

Напружено-деформований стан земної кори Побузького гірничорудного району на ділянці Гайворон—Завалля

© С. В. Мичак¹, Г. В. Муровська¹, Є. Б. Поляченко¹, В. М. Бельський², 2018

¹Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна

Надійшла 15 січня 2018 р.

Приведены результаты тектонофизического изучения верхней части земной коры Побужского горнорудного района Бугского мегаблока Украинского щита, выполненного в 2017 г. в бассейне верхнего и среднего течения р. Южный Буг. Изучен характер деформаций горных пород и реконструировано палеонапряжение для дальнейшего построения геодинамической модели земной коры района. Полевые тектонофизические исследования выполнены структурно-парагенетическим методом тектонофизики для различных уровней глубинности. Для построения стереограмм ориентировки трещиноватости горных пород и других структурных элементов применена программа Stereonet. Горные породы района характеризуются структурно-текстурной анизотропией и нарушены многочисленными зонами политектонитов. Структурные элементы изученной территории в основном формировались под влиянием сдвиговых деформационных режимов при субгоризонтальном положении главных (максимального и минимального) нормальных напряжений. На ранних этапах право- и левосдвиговых деформаций Гайворон-Завальевского блока были сформированы ранний кливаж течения и сланцеватость, линейная и полосчатая текстуры горных пород. В зонах максимальных сдвиговых деформаций широко развиты моноклинали и структурно-текстурные элементы. Рассчитанное по этим элементам поле напряжений близко к полю напряжений кировоградского этапа разломообразования. Подавляющее большинство хрупких трещин района исследований имеет субвертикальное падение и два основных направления простирания, одно из которых субпараллельно структурно-текстурным элементам, а второе субперпендикулярно к ним. Рассчитанное по трещинным парагенезисам поле соответствует более молодому субботско-мошоринскому этапу разломообразования в пределах Украинского щита.

Ключевые слова: Украинский щит, Бугский мегаблок, деформации, поля напряжений, зоны разломов.

Вступ. Одним з найважливіших напрямів наукових геолого-геофізичних досліджень є оцінювання перспектив Українського щита (УЩ) на чорні, кольорові, благородні, рідкісні метали і алмази. Першочерговим об'єктом таких досліджень слід вважати Гайворон-Заваллівський (Бандурівський) блок (ГЗБ) Побузького гірничорудного району (ПГР), у межах якого відслонюються глибинні грануліти, що зазнали процесів метаморфізму, та гранітоїди (рис. 1). У районі розвідано прояви і родовища хрому, пов'язані з ко-

рами вивітрювання ультрабазитів, заліза, які співвідносяться з плагіогнейсами та кристалосланцями, а також поклади графіту в гнейсах бузької серії. Крім того, до лейкократових гранітів приурочені прояви рідкісноземельних елементів, а до кори вивітрювання гранітоїдів — прояви каоліну. В межах ПГР також розміщуються перспективні прояви золота, платиноїдів, ітрію, урану, мангану, титану, вольфраму, міді, молібдену, апатиту і силіманіту.

Аналіз наукової літератури та картографічних матеріалів для території ПГР вказує

особливості геофізичних полів та результати їх геологічної інтерпретації [Гинтов и др., 2017]. Для геологічного вивчення ПГР мають бути побудовані великомасштабні спеціалізовані карти нового покоління на підставі сучасних геофізичних, у тому числі тектонофізичних, петрографічних, петрологічних даних, а також, що дуже важливо, сучасних визначень ізотопного віку гірських порід.

У контексті програми побудови тектонічної карти УЩ в цілому і, зокрема, ПГР у 2017 р. було виконано детальні тектонофізичні дослідження на відрізку р. Південний Буг протяжністю 20 км між м. Гайворон і смт Завалля, що супроводжувалися відбором орієнтованих зразків для подальшого вимірювання в лабораторних умовах анізотропії магнітної сприйнятливості гірських порід (АМС).

У статті розглянуто результати виключно тектонофізичних досліджень. Результати дослідження АМС гірських порід обробляються та будуть опубліковані згодом.

Геологічна будова. У тектонічному аспекті район досліджень належить до ГЗБ УЩ, який на сході примикає до Голованівської шовної зони і Тальнівської зони розломів, що їх розділяє. Ділянка розташована на стику різних структур і порушена ранньодокембрійськими зонами розломів субмеридіонального напрямку та широтною Гайворон-Хашуватською зоною розломів, яка пов'язана із суботсько-мошоринським етапом деформації [Гинтов и др., 2008]. У структурі району беруть участь переважно метаморфізовані архейські утворення основного і кислого

складу, інтенсивно перероблені подальшими процесами тектогенезу, метаморфізму, метасоматозу і діафорезу (рис. 1).

ГЗБ добре виділяється на карті гравітаційних аномалій, де йому відповідає Бандурівський максимум сили тяжіння інтенсивністю до 30 мГал. Максимум локалізований у вигляді позитивної аномалії правильної ізометричної форми з розмірами у поперечнику 20—25 км. Безпосередньо ділянка досліджень знаходиться в межах північного і східного обрамлення цього максимуму. Деякі дослідники, наприклад: [Довгань и др., 2006], асоціюють з Бандурівським максимумом сили тяжіння однойменну палеовулканічну структуру і вважають, що формування пов'язане з глибинними вулканоплутонічними процесами. Під час вулканічної діяльності формувались потужні теплові потоки та гідротерми, що зумовили утворення метасоматитів і різних руд.

На фоні розвитку великих полів метаефузивів поширені численні тіла і масиви основних і ультраосновних порід, які є апікальними виступами єдиного прихованого глибинного інтрузиву або каналами протовулканів, що виходять із загального магматичного вогнища [Довгань и др., 2006]. Це переважно габроїдні (габро, габро-норити, габро-амфіболіти) і апогаброїдні породи типу амфіболітів і основних кристалосланців. У гравітаційному полі габроїдні тіла зафіксовано локальними максимумами, а в магнітному полі — мінімумами [Ентин, 2005].

