

УДК 551.245 (477.8)

Ю. М. ВІХОТЬ

Кафедра фізики Землі, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005, тел. +38(032)2394142, ел. пошта: yuvik@ukr.net

СТАТИСТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА АНАЛІЗ ТЕКТОНІЧНОЇ ТРІЩИНУВАТОСТІ КРЕЙДОВО-НЕОГЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Мета. Показати особливості та закономірності розподілу і згрупування даних про орієнтацію понад 8 тис. тектонічних тріщин у флішових і моласових відкладах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів за деякими статистичними параметрами (K , C); проаналізувати переважаючі системи тріщин, співвідношення їхніх кутів падіння тощо. Встановити взаємозв'язок між статистичними особливостями тріщин та віком порід, тектонічною позицією, геологічною історією розвитку Українських Карпат. **Методика.** Підрахунок статистичних параметрів для даних про орієнтації тектонічних тріщин здійснено на основі методу співвідношення власних значень (*eigenvalue ratio method*) Н. Вудкока. **Результати.** На ділянках Скибового та Бориславсько-Покутського покривів визначено два статистичні параметри для тектонічних тріщин: C (*strength parameter*), який вказує на ступінь згрупування орієнтацій тріщин навколо певного напрямку, та K (*shape parameter*), що відображає форму розподілу елементів залягання тріщин на стереограмах – у вигляді груп (кластерів) або дуг. Проаналізовані елементи залягання (азимут простягання, азимут падіння та кути падіння) тріщин з більш ніж 150 точок спостережень у руслах і берегах річок Рибник та Опір (басейн р. Стрий), Сукіль, Бистриці Надвірнянської, Прута, а також у кар'єрах та відслоненнях на околицях населених пунктів Болехова, Долини, Надвірної. За допомогою програм Stereo 32 (K. Röller, C. Trepmann) та Fabric 8.0 (E. Wallbrecher) побудовано розидіаграми, гістограми кутів падіння, стереограми полюсів у ізолініях елементів залягання тріщин, діаграми Вудкока. **Наукова новизна.** Визначені системи, що переважають, співвідношення перпендикулярних та косих до напластування тріщин, ступінь їхнього згрупування і розподіл у флішових і моласових формаціях характеризують тектонічні режими у межах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів. Молодші тріщини здебільшого мають дуговий розподіл ($0 \leq K < 1$), тоді як давніші – як дуговий, так і кластерний ($0 \leq K < \infty$). Усі заміряні тектонічні тріщини утворюють шість головних систем. Вперше встановлено взаємозв'язок між віком, літологічними особливостями порід, виявленими статистичними і кількісними параметрами тріщин у різних тектонічних одиницях (скибах, покривах) та змінами напружено-деформованого стану упродовж геологічної історії формування Українських Карпат. Низький ступінь згрупування та дуговий розподіл тріщин свідчать про безперервний процес утворення різних їхніх парагенезисів у товщах гірських порід у кінці осадонакопичення нижньокрейдових порід і протягом усього кайнозойського часу. **Практична значущість.** Низькі значення статистичних параметрів C , K тріщин вказують на складний напружено-деформований стан досліджуваної території та підтверджують зміну полів палеонапружень, ротацію осей максимального стиснення і розтягнення (σ_1 , σ_3), визначених за тектонофізичними дослідженнями, протягом складчасто-насувного процесу в Українських Карпатах. Результати, отримані методом співвідношення власних значень, необхідно враховувати під час реконструкції полів палеонапружень структурно-парагенетичним методом як спосіб контролю за виділенням одновікової групи парагенезисів тектонічних тріщин, що сформувалися в однорідному деформаційному режимі.

Ключові слова: Українські Карпати; тріщинуватість; метод співвідношення власних значень; діаграми Вудкока; кластерний та дуговий розподіл; системи тріщин.

Мета

Упродовж останніх десятиліть різні групи дослідників на території Західних Польських, Східних – Українських і Румунських, Південних Карпат та Панонського басейну проводили структурні та тектонофізичні дослідження для вирішення низки питань з геодинамічного розвитку для Карпато-Панонського регіону, і загалом для всієї частини АЛЬКАПИ (Альпи, Карпати, Панонія), Тисії, Дакії та прилеглих територій [Roure et al., 1993; Fodor et al., 1999; Cloetingh et

al., 2006; Гинтов и др., 2011, 2013; Seghedi, Downes, 2011; Seghedi et al., 2011; Pánek et al., 2011; Tiliță et al., 2013; Gałała et al., 2013; Bubniak et al., 2013 та ін.]. Невід'ємною частиною таких досліджень є реконструкція полів палеонапружень, деформаційних режимів та аналіз напружено-деформованого стану під час етапів формування складчасто-насувного поясу на основі детального вивчення парагенезисів тектонічних тріщин на добре відслонених ділянках Карпатського регіону [Zuchiewicz et al., 1997; Ludwiniak, 2010; Vojtko et al., 2010, 2011a, 2011b;

Гинтов и др., 2011, 2013; Mastella et al., 2012; Świerczewska et al., 2012; Кріль, 2013] з використанням різних модифікацій структурно-парагенетичного методу [Гинтов, 2005].

Попередні роботи, що стосувалися статистичного аналізу тріщинуватості в різновікових комплексах на окремих територіях Українських та Польських Карпат та на інших ділянках [Zuchiewicz et al., 1997; Zuchiewicz, 1997; Whitaker, Engelder, 2005], а також під час різноманітних інженерно-геологічних, седиментологічних, палеомагнітних та інших досліджень, вказали на важливість такого аналізу під час різнобічного вивчення тектонічних тріщин.

Оскільки орієнтації тектонічних тріщин фіксують напрями максимального стиснення та контролюються полями напружень, у яких вони виникають [Pollard, Segall, 1987; Whitaker, Engelder, 2005 та ін.], то постало питання: що ж можуть додатково внести результати статистичного аналізу різновікової тріщинуватості порід під час опрацювання та інтерпретації результатів тектонофізичних досліджень структурно-парагенетичним методом в Українських Карпатах.

Відомо, що під час аналізу результатів тектонофізичних досліджень виникають деякі труднощі, пов'язані з неоднозначністю встановлення абсолютного віку тектонічних тріщин. Проте структурно-парагенетичний метод та використання низки характерних польових тектонофізичних ознак на відслоненнях [Гинтов, 2005; Гинтов и др., 2011] дають змогу встановити послідовність утворення різних парагенезисів тріщин у флішових комплексах гірських порід, час їхнього формування тощо.

Мета статті – встановити взаємозв'язок між виявленими статистичними і кількісними особливостями тріщин та віком порід, літологією, тектонічною позицією, геологічною історією формування орогену Українських Карпат, а також показати необхідність використання результатів статистичного аналізу під час реконструкції полів палеонапружень структурно-парагенетичним методом. Для цього необхідно виявити особливості згрупування та розподілу тектонічних тріщин у різновікових осадових флішових та моласових відкладах на ділянках у межах північно-західної та центральної частин Скибового і Бориславсько-Покутського покривів за деякими статистичними параметрами C , K на основі методу співвідношення власних значень Вудкока; проаналізувати дані про орієнтації площин (азимутів та кутів падіння) понад восьми тисяч тектонічних тріщин та визначити їхні кількісні характеристики – системи, що переважають, співвідношення кутів падіння тощо.

Методика

Визначення розподілу та згрупування даних про орієнтації тектонічних тріщин здійснено за

допомогою методу співвідношення власних значень (*eigenvalue ratio method*), що розробив Н. Вудкок [Woodcock, 1977]. Основи цього методу, застосування у різних галузях геології та способи аналітичного вирішення розробляли багато дослідників [Fara and Scheidegger, 1963; Loudon, 1964; Watson, 1966; Mardia, 1972; Woodcock, 1977; Wallbrecher et al., 1996 та ін.].

Аналіз даних про орієнтацію тріщин згідно з цим методом ґрунтується на підрахунку власних векторів (*eigenvectors*) – v_1 , v_2 , v_3 , що характеризують ортонормовані вектори тензора напруження [Woodcock, 1977; Wallbrecher et al., 1996]. Вектор v_3 показує середній напрям, тоді як вектор v_1 пов'язаний з найбільшим значенням моменту інерції та позначає положення полюса дуги, найближчого до усіх даних про орієнтації тріщин. Вектор v_2 є перпендикулярним до двох інших – v_1 та v_3 . Власним векторам (v_1 , v_2 , v_3) відповідають їхні власні значення (*eigenvalues*) – λ_1 , λ_2 , λ_3 . Сума власних значень λ_1 , λ_2 , λ_3 має властивість: $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = N$, де N – кількість точок спостережень.

Проте частіше використовують нормовані власні значення (*normalized eigenvalues*) – S_1 , S_2 , S_3 , що обчислюють за формулою: $S_j = \lambda_j/N$. Сума нормованих власних значень дорівнює одиниці: $S_1 + S_2 + S_3 = 1$. Певне кількісне співвідношення нормованих власних значень відповідає різному ступеню згрупування проаналізованих даних навколо відповідних власних векторів.

Найкраще статистичні особливості даних про просторову орієнтацію площин тектонічних тріщин відображають два параметри – C і K . Параметр C (*strength parameter*) визначає ступінь згрупування даних про орієнтацію тріщин навколо певного напрямку та виражається рівнянням: $C = \ln(S_1/S_3)$, де S_1 , S_2 , S_3 – нормовані власні значення, що відповідають важливій умові: $S_1 \leq S_2 \leq S_3$. Інший параметр K (*shape parameter*) визначає форму розподілу даних про орієнтацію тріщин (елементів залягання) на стереограмах: у формі груп (кластерів) або дуг. Величина K визначається за формулою: $K = \ln(S_3/S_2) : \ln(S_2/S_1)$.

Графічне відображення співвідношення цих двох параметрів виконане у вигляді двовісної логарифмічної діаграми Вудкока (рис. 1) з абсцисою $\ln(S_2/S_1)$ та ординатою $\ln(S_3/S_2)$ [Woodcock, 1977].

