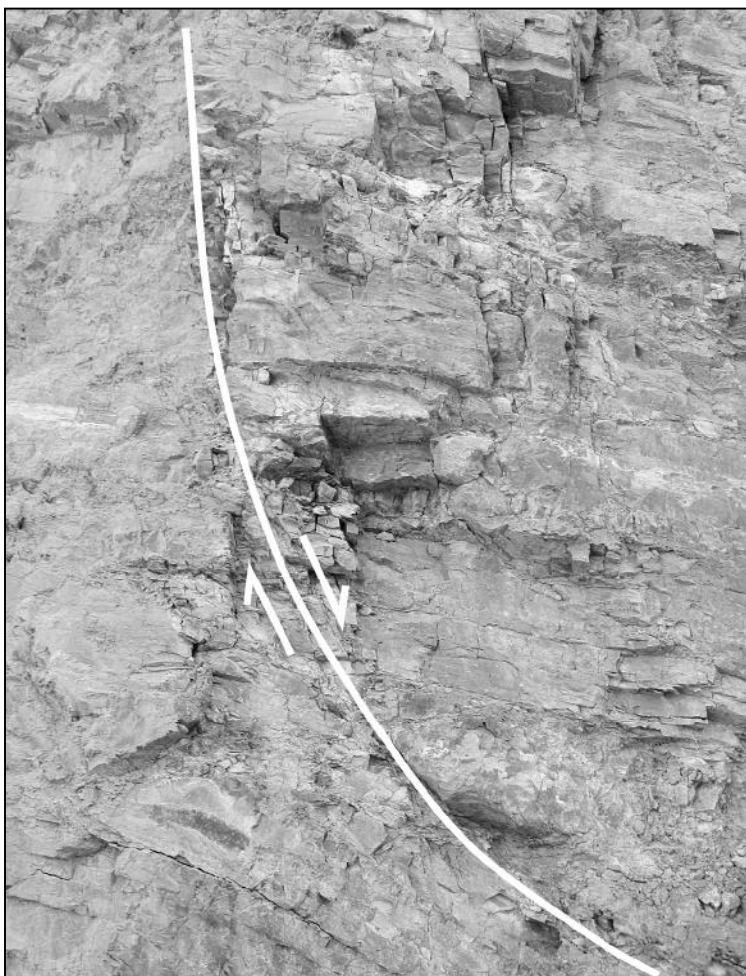


Рис. 4. Дзеркало ковзання (скидовий кінематичний тип) у стінці кар'єру

Поля напружень, виявлені кінематичним методом. За дослідженнями дзеркал ковзання було визначено чотири поля напружень.

1. Поле зсувного типу з орієнтацією осі стиснення суб-меридіонального напрямку (рис. 6, а). Таке поле виявлено у чотирьох відслоненнях. У ньому утворилося близько 40% дзеркал ковзання. Вісь  $\sigma_1 = 180/10$ ,  $\sigma_3 = 270/5$ . У цьому полі реалізовані зсувні рухи по діагональних, крутопадаючих системах розривів. По крутопадаючих розривах карпатського простягання розвинуті праві зсуви, а по сколах вхрест простягання – ліві.

2. Поле підкидового типу з  $\sigma_1 = 55/12$ ,  $\sigma_3 = 325/75$  (рис. 6, б). Це поле виявлено у трьох відслоненнях. До нього відноситься близько 30% усіх дзеркал ковзання. У цьому полі зафіксовані насуви, підкиди та зсуви. Насуви відбуваються по пологих північно-західних площинах з падінням на південний захід. Ці розриви збігаються з розломами карпатського напрямку. Також трапляються підкиди та насуви по структурах меридіонального та північно-західного напрямків, ліві і праві зсуви по крутопадаючих діагональних системах північний захід – північний схід.