Головною особливістю петрографії досліджуваного району є поширення ендербітів гайворонського комплексу, що на-

крупнозернисті до порфіроподібних (γ), граніти та мігматити біотитові, рівномірнозернисті (γ_m) (уманський ультраметаморфогенний комплекс). **Речовинний склад.** *Метаморфізовані породи. Плагіогнейси:* 10 — гранат-біотитові; 11 — біотит-ортопіроксеніві. *Кристалосланці:* 12 — амфібол-клінопіроксеніві; 13 — двопіроксеніві; 14 — гранат-двопіроксеніві; 15 — амфібол-піроксеніві; 16 — магнетит-двопіроксеніві; 17 — кальцифіри; 18 — кварцити польовошпатові, часто з силіманітом і (або) з гранатом; 19 — кварцити магнетитові, зазвичай з піроксенітом; 20 — графіт-гранат-біотитові. *Ультраметаморфічні породи:* 21 — граніти біотитові нерівномірнозернисті до порфіроподібних; 22 — лейкократові гнейсоподібні граніти та гранітогнейси з ортопіроксенітом, часто гранатом, інколи з кордієритом; 23 — чарнокіти, чарноендербіти та ендербіти, переважно лейкократові; 24 — ультраметаморфічні породи — ендербіти гнейсоподібні. *Інтрузивні та палінгенно-метасоматичні породи:* 25 — габроїди. *Розривні порушення:* 26 — глибинні (шовні) розломи (а — достовірні, б — ймовірні); 27 — головні (а — достовірні, б — ймовірні); 28 — другорядні (а — достовірні, б — ймовірні); 29 — локальні (а — достовірні, б — ймовірні). *Морфологічні типи розривних порушень:* 30 — підкід; 31 — ділянки спостережень (а — Гайворон — Салькове, б — Завалля). Цифри в кружках — точки спостереження.

лежать до найдавніших утворень УЩ. Ендербіти залягають у вигляді пластів, мають зеленувато-сірий відтінок та виражену смугасту текстуру. Вважають, що ендербіти слугували петрофондом для молодших комплексів чарнокітоїдів [Щербаков, 2005].

Важлива особливість чарнокітоїдів гайворонського комплексу — мікροструктурна неупорядкованість, яка виражається у гетеробластовому характері структури. Порівняно ідіоморфними є плагіоклаз і гранат, усі інші мінерали мають неправильну форму [Щербаков, 2005].

За Л. М. Степанюком [Степанюк и др., 2017; Степанюк та ін., 2017], у кар'єрах «Козачий Яр» та «Одеський» на лівому і правому берегах р. Південний Буг, між с. Салькове та смт Завалля відслонені породи гранулітової асоціації. Основним породним фоном зазначених кар'єрів є ендербітогнейси (гіперстенемісні плагіогнейси), серед них трапляються поодинокі лінзоподібні тіла мафітових і ультрамафітових гранулітів, дещо поширенішими є пластоподібні тіла двопіроксен-плагіоклазових кристалічних сланців амфібол-, гранат-, зрідка біотитовмісних, які у горизонтальних зрізах досить часто виявляють січні контакти до смугастості ендербітогнейсів.

У північній частині Одеського кар'єру описано фрагмент осадового розрізу з метакоматітами, а у південній виявлено жилу лейкократового грануліту (типу саксонського) — продукту кремній-калієвого метасоматозу [Лобач-Жученко и др., 2014].

У цілому асоціація порід (ендербітогнейси, ультрамафітові та мафітові грануліти) має лінзоподібно-смугасту будову, субширотне простягання і практично вертикальне падіння. На окремих ділянках розвитку ендербітогнейсів, слабко зачеплених неархейськими та палеопротерозойськими ендегенними процесами, збереглися структури ранішого етапу деформацій, що представлені мігматитовою смугастістю та сланцюватістю і мають північно-західне та субмеридіональне простягання [Ярошук и др., 1990]. Асоціація порід, крім жил, складених двопіроксеновими кристалосланцями, сі-

четься вертикальними жилами палеопротерозойських пегматоїдних гранітів переважно субмеридіонального простягання.

Методи тектонофізичних досліджень. Польові дослідження полягали у замірах елементів залягання максимальної кількості крихких тріщин, виявленні і фіксації структурних і динамометаморфічних парагенезисів, вивченні морфологічних та інших особливостей тріщин і білатріщинного простору (притертість, взаємозв'язок зі структурно-текстурними елементами порід, наявність слідів зрушень на площинах тріщин, амплітуди зміщення маркерів і величини їх викривлення поблизу розривів, характеру перекристалізації матеріалу) [Мичак, 2016].

Всього виконано 643 заміри елементів залягання тріщин і 173 — політектонітів (ПТ) і структурно-текстурних елементів (СТЕ).

Результати. Гірські породи в межах ділянки блока характеризуються досить чіткою структурно-текстурною анізотропією і густою тріщинуватістю. Користуючись термінологією, прийнятою в роботах зі структурного аналізу гірських порід [Шевчук, 2012; Шевчук та ін., 2002, 2013а,б], під час тектонофізичного вивчення ділянки Гайворон—Завалля автори виконували заміри елементів залягання ПТ від тектонічної брекчії до ультрамілонітів, від бластокатаклазитів до бластоультрамілонітів і вторинних СТЕ — смугастості (мігматитової, гранітогнейсової), сланцюватості (деформаційної і кристалізаційної), кліважу, лінійності (рис. 2). Цими і попередніми дослідженнями [Мичак, 2016] відзначено таку важливу особливість мігматитогранітогнейсових монокліналей (ГГМ) ранньодокембрійських комплексів: більшість тектонітів і основних типів СТЕ (сланцюватості, гранітогнейсової смугастості, кліважу) не завжди різко відділяються один від одного і в масштабі макро- і мезоструктур (максимальні розміри сколів можуть сягати кілометрів, а зон сколювання — десятків кілометрів) спільно утворюють лінеаментні зони зі стійкими елементами залягання. Це дає змогу застосовувати до таких зон

і їх внутрішньої будови закономірності, встановлені при моделюванні деформаційних процесів на еквівалентних матеріалах.