Параметр K визначає форму згрупування тріщин: якщо $1 < K < \infty$, розподіл тріщин має вигляд кластерів, а якщо $0 \leq K < 1$ – вигляд дуг. Відповідно до цього виділено кластерний (*cluster distribution*) та дуговий (*girdle distribution*) розподіли. Межею між двома розподілами є лінія, що відповідає значенню $K = 1$. Збільшення значення параметра C вказує на підвищення ступеня згрупування тріщин навколо одного (за кластерного розподілу) або декількох (у разі дугового розподілу) напрямків.

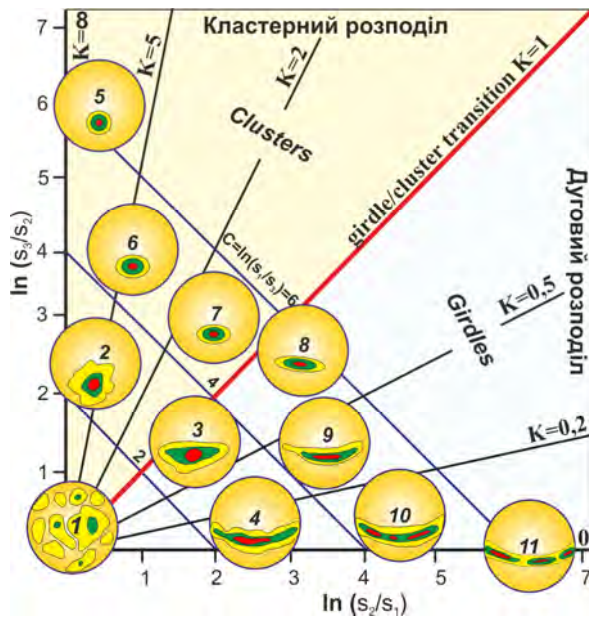


Рис. 1. Логарифмічна діаграма Вудкока з типовими формами структури даних у різних її частинах (1–11) [Woodcock, 1977]
Fig. 1. Logarithmic Woodcock diagram with typical fabric shape of data in different parts of the graph (1–11) [Woodcock, 1977]

У роботах [Woodcock, 1977; Wallbrecher et al., 1996] виділяють головні та перехідні еліпсоїди напружень залежно від їхньої форми та значень параметрів C , K (див. 1–11 на рис. 1). Тріщини, що згруповані навколо одного напрямку і належать до кластерного розподілу, утворилися у близьких умовах напружено-деформованого стану, відображають однаковий деформаційний режим та майже однорідне незмінне поле напружень. Натомість тріщини, що утворюють на діаграмах Вудкока дуги (або кілька кластерів), тобто згруповані у вигляді кількох напрямків, що переважають, свідчать, навпаки, про неоднорідність напружено-деформованого стану та деформаційних режимів і вказують на активні тектонічні рухи і, відповідно, наявність декількох полів зі зміною осей головних максимальних напружень (σ_1 , σ_2 , σ_3) протягом певного етапу геологічної історії розвитку території. Графічне представлення у вигляді діаграм Вудкока здійснено за допомогою програми Fabric 8.0 Е. Вальбрехера [Wallbrecher et al., 1996].

Результати

Статистичні особливості даних про орієнтацію тектонічних тріщин визначено для різновікових флішових і моласових комплексів у відслоненнях долин рік, що розташовані у межах північно-західної та центральної частин Скибового і Бориславсько-Покутського покривів: Рибник та Опір (басейн р. Стрий), Сукіль, Бистриці Надвірнянської та Прута, а також у кар'єрах і на відслоненнях, розташованих біля міст Болехів, Долина, Надвірна.

У кожному відслоненні кількість замірів орієнтації площин тріщин становила від 20 до 100. Загальна кількість даних – близько 8 000, а кількість точок спостережень – 150. Загалом використано азимуту та кути падіння тектонічних тріщин у палеоцен (стрийська $K_2-P_1str_3$ та ямненська P_{1jm} світи), еоценових (нерозчленований P_2), олігоценових (головецька P_{3gl} , верховинська P_{3vg} та менлітова P_{3mnl} світи) та у неогенових відкладах, що заміряні під час тектонофізичних досліджень (рис. 2) для аналізу напружено-деформованого стану Карпат, результати яких наведено у працях [Zuchiewicz et al., 1997; Віхоть, Бубняк, 2011; Віхоть та ін., 2011; Гинтов и др., 2011; Бубняк, Віхоть, 2013].

В однорікових відкладах на кожній ділянці у точках спостережень у межах восьми скиб (Берегової, Орівської, Сколівської, Парашки, Мальманстальської, Зелем'янки, Рожанки, Славської) визначено ступінь згрупування C та форму розподілу K елементів залягання тріщин на стереограмах. Результати зі статистичними параметрами для усіх тектонічних тріщин у межах двох покривів показано на діаграмі Вудкока (рис. 3).

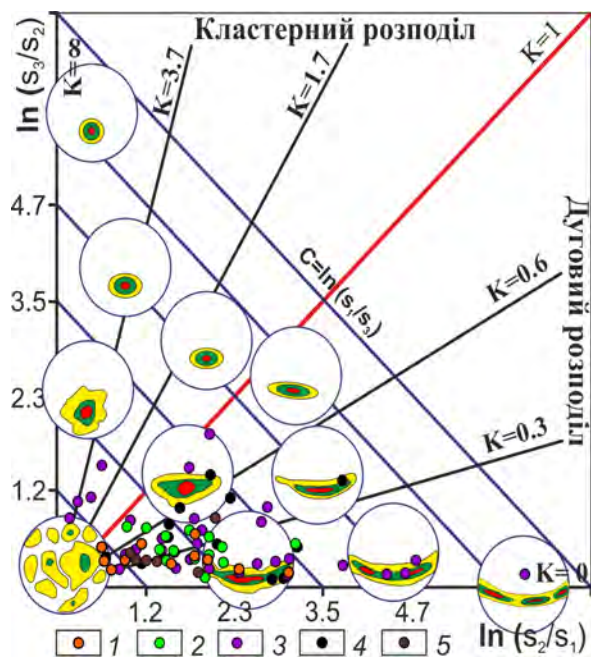


Рис. 3. Діаграма Вудкока для тріщин у різновікових відкладах на відслоненнях у Скибовому (1–4) покриві в долинах рік: 1 – Стрий; 2 – Опір і її притоки Кобилець та Ягистів; 3 – Сукіль; 4 – Бистриця Надвірнянська; та у Бориславсько-Покутському (5) покриві

Fig. 3. Woodcock diagram for joints from different ages deposits in outcrops of the Skyba (1–4) nappe in river valleys: 1 – Stryy River; 2 – Opir River and its effluents Kobilets and Yahystiv; 3 – Sukil River; 4 – Bystrytsya Nadvirnianska River; and Boryslav-Pokuttya (5) nappe

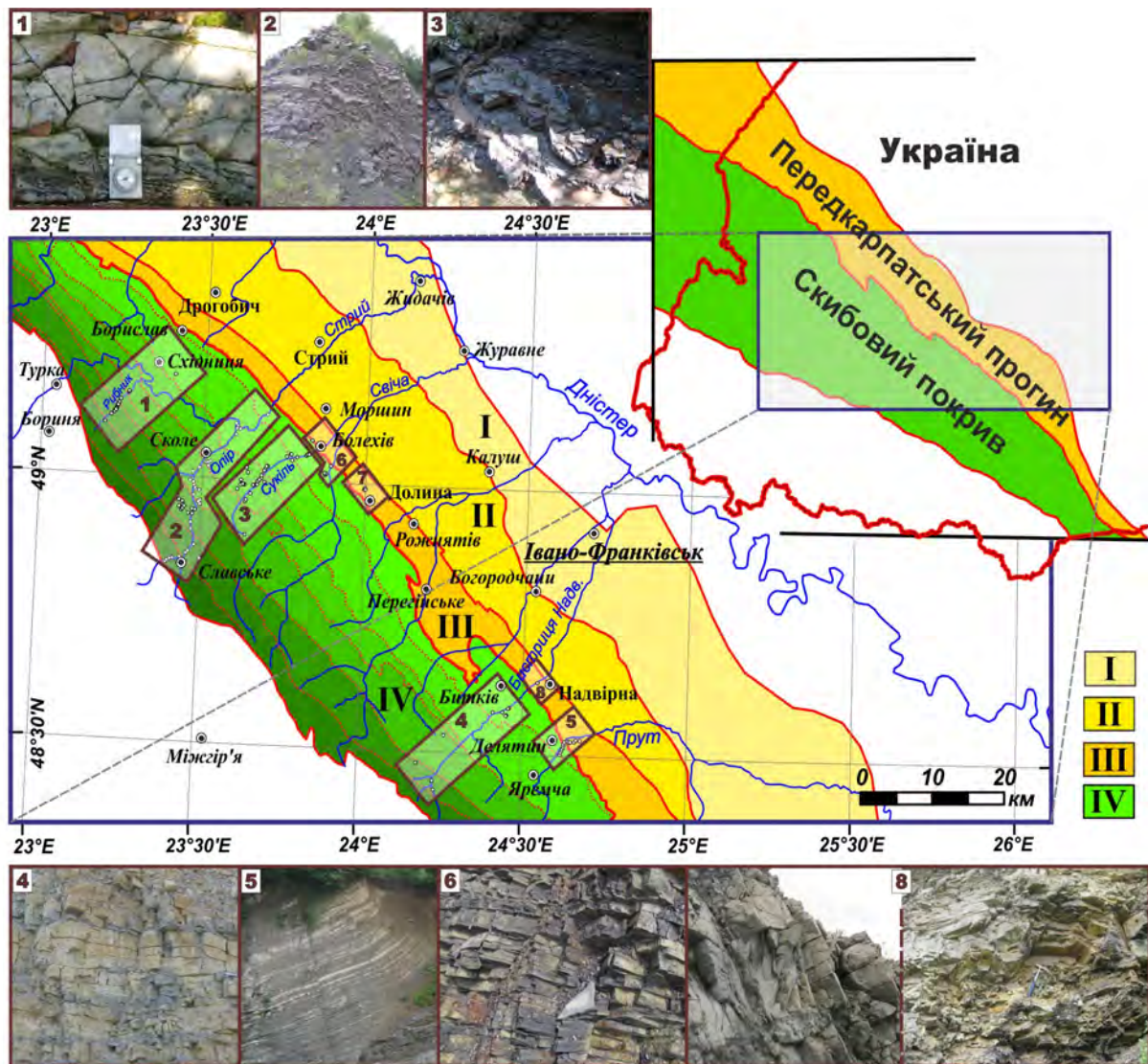


Рис. 2. Фрагмент тектонічної схеми (Шлапінський В.Є., 2012) Українських Карпат: Передкарпатський прогин (I–III): I – Більче-Волицька зона, II – Самбірський покрив, III – Бориславсько-Покутський покрив; та IV – Скибовий покрив з районами тектонофізичних досліджень (долини рік: 1 – р. Рибник; 2 – р. Опір; 3 – р. Сукіль, 4 – р. Бистриця Надвірнянська, 5 – р. Прут; відслонень на околицях населених пунктів: 6 – Болехів; 7 – Долина; 8 – Надвірна) та з фотографіями тріщин з деяких відслонень