3. Поле зсувного типу з  $\sigma_1 = 304/5$ , яка орієнтована паралельно простягання карпатських структур (рис. 6, в), та  $\sigma_3 = 214/10$ . Стиснення перпендикулярне до загальнокарпатського напрямку. Це поле виявлено у двох відслоненнях, йому відповідає 20% усіх дзеркал ковзання.

4. Поле скидового типу загальнокарпатського напрямку (рис. 6, г) з  $\sigma_1 = 135/85$ ,  $\sigma_3 =$

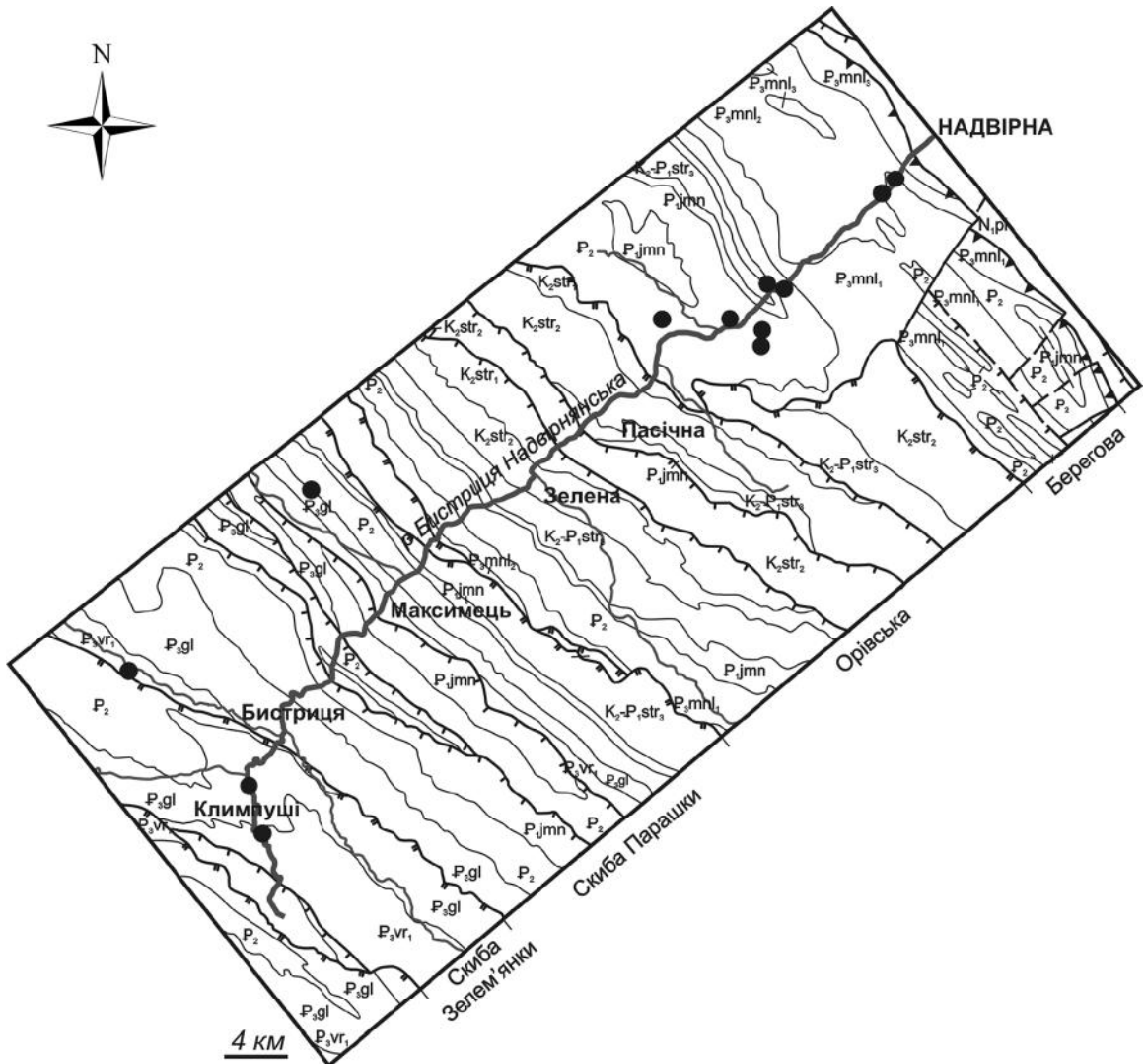


Рис. 5. Геологічна карта (В. В. Кузовенко, В. Є. Шлапінський, 2007) з нанесеними місцями дослідження тріщин та дзеркал ковзання (показано кружечками)