Характерними структурними елементами досліджуваного регіону є системи тріщин сколювання і відриву, які січуть поро-

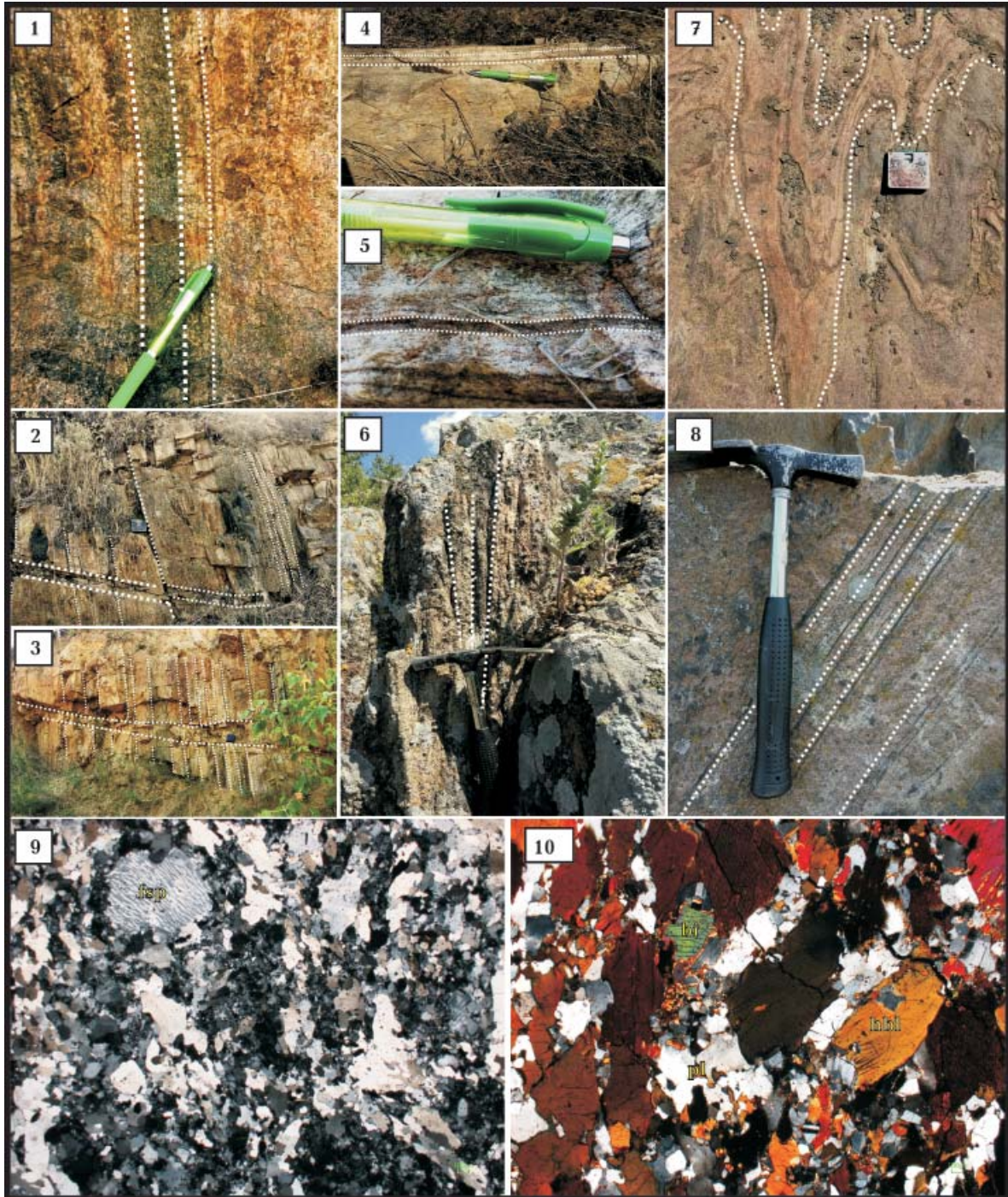


Рис. 2. Деформаційні структури в породах Гайворон-Завалівського блока: 1 — м. Гайворон (т. 1), мігматитова смугастість; 2, 3 — м. Гайворон (т. 1), тріщини січуть кліваж; 4 — с. Бугове (т. 3), смугастість вздовж тріщини; 5 — с. Хашувате (т. 4), смугастість уздовж тріщини; 6 — с. Хашувате (т. 4), кліваж в ендербітогнейсі; 7 — с. Хашувате (т. 4), мікроскладка; 8 — Одеський кар'єр (т. 6), мігматитова смугастість; шліфи: 9 — м. Гайворон (т. 1), кварцит (fsp — калієвий польовий шпат); 10 — кар'єр Козачий Яр (т. 7), амфіболіт (hbl — рогова обманка, pl — плагіоклаз, bi — біотит).

ди кристалічного фундаменту, в тому числі ПТ і СТЕ зон сколювання. Раніше під час тектонофізичних дослідженнях подібним накладеним системам тріщин не приділяли достатньої уваги, хоча вони утворюють чіткі структурні парагенезиси для умов I—II рівнів глибинності [Стоянов, 1977; Гинтов, 2005] і можуть бути використані для визначення напружено-деформованого стану блока на відносно пізніх етапах тектогенезу.

На відміну від кліважу системи тріщин характеризуються досить великими відстанями між сусідніми паралельними тріщинами (>10 см) і найчастіше є січними щодо кліважу. Найкраще спостерігати такі тріщини у дні кар'єрів і на великих субгоризонтальних площинах відслонень: тут видно, що вони поділяють породи на паралелепіпедальні блоки з кутами від 45 до 90° і розмірами від 0,5 м² до декількох квадратних метрів. Тріщини найчастіше субвертикальні, хоча спостерігаються і системи похилих розривів, пов'язаних із підкидами або скидами. Кути між парагенетично зв'язаними тріщинами вказують на найчастіше їх утворення в умовах I—II рівнів глибинності L- і L'- сколів, Ріделя (R—R'), поєднання обох типів сколів між собою і з тріщинами відриву Т.