Fig. 2. Fragment of the tectonic scheme (Shlapinsky V.E., 2012) of the Ukrainian Carpathians: (Carpathian foredeep (I–III): I – Bilsche-Volytsya zone, II – Sambir nappe, III – Boryslav-Pokuttya nappe; and IV – Skyba nappe) with areas of the tectonophysical research (rivers valleys: 1 – Rybnyk River, 2 – Opir River, 3 – Sukil River, 4 – Bystrytsya Nadvirnianska River, 5 – Prut River; and outcrops near the settlements of: 6 – Bolekhiv, 7 – Dolya, 8 – Nadvirna) and joints photos of some outcrops

Крім статистичних параметрів, для кожної ділянки побудовано рози-діаграми за азимутами простягання, гістограми для кутів падіння тріщин та стереограми полюсів у ізолініях їхніх елементів залягання за допомогою програми К. Руллера та К. Трепманн – Stereo 32 (рис. 4).

Статистичні особливості та аналіз тріщин у долині ріки Рибник (басейн р. Стрий). Статистичні параметри визначено для 450 тріщин у верхньокрейдово-олігоценічних породах та у чотирьох скибах: Орівській, Парашки, Мальманстальській, Зелем'янки (див. рис. 3). Ступінь згрупування C тріщин змінюється у межах від 0,96

до 3,24, а параметр K – від 0,06 до 0,80 (кластерний розподіл). Максимальні значення параметра C зафіксовано у відкладах двох світ – у верховинській скибі Парашки (3,24) та у головецькій скибі Зелем'янки (2,59). Стерограма полюсів в ізолініях відображає три максимуми, у яких міститься переважна більшість тріщин (рис. 4, а).

Роза-діаграма тріщинуватості (рис. 4, б) демонструє декілька переважних систем: тріщини, перпендикулярні до напластування здебільшого північно-східного простягання, а косі, що переважають (57%), – північно-західного (рис. 4, в).

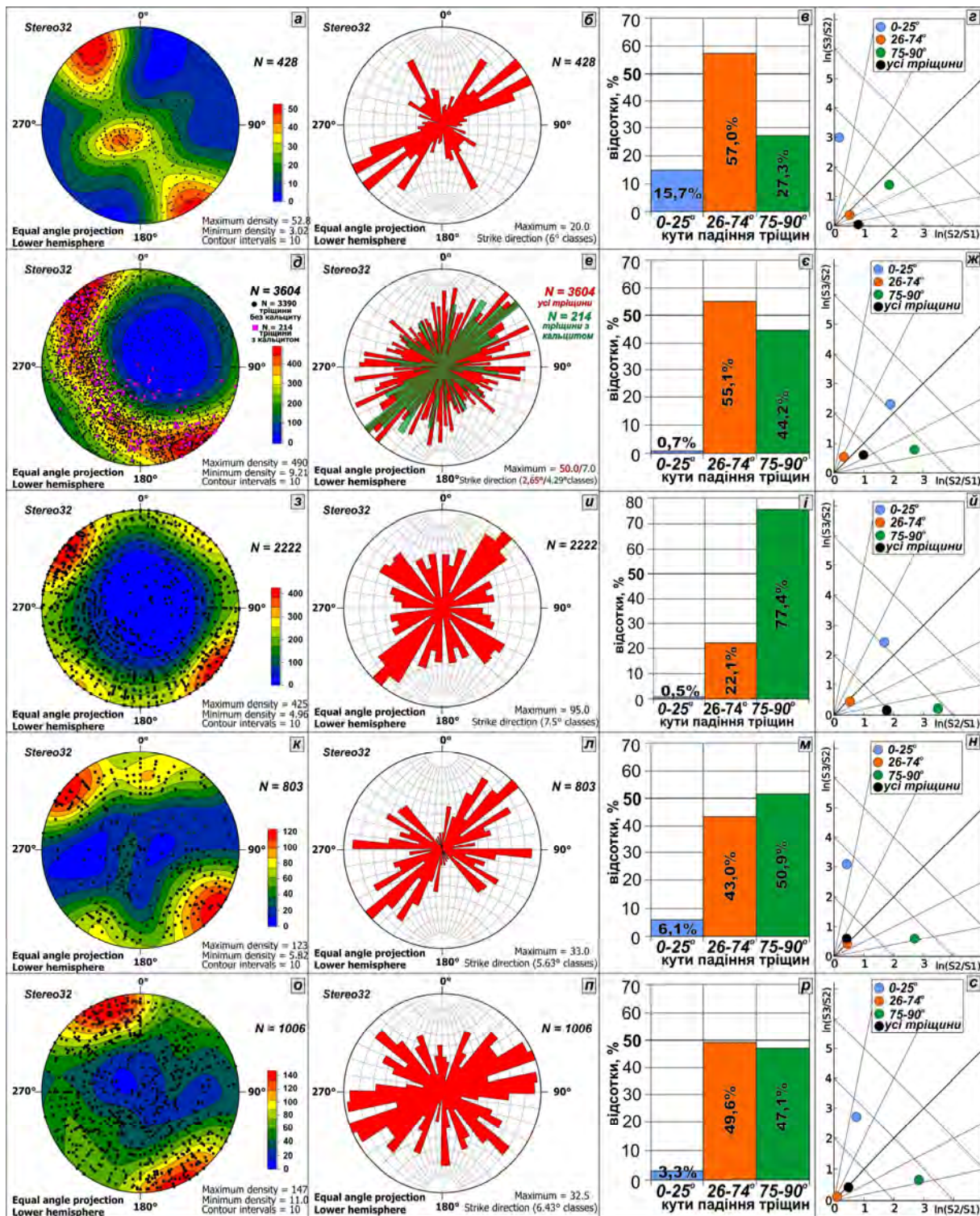


Рис. 4. Стереограми полюсів у ізолініях:

(стовпчик I), рози-діаграми азимутів простягання на сітці Вульфа (стовпчик II), гістограми кутів падіння (стовпчик III) та діаграми Вудкока за кутами падіння тріщин (стовпчик IV) у різновікових відкладах на відслоненнях у Скибовому (а-г) покриві в долинах рік: Рибник (а-г); Опір та її приток Кобилець, Ягистів (д-ж); Сукіль (з-й), Биcтpиця Надвiрнянська (к-н); та у Бориславсько-Покутському (о-с) покриві

Fig. 4. Stereograms of poles in isolines:

(column I), rose-diagrams of strike direction on the Wulff net (column II), histograms of dip angle of joints (column III) and Woodcock diagrams with dip angle (column IV) from different ages deposits in outcrops of the Skyba (a-g) nappe in river valleys: Rybnik River (a-g); Opir River and its effluents Kobilets and Yahystiv (d-j); Sukil River (z-й), Bystritsya Nadvirmianska River (k-n); and Boryslav-Pokuttya (o-c) nappe

Статистичні особливості та аналіз тріщин у долині ріки Опір. Заміри площин тріщин (близько 4 000) виконано у 40 точках спостережень у долині р. Опір та її лівих приток – струмків Кобилець та Ягистів, у межах шести скиб: Орівської, Сколівської, Парашки, Зелем'янки, Рожанки, Славської. Параметр C змінюється від 1,65 до 3,65, а K – від 0,07 до 0,76 (див. рис. 3). Найвищий ступінь згрупування тріщин, як і на попередньому перетині, у верховинській світі, але у Славській скибі (3,65), а найгірший – у еоценових породах, головецькій та менілітовій світах. Порівняно з попередньою ділянкою кількість перпендикулярних тріщин збільшується і становить (44,2 %), тоді як косих – 55,1 % (рис. 4, *ε*). Кальцитові мінерали, в основному, заповнюють системи тріщин пн-сх–пд-зх простягання, що є як перпендикулярними, так і косими до напластування (рис. 4, *ε*).

Статистичні особливості та аналіз тріщин у долині ріки Сукіль. У крейдово-палеогенових відкладах вздовж долини р. Сукіль заміряно понад 2 тис. тріщин. Район досліджень перетинає Скибовий покрив у межах трьох скиб: Орівської, Сколівської, Парашки. У відкладах долини р. Сукіль ступінь згрупування тріщин C змінюється від 1,04 (ямненська світа) до 6,30 (еоценові відклади, Сколівська скиба). На відміну від попередніх ділянок досліджень, тут тріщини мають розподіл у вигляді як кластерів, так і дуг (K – 0,03–4,96). Проте у тріщин, що мають кластерний розподіл (еоценові породи, стрийська та ямненська світи), низький ступінь згрупування (див. рис. 3). З рози-діаграми (рис. 4, *и*) чітко видно, що тріщини утворюють шість головних систем, найвиразнішими є дві із них: перша має простягання – 40–220, а друга – 135–315. Співвідношення тріщин істотно відрізняється – переважають перпендикулярні (77,4 %), тоді як косі становлять лише 22,1% (рис. 4, *з, і*).