= 45/8. Це поле виявлено у двох відслоненнях. На нього припадає 10% усіх досліджуваних дзеркал ковзання. У цьому полі утворилися скидові кінематичні типи з південно-західною крутою – 70–90° та північно-східною похилою – 40–50° орієнтаціями зміщувачів.

Поля напружень, виявлені за структурно-парагенетичним методом. Визначення полів напружень проводилося за двома групами тріщин: катетальними (перпендикулярними до нашарування) та субвертикальними.

За першою групою тріщин, яких близько 70%, визначено давні поля напружень у

досліджуваному регіоні, що існували в процесі седиментації, до етапу складкоутворення. Середні значення осей  $\sigma_1 = 220/10$ ,  $\sigma_3 = 130/8$  (рис. 6, д). Це поле напружень поширено по всьому розрізу. У відкладах середнього та верхнього палеогену є поле напружень з субширотною орієнтацією осі стиснення ( $\sigma_1 = 270/0$ ,  $\sigma_3 = 00/5$ ; рис. 6, д).

За другою групою тріщин (майже 15%) встановлено три поля з субгоризонтальним положенням осей головних нормальних напружень:  $\sigma_1 = 225/8$ ,  $\sigma_3 = 135/4$  (домінуюче поле);  $\sigma_1 = 05/00$ ,  $\sigma_3 = 275/00$ ;  $\sigma_1 = 95/3$ ,  $\sigma_3 = 185/0$  (рис. 6, е). Решта 30% заміряних тріщин не були досліджені.

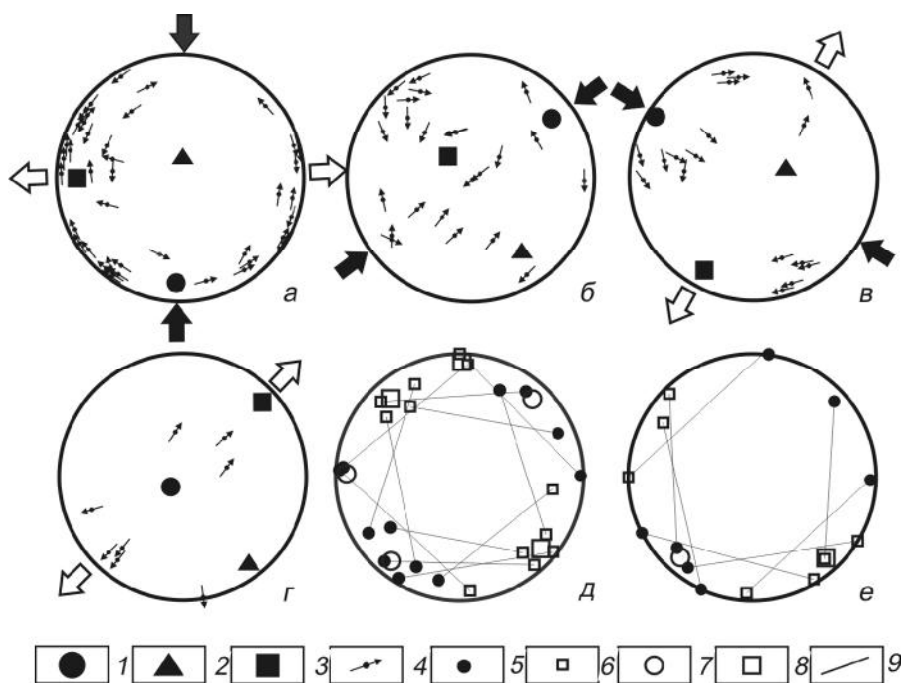


Рис. 6. Результати інтерпретації даних за кінематичним та структурно-парагенетичним методами