Іноді одна з парагенетично пов'язаних систем тріщин може мати узгоджене залягання з кліважом, що ускладнює ідентифікацію структур. У таких випадках допома-

гало вивчення подібних елементів у різних зрізах відслонень: кліважування зазвичай добре проявляється на одному зрізі, тоді як тріщини сколювання і відриву — на всіх.

Структурно-текстурні елементи ділянки Гайворон—Завалля. У таблиці і на рис. 3, б показано стереограми основних площин ПТ і СТЕ, виділених як центри сукупностей полюсів, зображених на рис. 3, а. Стереограми насамперед вказують на субвертикальне падіння СТЕ (кути 70—90° у 80 % замірів), похиле падіння гірських порід трапляється меншою мірою.

Площини ПТ і СТЕ зображено на стереограмах полюсами, а також відповідними дугами, які відповідають перетину таких площин з верхньої півсферою.

На гістограмі азимутів простягання СТЕ (рис. 4) виділяється один головний максимум у межах азимутів Пн Сх 65—80°. Оскільки Гайворон-Хащуватська і Завалівська зони розломів у цілому мають широтне простягання, вважаємо, що азимути L-сколів паралельні до них і дорівнюють Сх 90°. Максимум 65—80° відхиляється від орієнтування L-сколів на характерний кут 10—15°, тому ідентифікуємо його як R-скол, а кінематичний тип розлому визначаємо як лівий зсув. Невеликий максимум 40—45° відповідає тріщинам відриву Т. Для отриманих парагенезисів розраховано поле напружень: σ_1 45°; σ_3 315°; σ_2 ⊥.

Тріщинуватість ділянки Гайворон—Салькове. На сумарних гістограмах субвер-

Координати і елементи залягання площин нашарування і зон тектонітів

| Номер точки (див. на рис. 1) | Координати точок | | Населений пункт | Кількість замірів ПТ і СТЕ | Центри груп ПТ і СТЕ (азимут/кут падіння), град |
|------------------------------|------------------|-------------|---------------------------------|----------------------------|---|
| | широта | довгота | | | |
| 1 | 48°19'35,8" | 29°52'01,1" | м. Гайворон | 50 | 175/85 |
| 2 | 48°17'32,1" | 29°53'37,8" | с. Соломія | 35 | 352/80 |
| 3 | 48°17'28,2" | 29°56'29,9" | с. Бугове | 6 | 338/86 |
| 4 | 48°17'30,6" | 29°56'38,7" | с. Хащувате | 23 | 312/82 |
| 5 | 48°15'51,9" | 29°58'10,9" | с. Салькове | 20 | 35/65 |
| 6 | 48°13'54,7" | 29°59'15,4" | с.мт Завалля: Одеський кар'єр | 10 | 345/85 |
| 7 | 48°13'53,3" | 29°59'41,7" | с.мт Завалля: кар'єр Козачий Яр | 28 | 330/80 |
| 8 | 48°12'34,2" | 30°02'10,9" | с.мт Завалля: графітовий кар'єр | 5 | 355/85 |