Статистичні особливості та аналіз тріщинуватості у долині ріки Бистриця Надвірнянська. Заміри тріщинуватості здійснено у палеогенових відкладах у долині р. Бистриця Надвірнянська та у кар'єрах. Загальна кількість замірених тріщин у цьому районі досліджень – близько 800. З тектонічного погляду заміри тріщин охопили три скиби Скибового покриву – Берегову, скиби Парашки та Зелем'янки. Аналіз діаграми Вудкока (див. рис. 3) показав, що ступінь згрупування C змінюється від 1,02 (головецька світа, скиба Парашки) до 5,05 (еоценові відклади, Берегова скиба). Значення параметра K у цьому районі досліджень коливається від 0,02 (еоценові відклади) до 0,68 (менілітова світа). Роза-діаграма (рис. 4, *л*) демонструє переважні системи тріщин на цьому перетині. Співвідношення тріщин за кутами падіння, як бачимо з діаграм (рис. 4, *к, м*), майже однакове: перпендикулярних – 50,9 %, а косих – 43,0 %.

Статистичні особливості та аналіз тріщин у Бориславсько-Покутському покриві. Заміри тріщин здійснено переважно у долині ріки Прут, а також у кар'єрах та на відслоненнях, розташованих біля міст Болехів, Долина, Надвірна. Загальна кількість досліджених тріщин – близько 1 тис. Заміри виконано у неогенових відкладах: воротисенських, стебницьких, добротівських. Діаграма Вудкока (див. рис. 3) демонструє, що статистичні параметри низькі. Параметр C змінюється у межах від 1,33 до 2,90, а параметр K – від 0,08 до 0,41. Усі тріщини мають розподіл у формі дуг. Найкращий ступінь згрупування тріщин у стебницьких відкладах (C – 2,90; K – 0,40). Стереодіаграма полюсів у ізолініях відображає два максимуми, у яких міститься переважна більшість усіх тектонічних тріщин у Бориславсько-Покутському покриві (рис. 4, *о*). Аналізуючи максимуми полюсів та розу-діаграму (рис. 4, *о, н*), виявили деяку особливість систем тріщин порівняно з іншими перетинами. Більшість перпендикулярних до напластування тектонічних тріщин мають майже субширотне зх-сх простягання, на відміну від пн-сх–пд-зх, що є у Скибовому покриві. Проте інші тріщини утворюють системи пд-сх–пн-зх простягання, які є у двох покривах. Кількість косих тріщин незначно переважає і становить 49,6 %, тоді як перпендикулярних – 47,1 % (рис. 4, *р*).

Наукова новизна

Діаграма Вудкока (рис. 3) вказує на те, що на відслоненнях у різних частинах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів у тих самих відкладах різних тектонічних одиниць ступінь згрупування та форми розподілу тектонічних тріщин відрізняються. Кожна досліджувана ділянка характеризується переважними системами (рис. 4), різними співвідношеннями перпендикулярних (76–90°), косих (26–74°) та субгоризонтальних (0–25°) до напластування тріщин, для яких визначено статистичні особливості (рис. 4, *г, ж, й, н, с*). З цих діаграм бачимо, що косі тріщини, які за [Гинтов и др., 2011] утворюються під час інтенсивного складчасто-насувного процесу, мають нижчі значення параметрів C , K порівняно з іншими групами тріщин, і вказують на зміну напружено-деформованого стану.

Для того, щоб виявити закономірність у зміні параметрів C , K в окремих різновікових комплексах порід (стрийській, ямненській, головецькій, верховинській, менілітовій світах, еоценових та неогенових породах) та у тектонічних одиницях (у скибах однойменного покриву та на ділянках Бориславсько-Покутського), використано діаграми Вудкока (рис. 5, 6) зі значеннями цих параметрів.

Зміна статистичних параметрів для тріщин у різновікових відкладах (рис. 5). У верхньокрейдково-палеоценових відкладах ступінь згрупування не перевищує значення 2,65.

У нерозчленованих еоценових породах цей параметр збільшується і досягає 6,30. А в олігоценових та неогенових відкладах він менший і становить відповідно 3,47–3,74 та 2,90. Натомість параметр K досягає максимальних значень (від 2,44 до 4,96; кластерний розподіл) у давніших породах – верхньокрейдових, палеоценових та еоценових. У молодших відкладах олігоценового та неогенового віку тріщини

мають дуговий розподіл – параметр K не перевищує значення 0,8.

Спостерігається деяка незначна, але помітна закономірність у розподілі тріщин. Давніші породи, що складаються з перешарування потужних товщ пісковиків, мають як дуговий, так і кластерний розподіли, а молодші, що складені, в основному, аргілітами з перешаруванням невеликих товщ пісковиків, мають тільки дуговий розподіл (див. рис. 5).

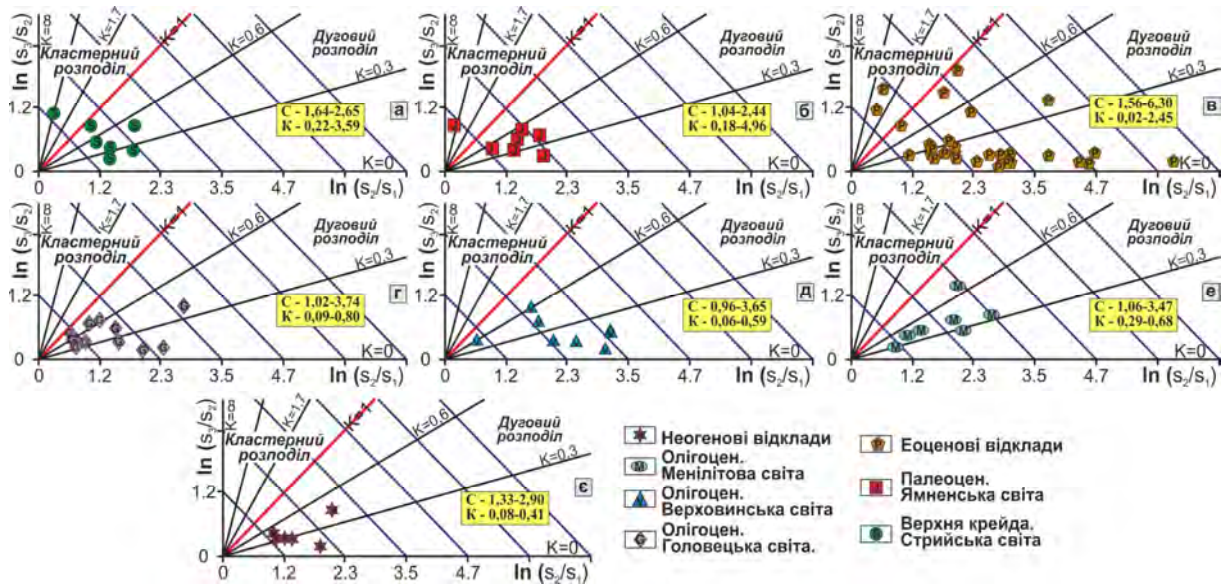


Рис. 5. Діаграми Вудкока для тріщин у крейдово-неогенових породах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів зі зміною статистичних параметрів C , K
Fig. 5. Woodcock diagram for joints in Cretaceous-Neogene rocks of Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes with the changes of statistical parameters C , K

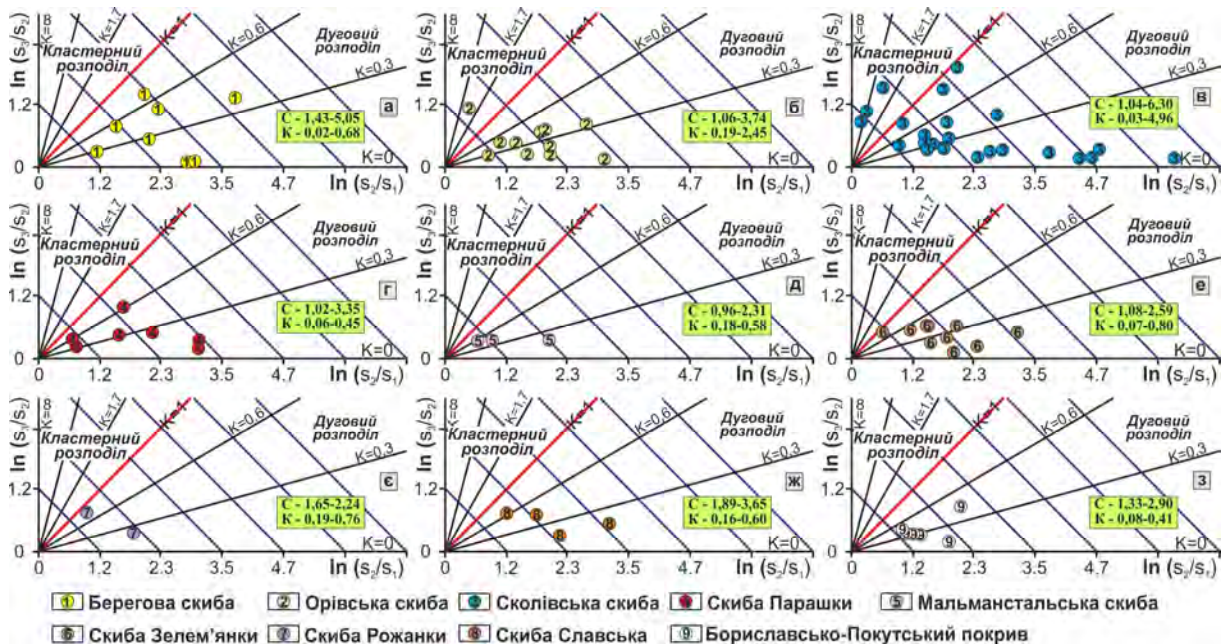


Рис. 6. Діаграми Вудкока для тріщин у різних тектонічних одиницях Скибового та Бориславсько-Покутського покривів зі зміною статистичних параметрів C , K
Fig. 6. Woodcock diagram for joints in different tectonic units of Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes with the change of the statistical parameters C , K

Більшість тріщин Скибового та Бориславсько-Покутського покриву мають дуговий розподіл. Причиною двох типів розподілів для тріщинуватості, найімовірніше, є відмінні літологічні особливості порід, складний змінений напружено-деформований стан території тощо.