*a–г:* 1 – вісь максимального стиснення  $\sigma_1$ , 2 – проміжна вісь  $\sigma_2$ , 3 – вісь максимального розтягання  $\sigma_3$ , 4 – вектори переміщень; *д, е:* 5 – вісь стиснення  $\sigma_1$ , 6 – вісь розтягання  $\sigma_3$ ; середні значення: 7 – осі стиснення  $\sigma_1$ , 8 – осі розтягання  $\sigma_3$ ; 9 – лінії, які з'єднують осі одного поля

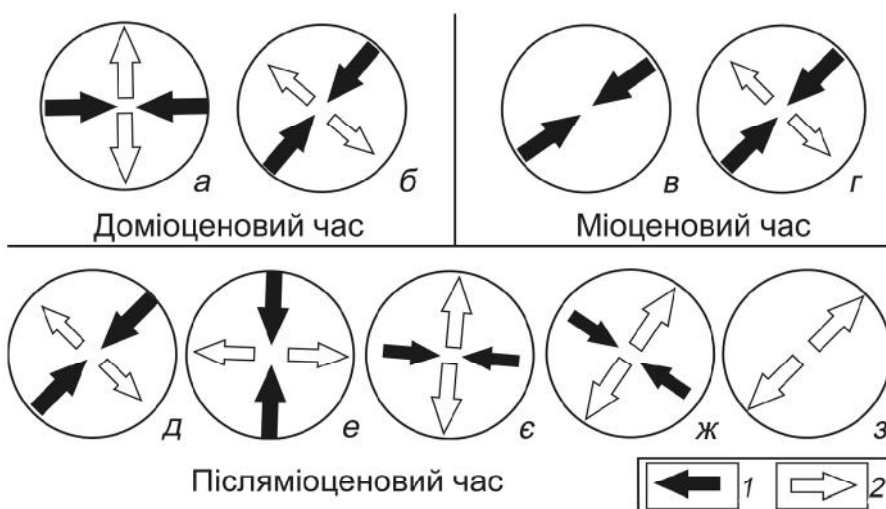


Рис. 7. Поля напружень, визначені за комплексним методом дослідження тріщин та дзеркал ковзання у доміоценовий (*a, б*), міоценовий (*в, г*) та післяміоценовий (*д–з*) часи у басейні р. Бистриця Надвірнянська (напрямки осей: 1 – максимального стиснення  $\sigma_1$ , 2 – максимального розтягання  $\sigma_3$ )



## Висновки

Результати проведених тектонофізичних досліджень дали змогу визначити регіональні поля тектонічних і планетарних напружень на різних етапах деформації гірських масивів, а також деформаційні режими, кінематичні характеристики переміщення ділянок цих масивів. Вивчення тріщин структурно-парагенетичним методом, дзеркал ковзання кінематичним методом та їх комплексний аналіз дозволяє встановити напрямки тектонічного стиснення, яке призвело до формування певної системи тріщин та давніх дзеркал ковзання, визначити, чи в однакових полях напружень вони утворилися.

За результатами комплексного дослідження мезоструктур (тріщин, дзеркал ковзання) та з урахуванням віку пластів, відносного віку тріщин та дзеркал ковзання, геологічних даних про тектонічні рухи було виокремлено поля напружень і виділено їх у доміоценовий, міоценовий та післяміоценовий часи (рис. 7).

*Доміоценовий час.* За дослідженням катетальних тріщин було встановлено два поля палеонапружень, що існували у цей час. Перше поле (рис. 7, а) з орієнтацією осей  $\sigma_1 = 270/0$ ,  $\sigma_3 = 00/5$  (полярне розтягування) відображає планетарну тріщинуватість, а друге поле (рис. 7, б) з  $\sigma_1 = 220/10$ ,  $\sigma_3 = 130/08$  – початок загальнокарпатського стиснення в кінці палеогену.