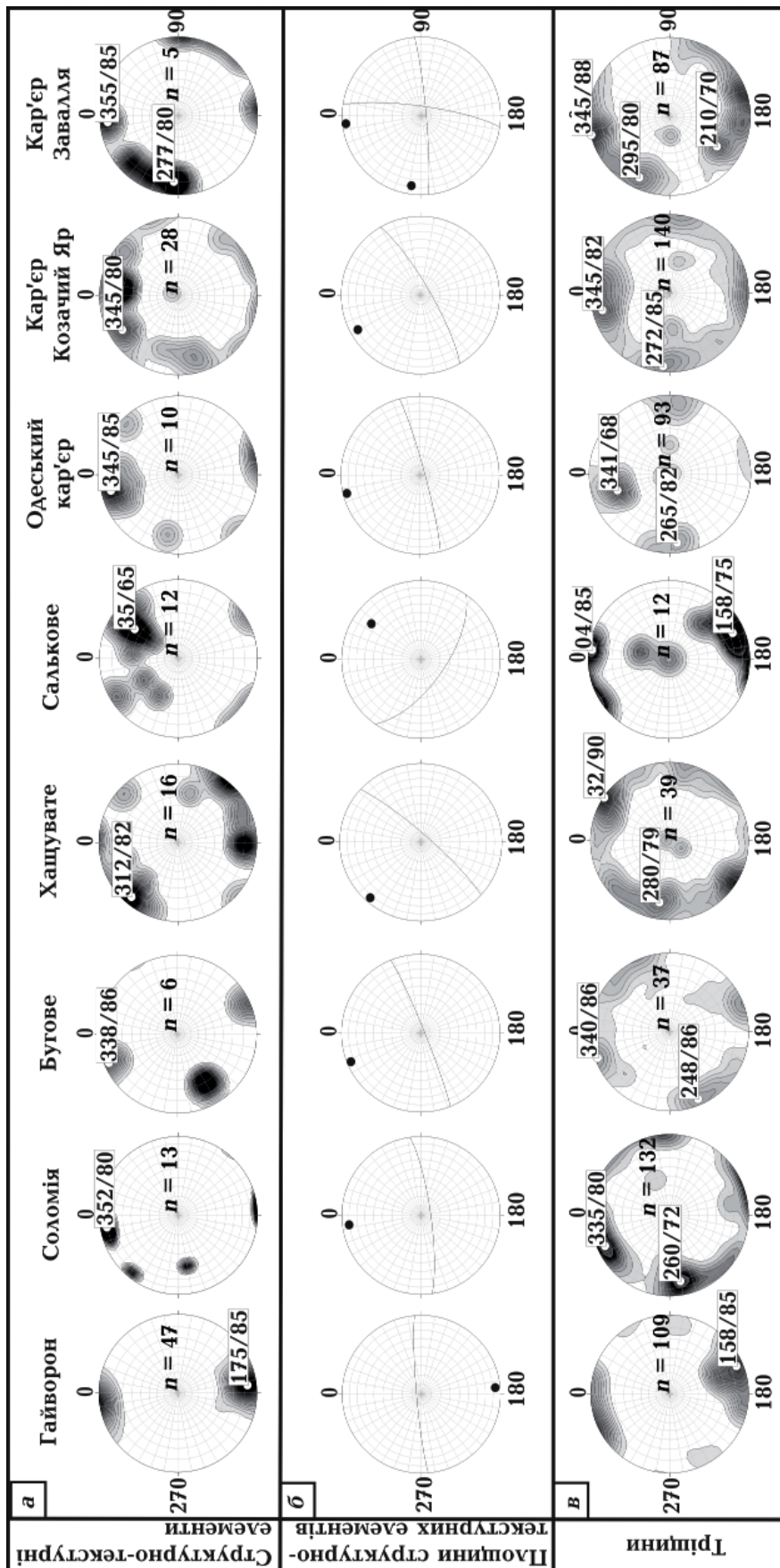


Рис. 3. Стереограми елементів залягання (азимутів падіння) СТЕ (а), основних площин СТЕ (б), тріщин (в) у межах досліджуваного району (верхня півсфера).

тикальних тріщини (кут падіння 70—90°) виділено два парагенезиси (рис. 5): головний належить L' -(345°)— R -(58°)— L -(75°) сколам, менш чіткий відповідає R -(280°)— R' -сколам (345°). Для головного парагенезису розраховано поле напружень: σ_1 30°, σ_3 300°, σ_2 \perp (лівий зсув). Друге поле (рис. 5, б) — σ_1 312°, σ_3 42°, σ_2 \perp (правий зсув). Останнє поле відповідає наймолодшому суботсько-мошоринському етапу розломоутворення УЩ і проявлене у вигляді Гайворон-Хашуватської зони розломів.

Тріщинуватість ділянки «Завалля». За сумарними гістограмами субвертикальних тріщин цієї ділянки відновлено два головні поля напружень (рис. 6).

Поле 1. У межах ділянки виділено дві пари максимумів, L -сколи (65°), R' -сколи (08° та 350°), для яких розраховано поле напружень σ_1 38°, σ_3 308°, σ_2 \perp . Різниця між першими (головними) полями напружень на ділянках Гайворон—Салькове та Завалля становить 08°. Наймовірніше тут змінилась орієнтація тріщин унаслідок правого зсуву, який відбувся на суботсько-мошоринському етапі в межах площі Гайворон—Завалля.

Поле 2. Для району досліджень також характерні система L - та L' -сколів (278° і

08°) і поле напружень σ_1 323°, σ_3 53°, σ_2 \perp .

Різниця між другими полями напружень ділянок Гайворон—Салькове і Завалля становить 11°. Так само, як і для головних полів, ця різниця може бути викликана правим зсувом у межах площі Гайворон—Завалля на суботсько-мошоринському етапі розломоутворення.

Висновки. 1. Уперше досліджено політектоніти, структурно-текстурні елементи і тріщинуватість гірських порід у басейні р. Південний Буг на ділянці Гайворон—Завалля, яка є ключовою для вивчення тектоніки раннього докембрію УЩ.

2. Визначено напружено-деформований стан верхньої частини земної кори району і показано, що структурно-парагенетичний метод тектонофізики можна застосовувати на ділянках, що зазнали суттєвих динамометаморфічних змін кристалічного фундаменту УЩ.

3. Згідно з результатами тектонофізичних досліджень, переважна більшість гірських порід району характеризується структурно-текстурною анізотропією, поширенням численних зон політектонітів, для яких розраховано поле напружень: σ_1 45/0°, σ_3 315/0°, σ_2 \perp . Це поле близьке до поля напружень кіровоградського етапу

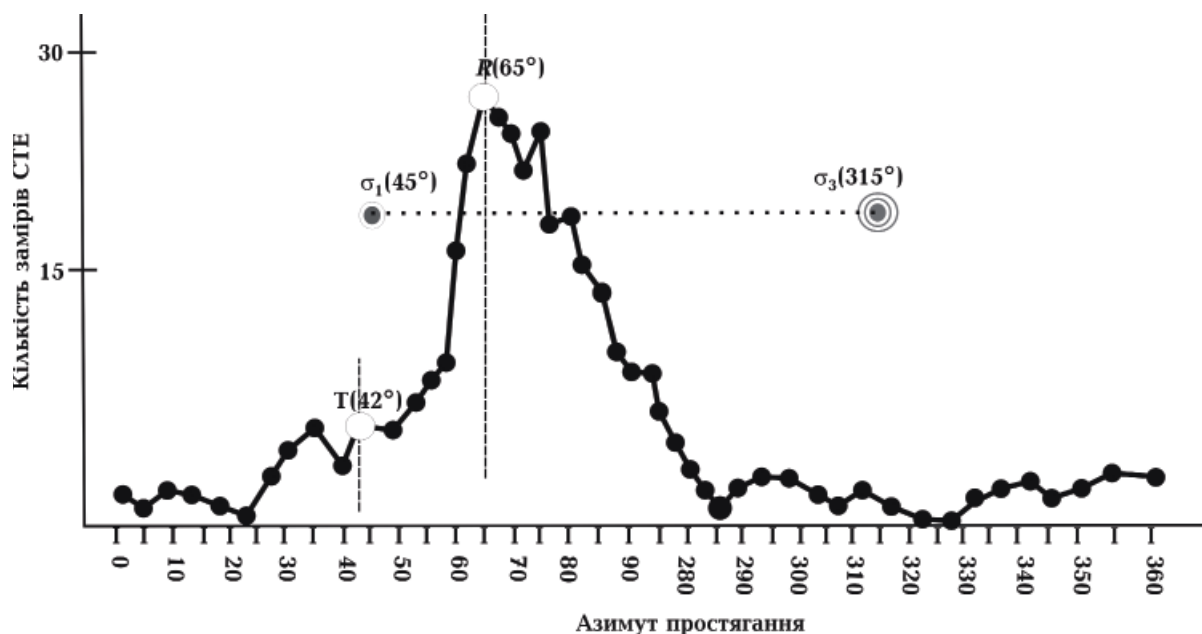


Рис. 4. Гістограма азимутів простягання ПТ та STE ділянки Гайворон—Завалля.