Зміна статистичних параметрів для тріщин у різних тектонічних одиницях (скибах, покривах) (рис. 6). Максимальні значення (від 6,30 до 3,65) параметра C мають фронтальні та віддалені скиби: Сколівська, Берегова, Орівська, Славська, Парашки. Натомість у інших скибах (Зелем'янки, Мальманстальської, Рожанки) він не перевищує 2,59, а у Бориславсько-Покутському покриві – досягає 2,90. Виявлено деяку закономірність у зміні параметра C (за середніми значеннями) вздовж простягання Українських Карпат. У північно-західній частині Скибового покриву максимальний ступінь згрупування у відкладах віддалених скиб Парашки, Зелем'янки, а мінімальний – у Орівській. Натомість у центральній частині, навпаки, максимальний – у передових скибах (Береговій, Орівській, Сколівській), а мінімальний – у віддалених – Парашки, Зелем'янки.

Для порівняння отриманих результатів статистичного аналізу з подібними дослідженнями в інших частинах Карпат побудовано узагальнені діаграми Вудкока для усіх досліджених тріщин (рис. 7). У відкладах від верхньокрейдового до неогенового віку (рис. 7, а) тріщини мають майже однакові, до того ж низькі значення цих параметрів: C змінюється у межах від 0,81 до 0,87, а K – від 0,30 до 0,41. Найгірші значення у яменській (масивні пісковики) та менілітовій (переважно аргіліти) світах (рис. 7, а). Натомість у тектонічних одиницях Скибового та Бориславсько-Покутського покривів діапазон змін статистичних параметрів більший: C – 0,87–2,08; K – 0,08–0,62 (рис. 7 б). Максимальний ступінь згрупування C тріщин мають Сколівська та Славська скиби, відповідно 2,08 і 2,02, а мінімальний – Бориславсько-Покутський покрив (0,87), тоді як за параметром K : мінімальне значення (0,08) – у Сколівській та Парашки, а кластерний розподіл має лише Берегова скиба (2,26), хоча ступінь згрупування порівняно низький (0,98).

Результати статистичного аналізу добре узгоджуються з подібними дослідженнями на території Польських Західних та Українських Карпат [Zuchiewicz et al., 1997; Zuchiewicz, 1997]. Згідно з ними більшість тектонічних тріщин у різних породах та тектонічних одиницях Польських Західних Карпат мають низькі параметри C , K та дуговий розподіл.

Виявити однозначну чітку залежність між статистичними параметрами для тріщин на відслоненнях як за віком порід, літологією, так і за їхньою тектонічною позицією важко. Проте варто зауважити, що статистичні параметри для тріщин (рис. 7) відрізняються більше за тектонічною позицією, аніж за віком порід. Причинами цього може бути неоднакова їхня швидкість просування, зміна напружено-деформованого стану в окремих частинах скиб.

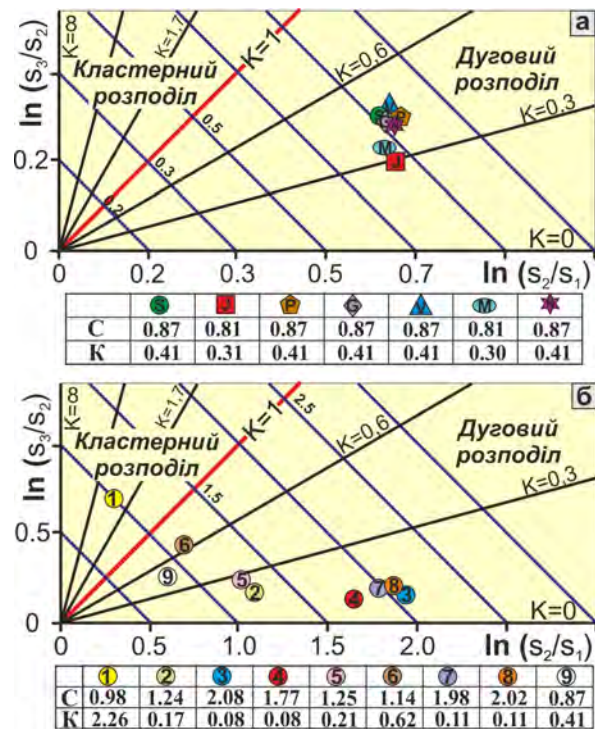


Рис. 7. Діаграми Вудкока із середніми значеннями статистичних параметрів C , K : для тріщин у різних світах (а) у скибах Скибового покриву та у Бориславсько-Покутському покриві (б) (пояснення до умовних позначень на рис. 5, 6)

Fig. 7. Woodcock diagrams with average values of the statistical parameters C , K : for the joints from different formations (a) in thrusts of Skyba nappe and in Boryslav-Pokuttya nappe (b) (explanation of the symbols in Fig. 5, 6)

Аналіз 8 тисяч тріщин дав змогу виявити системи та співвідношення різних груп тріщин у Скибовому та Бориславсько-Покутському покривах (рис. 8). Отримана роза-діаграма відображає шість систем, що переважають у двох покривах, які мають простягання: 1. 40–220; 2. 130–310; 3. 70–250; 4. 10–190; 5. 100–280; 6. 160–340 (рис. 8, б).

Варто звернути увагу на те, що дві системи тріщин – 40–220 та 130–310 дуже добре корелюють з напрямками основних розломів. Перша пн-сх–пд-зх система збігається з напрямком поперечних зсувних розломів в Українських Карпатах, і переважає. Крім того, вона також збігається з напрямками сучасних долин річок, що течуть перпендикулярно до простягання Українських Карпат (310–315). Друга система пн-зх–пд-сх напрямку збігається з головними поздовжніми (за простяганням Українських Карпат) розломами, по яких здебільшого відбувалися основні переміщення на північний схід.

За аналізом кутів падіння тріщин виявлено відсоткове співвідношення груп тріщин у різних частинах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів. Раніше в [Гинтов и др., 2011; Віхоть,

Бубняк, 2013 та ін.] показано, що, найімовірніше, більшість перпендикулярних до напластування тріщин формувалася на початку основного складчасто-насувного процесу. Решта тріщин виникають або під час, або вже після інтенсивних тектонічних процесів і супроводжують процеси максимальної компресії (стиснення) та тенсійні (розтягнення). Найбільшу кількість перпендикулярних до напластування тріщин виявлено у віддалених скибах (65,1%), натомість у фронтальній скибі кількість косих тріщин переважає (60,4%; рис. 8, в). Водночас у Бориславсько-Покутському покриві співвідношення перпендикулярних та кососічних тріщин майже однакове – 47,1% та 52,9%, проте незначно переважають останні (рис. 8, в).

Низькі статистичні параметри (рис. 7) свідчать, без сумніву, про безперервний процес формування тріщин в усіх комплексах порід, на що вказують їхні різні елементи залягання (рис. 8, а). Вони утворювались на усіх етапах розвитку Українських Карпат, а особливо під час та після складчасто-насувного процесу. Раніше у статтях [Гинтов и др., 2011; Віхоть, Бубняк, 2013 та ін.] підтверджено, що системи різновікових

тріщин різних деформаційних фаз проявляються по всій товщі порід.

Стереограми ізоліній з концентраціями осей стиснення σ_1 та розтягнення σ_3 (рис. 8, г) побудовано за допомогою програми Stereo32 на основі даних про орієнтації полів палеонапружень за [Гинтов и др., 2011]. Зіставляючи ці стереограми та розу-діаграму тріщин (рис. 8, б), встановили деякий взаємозв'язок. Виявлено декілька максимумів з концентраціями осей σ_1 , σ_3 (рис. 8, з). Максимальна концентрація осі σ_1 – 230/11, що відображає напрям максимального стиснення, а осі розтягнення σ_3 – 135/07 (рис. 8, з). Під час інтенсивного складчасто-насувного процесу, коли комплекси гірських порід просувалися на північний схід, то формувалися основні поздовжні (відносно Українських Карпат) розломи – система тріщин 2 (рис. 8, б). Просування порід спричинило утворення право- та лівосторонніх зсувів по майже вертикальних площинах – систему тріщин 1. Стереограма ізоліній та полюсів тріщин (рис. 8, а) вказує на те, що система 1 представлена тріщинами, здебільшого перпендикулярними до напластування, а система 2 – косими.