*Міоценовий час.* Домінуючим полем напружень у досліджуваному районі у цей час є стиснення північно-східного – південно-західного напрямків, що відображає складчасто-насувний етап Карпатського регіону. Таке поле встановлено в усіх точках спостереження за допомогою кінематичного ( $\sigma_1 = 055/12$ ,  $\sigma_3 = 325/75$ ; рис. 7, в) та структурно-парагенетичного методів ( $\sigma_1 = 045/04$ ,  $\sigma_3 = 315/10$ ; рис. 7, г).

*Післяміоценовий час.* За допомогою комплексного аналізу тріщин та дзеркал ковзання було встановлено, що після процесу складкоутворення у цьому регіоні існувало п'ять полів напружень. Перше домінуюче поле з осями  $\sigma_1 = 225/8$ ,  $\sigma_3 = 135/4$  (рис. 7, д) відображає загальнокарпатське стиснення, яке продовжувалося в послабленій формі після складчасто-насувного процесу. Друге

поле з осями  $\sigma_1 = 180/10$ ,  $\sigma_3 = 270/05$  (рис. 7, е) свідчить про правозсувний деформацийний режим. Це поле зумовило правозсувні переміщення по розривах, паралельних простяганню Українських Карпат, та лівозсувні – по поперечних. Третє поле напружень з орієнтацією осей  $\sigma_1 = 095/03$ ,  $\sigma_3 = 185/00$  (рис. 7, е). Четверте поле – зсувне поле з осями  $\sigma_1 = 304/05$ ,  $\sigma_3 = 214/10$  (рис. 7, ж). П'яте поле – скидове поле з осями  $\sigma_1 = 135/85$ ,  $\sigma_3 = 045/08$ . Воно є наймолодшим серед усіх полів, визначених кінематичним методом (рис. 7, з)

Таким чином, отримані результати дають уявлення про характер та зміну полів напружень, їх головних осей у досліджуваному регіоні перед, під час та після процесу складко- та насувоутворення Українських Карпат.

1. Аронский А. А., Беличенко П. В., Гинтов О. Б., Муровская А. В. Кинематические параметры деформирования верхних горизонтов земной коры Украинских Карпат в миоцен-плейстоценовую эпоху (по тектонофизическим данным) // Геофиз. журн. – 1995. – Т. 17, № 3. – С. 58–68; № 5. – С. 11–19; № 6. – С. 43–57.
2. Бубняк І. М., Бубняк А. М., Віхоть Ю. М., Спільник Р. Б. Тріщинуватість гірських порід флішового комплексу Українських Карпат у межиріччі Опору та Оряви, її тектонічне значення // Геодинаміка. – 2007. – № 1 (6). – С. 16–19.
3. Гинтов О. Б. Полевая геотектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. – Киев: Феникс, 2005. – 572 с.
4. Гинтов О. Б., Исай В. М. Методы морфокинематического анализа разломов // Геофиз. журн. – 1986. – Т. 8, № 1. – С. 53–61.
5. Копистянський Р. С. Значення тріщинуватості порід у формуванні нафтових родовищ Радянських Карпат. – К.: Вид-во АН УРСР, 1959. – 74 с.
6. Копистянський Р. С. Проблема тріщинуватості порід у нафтовій геології. – К.: Наук. думка, 1968. – 158 с.
7. Копыстьянский Р. С. Трещиноватость горных пород и ее значение в нефтегазовой геологии. – Киев: Наук. думка, 1978. – 214 с.
8. Chalubinska A. O spekanju skal na Podolu // Przegl. Geogr. – 1928. – Z. 10. – S. 5–32.
9. Cook A. C., Jonson K. R. Early joint formation in sediments // Geol. Mag. – 1970. – Vol. 107. – P. 361–368.