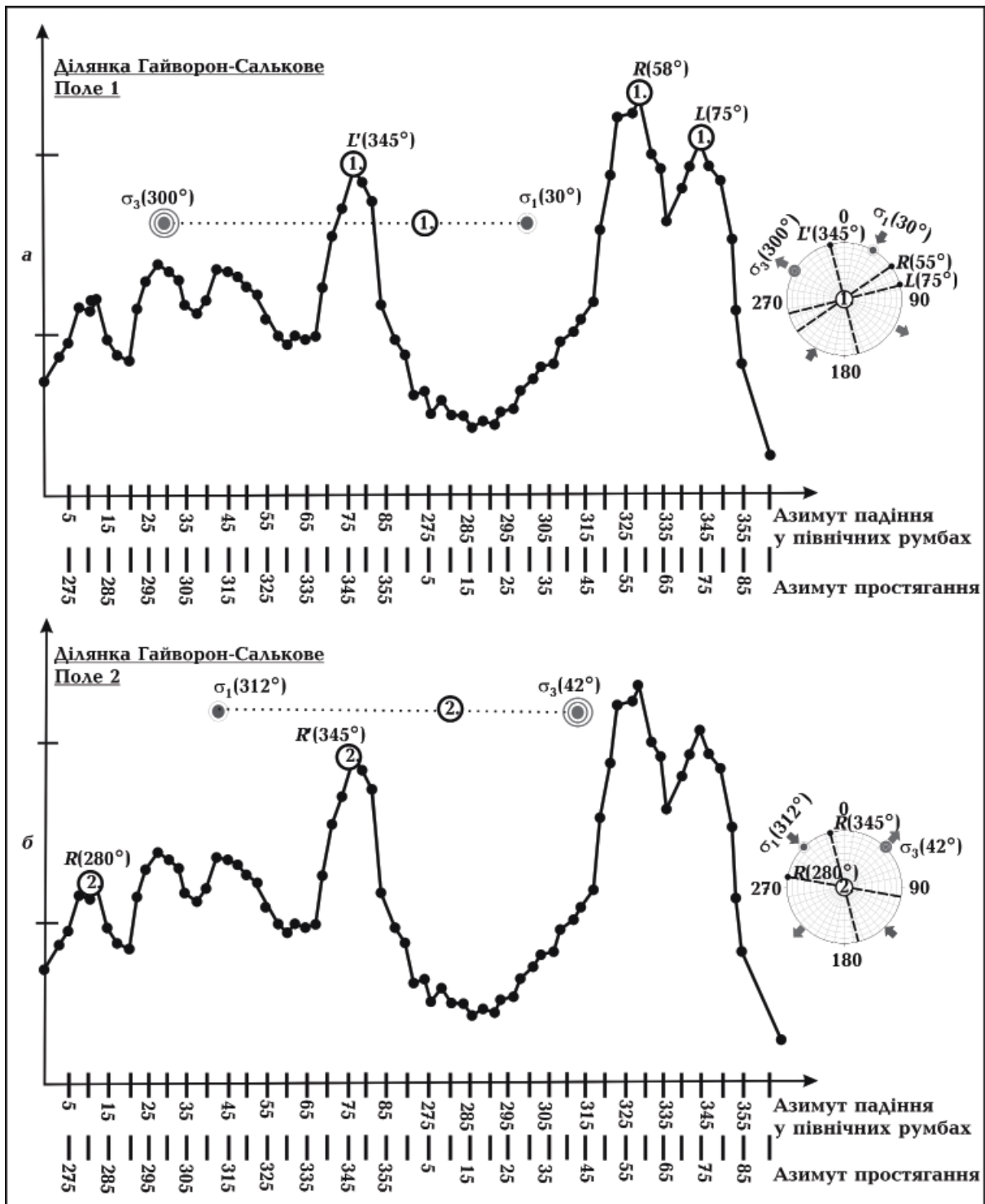


Рис. 5. Гістограма азимутів простягання субвертикальних тріщин у гірських породах ділянки Гайворон—Салькове.

розломутворення або може відображати давніший самостійний етап деформації земної кори.

4. Переважна більшість крихких тріщин району досліджень має субвертикальне па-

діння і два основні напрямки простягання, один з яких субпаралельний структурно-текстурним елементам, а інший — субперпендикулярний до них. За парагенезисами тріщин установлено дві пари полів напру-