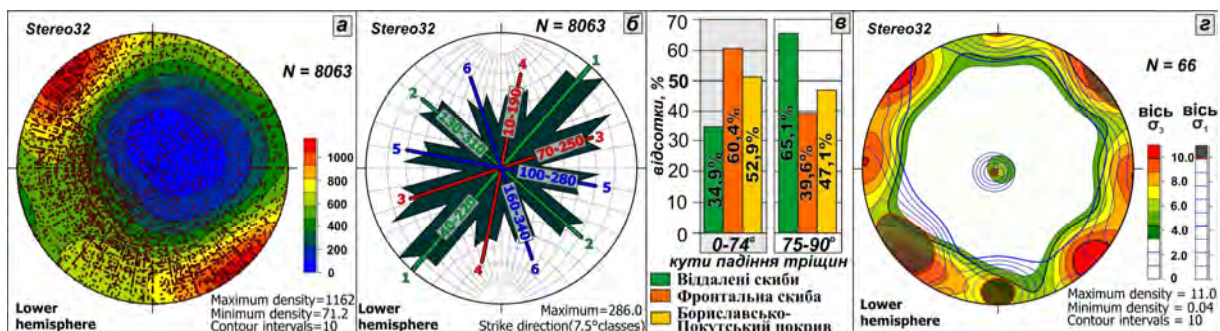


Рис. 8. Різні типи діаграм для тектонічних тріщин у Скибовому та Бориславсько-Покутському покривах:

стереограма ізоліній та полюсів тріщин (а); роза-діаграма азимутів простягання із системами тріщин (б); гістограми кутів падіння, що показують співвідношення кількості різних груп тріщин у скибах та у Бориславсько-Покутському покриві (в); стереограми ізоліній максимальних концентрацій осей стиснення σ_1 та розтягнення σ_3 (г) на основі даних про орієнтації полів напружень [Гинтов и др., 2011]

Fig. 8. Different type of diagrams of the tectonic joints from Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes:

stereogram of contours and poles of joints (a); rose-diagrams of strike direction and system of joints (b); histograms of dip angle with percent of different groups of joints in thrusts and in Boryslav-Pokuttya nappe (c); stereograms of isolines of maximum concentrations axes of compression σ_1 and extension σ_3 (g), based on the data of stress fields orientations [Gintov et al, 2011]

Вони демонструють, що протягом формування Українських Карпат напрями максимального стиснення та розтягнення змінювалися і проявлялися на ділянках Скибового та Бориславсько-Покутського покривів по-різному, про що свідчать відмінні статистичні параметри для тріщин.

Зміну деформаційних режимів, полів палеонапружень з осями стиснення та розтягнення, та утворення систем тріщин протягом крейдово-неогенового часу (альпійського складчастого етапу) у час, коли формувалися Українські Східні Карпати, підтверджують сучасні досягнення і

результати низки тектонофізичних досліджень у Карпатах [Vojtko et al., 2010; Mastella et al, 2012; Гинтов и др., 2011, 2013].

Практична значущість.

Висновки

1. На досліджуваних ділянках двох покривів статистичні параметри тектонічних тріщин – ступінь згрупування *C* та розподіл *K* – низькі й характеризуються деякими особливостями. Тектонічні тріщини у молодших відкладах переважно

мають розподіл у вигляді дуг ($0 \leq K < 1$). Натомість тріщини у давніших відкладах мають як дуговий, так і кластерний розподіли ($0 \leq K < \infty$). Погане згрупування та низькі статистичні параметри C , K свідчать про безперервний процес утворення різних груп тріщин у відкладах у кінці осадконакопичення нижньокрейдових порід і протягом усього кайнозойського етапу внаслідок зміни деформаційних режимів та орієнтацій осей максимального стиснення і розтягнення (σ_1 , σ_3), що підтверджують попередні тектонофізичні дослідження.

2. Помітна відмінність у розподілі та згрупованні тріщин у різновікових комплексах порід та тектонічних одиницях свідчить про те, що у різних частинах скиб Скибового та у Бориславсько-Покутському покриві протягом геологічної історії формування Українських Карпат напружено-деформований стан проявлявся по-різному. Основні зміни відбувалися під час активних тектонічних рухів вже в кінці олігоцену і пов'язані зі складчасто-насувними процесами в Українських Карпатах. Причинами таких розбіжностей є різна швидкість переміщення комплексів гірських порід у скибах та покривах, характер та масштаб (регіональний, локальний тощо) напружено-деформованого стану, зміна напрямів максимального стиснення та розтягнення на окремих ділянках, а також вік та літологічні особливості порід.

3. Узагальнена роза-діаграма тектонічних тріщин за азимутами простягання продемонструвала, що у межах Скибового та Бориславсько-Покутського покривів переважають шість систем тріщин (напрями за простяганням: 1. 40–220; 2. 130–310; 3. 70–250; 4. 10–190; 5. 100–280; 6. 160–340). За аналізом кутів падіння тріщин визначено відсоткове співвідношення різних груп (перпендикулярних і косих) тріщин у фронтальній та віддалених скибах Скибового та у Бориславсько-Покутському покриві.

4. Метод співвідношення власних значень N . Вудкока можна використовувати під час опрацювання результатів за структурно-парагенетичним методом, як додатковий спосіб контролю за наявністю чи відсутністю у групі тріщин однієї деформаційної фази інших генерацій різновікових тріщин, щоб запобігти неправильній інтерпретації результатів тектонофізичних досліджень.

Література

Бубняк І., Віхоть Ю. Тектонофізичні дослідження флішових відкладів скиби Зелем'янки в долинах струмків Кобилець та Ягистів // Праці НТШ : Геологічний збірник. – 2012. – Т. XXX. – С. 119–130.

Віхоть Ю., Бубняк І. Поля напружень у флішовій товщі скиб Орівської, Сколівської та Парашки (за дослідженнями у басейні ріки Сукіль) // Геодинаміка. – 2011. – № 1 (10). – С. 75–82.

Віхоть Ю., Бубняк І., Накапелюх М. Результати тектонофізичних досліджень флішової товщі

Скибового покриву Українських Карпат у долині р. Бистриця Надвірнянська // Геол. журн. – 2011. – № 2. – С. 72–80.

- Віхоть Ю., Бубняк І. Реконструкція кайнозойських полів напружень у флішових комплексах долини ріки Опір (Скибовий покрив, Українські Карпати) // Геодинаміка. – 2013. – № 1 (14). – С. 68–77.
- Гинтов О. Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. – Киев: Феникс, 2005. – 572 с.
- Гинтов О. Б., Бубняк И. Н., Віхоть Ю. М., Муровская А. В., Накапелюх М. В. Эволюция напряженно-деформированного состояния и динамика Скибового покрова Украинских Карпат // Геофиз. журн. – 2011. – Т. 33, № 5. – С. 17–34.
- Гинтов О. Б., Бубняк И. Н., Бубняк А. Н., Віхоть Ю. М., Мычак С. В., Накапелюх М. В. Напряженно-деформированное состояние и динамика аллохтонной части Предкарпатского прогиба в связи с нефтегазоносностью (по тектонофизическим данным) // Геофиз. журн. – 2013. – Т. 35, №1. – С. 75–87.
- Кріль С. Я., Бубняк І. М., Віхоть Ю. М., Ціхонь С. І. Особливості полів палеонапружень та тектонічної тріщинуватості у долині ріки Чорна Тиса (Поркулецький, Дуклянський покриви) // Вісник Львівського університету: Серія геологічна. – 2013. – Вип. 26. – С. 184–196.
- Шлапінський В. Є. Деякі питання тектоніки Українських Карпат // Праці НТШ: Геологічний збірник. – 2012. – Т. XXX. – С. 48–67.
- Bubniak I. M. The stress-and-strain state of the south-eastern part of the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes of the Ukrainian Carpathians / I. M. Bubniak, Yu. M. Vikhot, M. V. Nakapelyukh // Geodynamics & Tectonophysics. – 2013. – 4 (3). – P. 313–326.
- Cloetingh S., Bada G., Matenco L., Lankreijer A., Horvath F., Dinu C. Modes of basin (de)formation, lithospheric strength and vertical motions in the Pannonian-Carpathian system: inferences from thermo-mechanical modeling // Geological Society, London, Memoirs. – 2006. – 32. – P. 207–221.
- Fara H. D., Scheidegger A. E. An eigenvalue method for the statistical evaluation of fault plane solutions of earthquakes // Seismol. Soc. America: Bull. – 1963. – V. 53. – P. 6–811.
- Fodor L., Csontos L., Bada G., Györfi I., Benkovics L. Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data // The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geol. Soc. of London Spec. Publ. – The Geological Society, London. 1999. – Vol. 156. – P. 295–334.
- Gaḡala Ł., Vergé, J., Saura E., Malata T., Ringenbach J. C., Werner P., Krzywiec P. Architecture and orogenic evolution of the northeastern Outer Carpathians from cross-section balancing and forward modeling // Tectonophysics. – 2012. – Vol. 532. – P. 223–241.