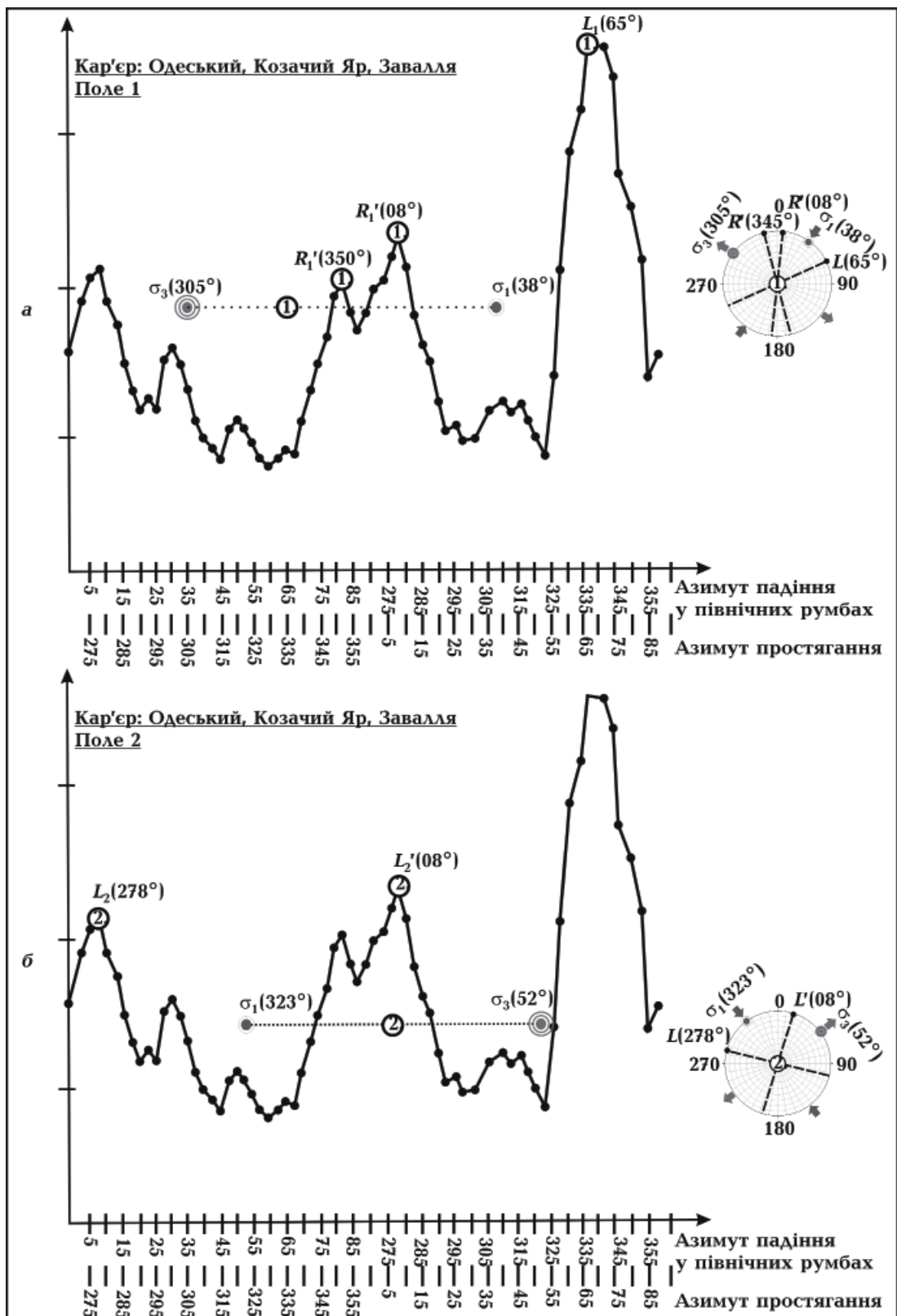


Рис. 6. Гістограма азимутів простягання субвертикальних тріщин у гірських породах ділянки Завалля (кар'єри Одеський, Казачий Яр, Завалля).

жень: на відрізку Гайворон—Салькове (σ_1 30/0°, σ_3 300/0°, $\sigma_2 \perp$) і (σ_1 312/0°, σ_3 42/0°, $\sigma_2 \perp$) та у кар'єрах ділянки Завалля (σ_1 38/0°, σ_3 308/0°, $\sigma_2 \perp$) і (σ_1 323/0°, σ_3 52/0°, $\sigma_2 \perp$). Їх можна об'єднати у два загальні поля тектонічних напружень: σ_1 30—38/0°, σ_3 300—308/0°, $\sigma_2 \perp$ — лівий зсув, і σ_1 312-323/0°, σ_3 42-53/0°, $\sigma_2 \perp$ — правий зсув. Поле напружень σ_1 323/0°, σ_3 52/0°, $\sigma_2 \perp$ зафіксо-

вано також поряд — у межах Ятранського блока ГШЗ. Воно відповідає наймолодшому суботсько-мошоринському етапу розломоутворення в межах УЩ.

5. Гайворон-Хашуватська зона розломів широтного простягання формувалася щонайменше у два етапи — давніший лівозсувний і наймолодший у межах УЩ — суботсько-мошоринський правозсувний.