- Loudon T. V. Computer analysis of orientation data in structural geology // *Geog. Br.: Tech. Rept.* – Northwestern Univ., 1964. – Vol. 13. – N. 1228 (26). – 129 p.
- Ludwiniak M. Multi-stage development of the joint network in the flysch rocks of western Podhale (Inner Western Carpathians, Poland) // *Acta Geologica Polonica.* – 2010. – Vol. 60, No. 2. – P. 283–316.
- Mardia K. V. Statistics of orientation data. – New York, Academic Press, 1972. – 357 p.
- Mastella L., Ludwiniak M., Klimkiewicz D. Budowa geologiczna doliny Białego Dunajca. // *Przegląd Geologiczny.* – 2012. – Vol. 60. – P. 496–505.
- Pánek T., Tábořík P., Klimeš J., Komárková V., Hradecký J., Šťastný M. Deep-seated gravitational slope deformations in the highest parts of the Czech Flysch Carpathians: evolutionary model based on kinematic analysis, electrical imaging and trenching // *Geomorphology.* – 2011. – Vol. 129. – No.1. – P. 92–112.
- Pollard D. D., Segall P. Theoretical displacements and stresses near fractures in rock: with applications to faults, joints, veins, dikes, and solution surfaces. In: *Fracture Mechanics of Rock: Academic Press, Orlando, FL.* – 1987. – P. 227–350.
- Roure F., Roca E., Sassi W. The Neogene evolution of the outer Carpathian flysch units (Poland, Ukraine and Romania): kinematics of a foreland/ fold-and-thrust belt system // *Sedimentary Geology.* – 1993. – Vol. 86. – P. 177–201.
- Seghedi I., Downes H. Geochemistry and tectonic development of Cenozoic magmatism in the Carpathian–Pannonian region // *Gondwana Research.* – 2011. – vol. 20. – P. 655–672.
- Seghedi I., Matenco L., Downes H., Mason P. R., Szakács A., & Pécskay Z. Tectonic significance of changes in post-subduction Pliocene–Quaternary magmatism in the south east part of the Carpathian–Pannonian Region // *Tectonophysics.* – 2011. – vol. 502(1). – P. 146–157.
- Świerczewska A., Tokarski A.K.T., Hurai V. H. Joints and mineral veins during structural evolution: case study from the Outer Carpathians (Poland) // *Geological Quarterly.* – 2013. – Vol. 44. – No. 3. – P. 333–340.
- Tiliță M., Matenco L., Dinu C., Ionescu L., Cloetingh S. Understanding the kinematic evolution and genesis of a back-arc continental “sag” basin: The Neogene evolution of the Transylvanian Basin // *Tectonophysics.* – 2013. – Vol. 602. – P. 237–258.
- Vojtko R., Tokárová E., Sliva L., Pešková I. Reconstruction of Cenozoic paleostress fields and revised tectonic history in the northern part of the Central Western Carpathians (the Spišská Magura and Východné Tatry Mountains) // *Geologica Carpathica.* – 2010. – Vol. 61, no. 3. – P. 211–225.
- Vojtko R., Beták J., Hók J., Marko F., Gajdoš V., Rozimant K., Mojzeš A. Pliocene to Quaternary tectonics in the Horná Nitra Depression (Western Carpathians) // *Geologica Carpathica.* – 2011a. – Vol. 62. – P. 381–393.
- Vojtko R., Marko F., Preusser F., Madarás J., Kováčová M. Late Quaternary fault activity in the Western Carpathians: evidence from the Vikartovce fault (Slovakia) // *Geologica Carpathica.* – 2011b. – Vol. 62. – P. 563–574.
- Wallbrecher E., Fritz H., Unzog W. Estimation of the shape factor of a paleostress ellipsoid by comparison with theoretical slickenline patterns and application of an eigenvalue method // *Tectonophysics.* – 1996. – Vol. 255. – P. 177–187.
- Watson G. S. The statistics of orientation data // *Jour. Geology.* – 1966. – V. 74. – P. 786–797.
- Whitaker A. E., Engelder T. Characterizing stress fields in the upper crust using joint orientation distributions // *Journal of Structural Geology.* – 2005. – Vol. 27(10). – P. 1778–1787.
- Woodcock N. H. Specification of fabric shapes using an eigenvalue method // *Geological Society of America Bulletin.* – 1977. – Vol. 88. – no. 9. – P. 1231–1236.
- Zuchiewicz W., Bubniak I., Rauch M. Wstępne wyniki badań nad spękaniami ciosowymi w jednostce skibowej (skolskiej) Karpat Ukrainkich // *Przegl. Geol.* – 1997. – Vol. 45. – N. 4. – S. 408–413.
- Zuchiewicz W. Rozkłady spękań ciosowych w płaszczowinie magurskiej polskich Karpat zewnętrznych w świetle analizy statystycznej // *Przegląd Geologiczny.* – Warszawa, 1997. – Vol. 45. – N. 6. – S. 634–638.

Ю. М. ВИХОТЬ

Кафедра физики Земли, Львовский национальный университет имени Ивана Франко, ул. Грушевского, 4, Львов, Украина, 79005, тел. +38(032)2394142, эл. почта: yuvik@ukr.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И АНАЛИЗ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МЕЛОВО-НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

Цель. Показать особенности и закономерности распределения, группирования данных ориентации более чем 8 тыс. тектонических трещин во флишевых и молассовых отложениях Скибового и Бориславско-Покутского покровов по некоторым статистическим параметрам (*K*, *C*); проанализировать преобладающие системы трещин, соотношение их углов падения. Установить взаимосвязь между статистическими особенностями трещин и возрастом пород, тектонической позицией, геологической историей развития Украинских Карпат. **Методика.** Определение статистических параметров по данным об ориентации тектонических трещин осуществлено с использованием метода соотношения собственных значений Н. Вудкока (*eigenvalue ratio method*). **Результаты.** На участках Скибового и Бориславско-

Покутського покровів визначені два статистичних параметра тектонічних трещин: C (*strength parameter*), який вказує на ступінь групування орієнтацій трещин навколо певного напрямку, і K (*shape parameter*), що відображає форму розподілу елементів залегання трещин на стереограмах – в формі груп (кластерів) або дуг. Проаналізовані елементи залегання (азимуты простирания, азимуты падения и углы падения) трещин в більш ніж 150 точках спостереження в руслах і берегах рек Рибник і Опор (басейн р. Стрий), Сукиль, Быстриці Надворнянської, Прута, а також в кар'єрах і обнаженнях на окраїнах населених пунктів Болехова, Долини, Надворної. З допомогою програм Stereo 32 (K. Rölller, C. Trepmann) і Fabric 8.0 (E. Wallbrecher) побудовані рози-діаграми, гістограми кутів падіння, стереограми полюсів в ізолініях елементів залегання трещин, діаграми Вудкока. **Научна новизна.** Визначені переважаючі системи, співвідношення перпендикулярних і косих к напластованню трещин, ступінь їх групування і розподілу в флішевих і моласових формаціях характеризують тектонічні режими в межах Скибового і Бориславсько-Покутського покровів. Більш молоді трещини, в основному, мають дугове розподілення ($0 \leq K < 1$), тоді як древні – як дугове, так і кластерне ($0 \leq K < \infty$). Всі вимірені тектонічні трещини утворюють шість головних систем. Вперше встановлено взаємозв'язок між віком, літологічними особливостями горних порід, статистичними і кількісними параметрами трещин в різних тектонічних одиницях (в покривах, скибах) і змінами напружено-деформованого стану на протязі геологічної історії формування Українських Карпат. Низька ступінь групування і дугове розподілення трещин свідчать про неперервний процес утворення різних їх парагенезисів в товщах горних порід в кінці осадконакоплення нижнемелових порід і в часі всього кайнозойського часу. **Практична значимість.** Низькі значення статистичних параметрів C , K трещин вказують на складне напружено-деформоване стан досліджуваної території, і підтверджують зміну полів палеонапружень, ротацію осей максимального стиснення і розтягнення (σ_1 , σ_3), визначених за тектонофізическими дослідженнями, в час складчато-надвигового процесу в Українських Карпатах. Результати, отримані методом співвідношення власних значень, необхідно враховувати при реконструкції полів палеонапружень структурно-парагенетическим методом як спосіб контролю виділення одновікової групи парагенезисів тектонічесеских трещин, сформованої в однорідному деформаційному режимі.

Ключевые слова: Українські Карпати; трещиноватість; метод співвідношення власних значень; діаграми Вудкока; кластерне і дугове розподілення; системи трещин.

Yu. M. VIKHOT

Department of Physics of the Earth, Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hryshevsky street, Lviv, Ukraine, 79005, tel. +38(032)2394142, e-mail: yuvik@ukr.net

STATISTICAL FEATURES AND ANALYSIS OF TECTONIC JOINTING FROM CRETACEOUS-NEOGENE DEPOSITS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Purpose. Statistical features and the distribution of the data orientation over 8 000 tectonic joints from flysch and molasses deposits of Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes with some statistical parameters (K , C) are demonstrated. The main system of joints and the ratio of dip angles are analyzed. Relationship between statistical features of joints, the age of rocks, the tectonic position and the geological history of the Ukrainian Carpathians are defined. **Methodology.** The statistical parameters for the data of the tectonic joints orientation were calculate with use the eigenvalue ratio method N. Woodcock. **Results.** Two statistical parameters for tectonic joints are determined in the areas of the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes: C (*strength parameter*), which indicates the degree of grouping of joints orientations data around the direction, and K (*shape parameter*), which shows the shape of the distribution of joints orientations data on the stereogram – cluster or girdle distributions. Analyzed joints orientation data (strike, dip direction and dip angle) from more than 150 points of observation in the streams and valleys of Rybnyk and Opir rivers (basin of Stry River), Sukil River, Bystrytsya Nadvirnianska River, Prut River, and from outcrops near the settlements of Bolekhiv, Dolyna, Nadvirna. Rose-diagrams, histograms of dip angle, stereograms of poles in isolines of joints orientations data, Woodcock diagrams were built with software Stereo 32 (K. Rölller, C. Trepmann) and Fabric 8.0 (E. Wallbrecher). **Originality.** The major systems, the ratio of perpendicular (to the stratum) and oblique joints of flysch and molasses deposits, the strength parameter and shape parameter characterize tectonic regimes of Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes. Younger joints have mainly girdle distribution ($0 \leq K < 1$), but older ones have girdle and cluster distributions ($0 \leq K < \infty$). All measured tectonic joints are formed six major systems. For the first time the correlation between age, lithological features of rocks, statistical and quantitative parameters of joints in different tectonic units (the nappe, thrusts) and the change of stress and strain state during geological history of the formation of the Ukrainian Carpathians have been determined. Low degree and the girdle distribution of joints indicate the uninterrupted process of different parageneses joints formation in deposits during the end of Upper Cretaceous to Cenozoic. **Practical significance.** Low values of the statistical parameters of joints (C , K)

indicate a complex stress and strain state of the study area and confirm the changes of stress fields, the rotation axis of maximum compression and tension (σ_1 , σ_3), determined by the tectonophysical research, during the fold-thrust process in the Ukrainian Carpathians. The results obtained by the eigenvalue ratio method can be used in the reconstruction of stress fields with structural-paragenetic method as a way to control for the dividing the even-aged group parageneses of the tectonic joints that formed in the homogeneous deformation regime.

Key words: Ukrainian Carpathians; jointing; eigenvalue ratio method; Woodcock diagrams; cluster and girdle distributions; system of joints.

REFERENCES

- Bubniak I., Vikhot Yu. Tektonofizychni doslidzhennya flishovykh vidkladiv skyby Zelem'yanky v dolynakh strumkiv Kobylets' ta Yahystiv [Tectonophysic research of flysch deposits of the thrust Zelemianky in the valleys of rivers Kobylets and Yagystiv]. Pratsi NTS: Geologichnyy zbirnyk [Proceedings of the Shevchenko Scientific Society: Geological collection], 2012, vol. XXX, pp. 119–130.
- Bubniak I. M., Vikhot Yu. M., Nakapelyukh M. V. The stress-and-strain state of the south-eastern part of the Skyba and Boryslav-Pokuttya nappes of the Ukrainian Carpathians. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2013, vol. 4 (3), pp. 313–326.
- Cloetingh S., Bada G., Matenco L., Lankreijer A., Horvath F., Dinu C. Modes of basin (de)formation, lithospheric strength and vertical motions in the Pannonian-Carpathian system: inferences from thermo-mechanical modeling. *Geological Society, London, Memoirs*, 2006, vol. 32, pp. 207–221.
- Fara H. D., Scheidegger A.E. An eigenvalue method for the statistical evaluation of fault plane solutions of earthquakes. *Seismol. Soc. America: Bull.*, 1963, vol. 53, pp. 6–811.
- Fodor L., Csontos L., Bada G., Györfi I., Benkovics L. Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen. Geol. Soc. of London Spec. Publ. The Geological Society, London*, 1999, vol. 156, pp. 295–334.
- Gagała L., Vergé, J., Saura E., Malata T., Ringenbach J. C., Werner P., Krzywiec P. Architecture and orogenic evolution of the northeastern Outer Carpathians from cross-section balancing and forward modeling. *Tectonophysics*, 2012, vol. 532, pp. 223–241
- Gintov O. B. Polevaya tektonofizika i ee primeneniye pri izuchenii deformatsiy zemnoy kory Ukrainy [Field Tectonophysics and its application in studies of the earth's crust deformation in Ukraine]. Phenix, Kyiv, 2005, 572 p.
- Gintov O. B., Bubniak I. M., Vikhot Yu. M., Murovskaya A. V., Nakapelyukh M.V. Evolyutsiya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i dinamika Skibovogo pokrova Ukrainskikh Karpat [Strain-deformed state and dynamics of the Skyba nappe of the Ukrainian Carpathians]. *Geofizicheskij zhurnal [Geophysical Journal]*, 2011, issue 33 (5), pp. 17–34.
- Gintov O. B., Bubniak I M., Bubniak A. M., Vikhot Yu. M., Mychak S. V., Nakapelyukh M.V. Napryazhenno-deformirovannoe sostojanie i dinamika allohtonnoj chasti Predkarpatskogo progiba v svyazi s neftegazonosnost'ju (po tektonofizicheskim dannym) [The stress-strain state and the dynamics of allochthon part of the Ukrainian Carpathian foredeep in connection with oil and gas content (by tectonophysical data)] *Geofizicheskij zhurnal [Geophysical Journal]*. 2013, issue 35 (1), pp. 75–87.
- Kril S., Bubniak I., Vikhot Y., Tsikhon S. Osoblyvosti poliv paleonapruzen' ta tektonichnoyi trishchynuvatosti u dolyni riky Chorna Tysa (Porkulets'kyy, Duklyans'kyy pokryvy) [Combination of the kinematic and structural-paragenetic methods for study the evolution of the palaeostress fields of rocks in the Ukrainian Carpathians] *Visnyk L'vivskoho universytetu: Seriya geolohichna [Bulletin of Ivan Franko National University of Lviv: Series Geological.]*. 2013. issue. 27. pp. 122–130.
- Loudon T. V. Computer analysis of orientation data in structural geology. *Geog. Br.: Tech. Rept.: Northwestern Univ.*, 1964, vol. 13, N. 1228 (26), 129 p.
- Ludwiniak M. Multi-stage development of the joint network in the flysch rocks of western Podhale (Inner Western Carpathians, Poland). *Acta Geologica Polonica*, 2010, vol. 60, No. 2, p.p. 283–316.
- Mardia K. V. Statistics of orientation data. New York, Academic Press, 1972, 357 p.
- Mastella L., Ludwiniak M., Klimkiewicz D. Budowa geologiczna doliny Białego Dunajca. *Przegląd Geologiczny*, 2012, vol. 60, pp. 496–505.
- Pánek T., Tábořík P., Klimeš J., Komárková V., Hradecký J., Šťastný M. Deep-seated gravitational slope deformations in the highest parts of the Czech Flysch Carpathians: evolutionary model based on kinematic analysis, electrical imaging and trenching // *Geomorphology*, 2011, vol. 129, no.1, pp. 92–112.
- Pollard D. D., Segall P. Theoretical displacements and stresses near fractures in rock: with applications to faults, joints, veins, dikes, and solution surfaces. In: *Fracture Mechanics of Rock: Academic Press, Orlando, FL*, 1987, pp. 227–350.
- Roure F., Roca E., Sassi W. The Neogene evolution of the outer Carpathian flysch units (Poland, Ukraine and Romania): kinematics of a foreland/ fold-and-thrust belt system. *Sedimentary Geology*, 1993, vol. 86, pp. 177–201.

- Seghedi I., Downes H. Geochemistry and tectonic development of Cenozoic magmatism in the Carpathian–Pannonian region. *Gondwana Research*, 2011, vol. 20, pp. 655–672.
- Seghedi I., Mañenco L., Downes H., Mason P. R., Szakács A., & Pécskay Z. Tectonic significance of changes in post-subduction Pliocene–Quaternary magmatism in the southeast part of the Carpathian–Pannonian Region. *Tectonophysics*, 2011, vol. 502(1), pp. 146–157.
- Shlapinsky V. E. Deyaki pytannya tektoniky Ukrayins'kykh Karpat [Some aspects of the Ukrainian Carpathian tectonics]. *Pratsi NTSh: Geologichnyy zbirnyk [Proceedings of the Shevchenko Scientific Society: Geological collection]*, 2012, vol. XXX, 48–67.
- Świerczewska A., Tokarski A.K.T., Hurai V. H. Joints and mineral veins during structural evolution: case study from the Outer Carpathians (Poland). *Geological Quarterly*, 2013, vol. 44, no. 3, pp. 333–340.
- Tiliță M., Matenco L., Dinu C., Ionescu L., Cloetingh S. Understanding the kinematic evolution and genesis of a back-arc continental “sag” basin: The Neogene evolution of the Transylvanian Basin. *Tectonophysics*, 2013, Vol. 602, pp. 237–258.
- Vikhot Yu., Bubniak I. Polya napruzhen' u flishoviy tovshchi skyb Orivs'koyi, Skolivs'koyi ta Parashky (za doslidzhennyamy u baseyni riky Sukil') [Stress fields in the flysh strata of the thrusts of Orivska, Skolivska and Parashka (by researches in the basin of the Sukil river)]. *Geodynamika [Geodynamics]*, 2011, issue 1(10), pp. 75–82.
- Vikhot Yu., Bubniak I., Nakapelyukh M. Rezul'taty tektonofizychnykh doslidzhen' flishovoyi tovshchi Skybovoho pokryvu Ukrayins'kykh Karpat u dolyni r. Bystrytsya Nadvirnyans'ka [The results of tectonophysics research of flysh deposits of the Skyba nappe of the Ukrainian Carpathians, the valley of the river Bystrytsya Nadvirnianska]. *Geologichnyy zhurnal [Geological journal]*, 2011, issue 2, pp. 72–80.
- Vikhot Yu., Bubniak I. Rekonstruktsiya kaynozoy's'kykh poliv napruzhen' u flishovykh kompleksakh dolyny riky Opir (Skybovyy pokryv, Ukrayins'ki Karpaty) [Reconstruction of cenozoic paleostress fields in the flysch complex of the Opir River Valley (Skyba nappe, Outer Ukrainian Carpathians)]. *Geodynamika [Geodynamics]*, 2013, issue 1(14), pp. 68–77.
- Vojtko R., Tokárová E., Sliva L., Pešková I. Reconstruction of Cenozoic paleostress fields and revised tectonic history in the northern part of the Central Western Carpathians (the Spišská Magura and Východné Tatry Mountains). *Geologica Carpathica*, 2010, vol. 61, no. 3, pp. 211–225.
- Vojtko R., Beták J., Hók J., Marko F., Gajdoš V., Rozimant K., Mojzeš A. Pliocene to Quaternary tectonics in the Horná Nitra Depression (Western Carpathians). *Geologica Carpathica*, 2011a, vol. 62, pp. 381–393.
- Vojtko R., Marko F., Preusser F., Madarás J., Kováčová M. Late Quaternary fault activity in the Western Carpathians: evidence from the Vikartovce fault (Slovakia) // *Geologica Carpathica*, 2011b, vol. 62, pp. 563–574.
- Wallbrecher E., Fritz H., Unzog W. Estimation of the shape factor of a paleo-stress ellipsoid by comparison with theoretical slickenline patterns and application of an eigenvalue method. *Tectonophysics*, 1996, vol. 255, pp. 177–187.
- Watson G. S. The statistics of orientation data. *Jour. Geology*, 1966, vol. 74, pp. 786–797.
- Whitaker A. E., Engelder T. Characterizing stress fields in the upper crust using joint orientation distributions. *Journal of Structural Geology*, 2005, vol. 27(10), pp. 1778–1787.
- Woodcock N. H. Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. *Geological Society of America Bulletin*, 1977, vol. 88, N. 9, pp. 1231–1236.
- Zuchiewicz W., Bubniak I., Rauch M. Wstępne wyniki badań nad spękaniami ciosowzmi w jednostce skibowej (skolskiej) Karpat Ukraińskich. *Przegl. Geol*, 1997, vol. 45, N. 4, S. 408–413.
- Zuchiewicz W. Rozkłady spękań ciosowych w płaszczowinie magurskiej polskich Karpat zewnętrznych w świetle analizy statystycznej. *Przegląd Geologiczny*, 1997, vol. 45, N. 6, S. 634–638.

Надійшла 13.12.2014 р.