Список літератури

- Геологічна карта і карта корисних копалин кристалічного фундаменту 1:200 000.* Під ред. О. В. Зюльцле, В. П. Кирилук. Київ: Вид. ПДРГП «Північгеологія», 2011.
- Геохронологія раннього докембрія Українського щита. Протерозой.* Отв ред. Н. П. Щербак. Київ: Наук. думка, 2008. 240 с.
- Гинтов О. Б.* Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Київ: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О. Б.* Проблемы геодинамики украинского докембрия. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 5. С. 3—21. doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i5.2015.111142>.
- Гинтов О. Б., Ентин В. А., Мычак С. В.* К построению Схемы разломно-мегаблоковой тектоники Украинского щита масштаба 1:500 000. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39. № 5. С. 63—82. doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i5.2017.112340>.
- Гинтов О. Б., Орлюк М. И., Мычак С. В., Баркарадзе М. И., Фарфуляк Л. В.* Субботско-мошоринский этап деформирования земной коры Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2008. Т. 30. № 6. С. 23—38.
- Довгань Р. Н., Ентин В. А., Павлюк В. Н.* Бандуровская палеовулканическая структура и связанные с ней перспективы алмазонасности. *Мінеральні ресурси України.* 2006. № 4. С. 22—28.
- Ентин В. А.* Геофизическая основа тектонической карты Украины масштаба 1:1 000 000. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 1. С. 74—84.
- Лобач-Жученко С. Б., Балаганский В. В., Балты-*
- баев Ш. К., Артеменко Г. В., Богомолов Е. С., Юрченко А. В., Степанюк Л. М., Сукач В. В.* Метаморфизованные осадочные породы днестровско-бугской серии палеоархея Украинского щита: состав, возраст, источники. *Литология и полезные ископаемые.* 2014. № 5. С. 1—18. doi: [10.7868/S0024497X14050061](https://doi.org/10.7868/S0024497X14050061).
- Мичак С. В.* Геодинамічний розвиток Українського щита і утворення родовищ корисних копалин за даними геофізичних та геохронологічних досліджень. *Вісник НАН України.* 2016. № 6. С. 77—85.
- Степанюк Л. М., Довбуш Т. І., Курило С. І., Зюльцле О. В., Яськевич Т. Б.* Уран-свинцовый возраст монацитов биотитовых гнейсов Среднего Побужья Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2017. Т. 39. № 2. С. 46—56. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.02.046>.
- Степанюк Л. М., Курило С. І., Сьомка В. О., Бондаренко С. М., Коваленко О. О., Довбуш Т. І., Висоцький О. Б.* Особливості u-pb ізотопних систем цирконів і монацитів асоціації граніт — «ксеноліт»; петрологічні та геологічні наслідки. *Мінерал. журн.* 2017. Т. 39. № 1. С. 63—74. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.01.063>.
- Стоянов С. С.* Механизм формирования разрывных зон. Москва: Недра, 1977. 144 с.
- Шевчук В. В.* Соотношение протерозойского автохтонного гранитообразования и деформационных процессов в пределах Тальновской зоны разломов (Украинский щит). *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2012. Вип. 56. С. 5—7.
- Шевчук В. В., Кравченко Д. В., Мазко А. Є., Ха-*

- баниць І. А. Первомайська граніто-гнейсова монокліналь у розрізі вздовж р. Південний Буг. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013а. № 1(60). С. 5—8.
- Шевчук В. В., Кузь І. С., Юрчишин А. С. Тектонофізичні основи структурного аналізу. Львів: Вид-во. Львів. нац ун-ту, 2002. 124 с.
- Шевчук В. В., Лавренюк М. В., Кравченко Д. В. Основи структурного аналізу: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2013б. 287 с.
- Щербаков І. Б. Петрологія Українського щита. Львів: ЗУКЦ, 2005. 366 с.
- Ярощук М. А., Довгань Р. Н. и др. Серендибит из пород Побужского района Украинского щита. *Минерал. журн.* 1990. Т. 12. №6. С. 75—78.
- Allmendinger R. W., Cardozo N., Fisher D., 2012. Structural geology algorithms: vectors and tensors. Cambridge University Press, 304 p.
- Cardozo N., Allmendinger R. W., 2013. Spherical projections with OSXStereonet. *Comput. Geosci.* 51, 193—205. doi: 10.1016/j.cageo.2012.07.021.

Stress-deformed state of the Earth crust of the Bug mining area in the section Gayvoron — Zavalye

© S. V. Mychak, G. V. Murovskaya, E. B. Polyachenko, V. M. Belskyi, 2018

Results of tectonophysical studies of the upper part of the Earth crust of the Bug mining area of the Bug block of the Ukrainian shield fulfilled in 2017 in the basin of the upper and middle course of the Southern Bug river have been presented in the paper. The aim of the studies is examination of the rocks deformations character and reconstruction of paleostresses for subsequent plotting of geodynamic model of the Earth crust for the Bug mining area. Field tectonophysical studies have been fulfilled by a structural-paragenetic method of tectonophysics for different depth levels. For plotting stereograms of rocks jointing orientation and other structural elements the program Stereonet was used. The rocks of the area are characterized by structural-textural anisotropy and are interrupted by numerous zones of polytectonites. The structural elements of the studied area were mainly formed by the effect of strike-slip deformational regimes with sub-horizontal position of the main (maximal and minimal) normal stresses. At the early stages of right- and left-strike-slip deformations of the Gaivoron-Zavalye block early flow cleavage and schistosity, linear and banded texture of rocks were formed. In zones of maximal shear deformations monoclines and structural-textural elements are widely developed. Stress field calculated for structural-textural elements is close to the stress field of the Kirovograd stage of faults formation. Majority of the measured jointing of the study area have sub-vertical dipping and two main striking directions, the first one is sub-parallel to structural-textural elements and the second one is subnormal to them. The field calculated by fissure paragenesis corresponds to the younger Subbotsk-Moshorin stage of fracture formation of the Ukrainian shield.

Key words: the Ukrainian shield, the Bug magablock, deformations, strain fields, fracture zones.

References

- Geological map and map of minerals of the crystalline basement 1:200 000, 2011. Eds. O. V. Zyultsle, V. P. Kirilyuk. Kiev: Publ. «Pivnichgeologiya» (in Ukrainian).
- the Ukrainian Shield. Proterozoic, 2008. Ed. N. P. Scherbak. Kiev: Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).
- Gintov O. B., 2005. Field tectonophysics and its application for the studies of deformations of the

- earth's crust of Ukraine. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov O. B., 2015. Problems of geodynamics of the Ukrainian shield in Precambrian. *Geofizicheskij zhurnal* 37(5), 3—21 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i5.2015.111142>.
- Gintov O. B., Entin V. A., Mychak S. V., 2017. On plotting the scheme of fracture-mega-block tectonics of the Ukrainian Shield in a scale 1:500 000. *Geofizicheskij zhurnal* 39(5), 63—82 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i5.2017.112340>.
- Gintov O. B., Orlyuk M. I., Mychak S. V., Bakarzhieva M. I., Farfulyak L. V., 2008. Subboto-Moshorinsky stage of the earth's crust deformation of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskij zhurnal* 30(6), 23—38 (in Russian).
- Dovgan R. N., Entin V. A., Pavlyuk V. N., 2006. Bandurovsk paleo-volcanic structure and associated diamond prospecting prospects. *Mineralni resursy Ukrayiny* (4), 22—28 (in Russian).
- Entin V. A., 2005. Geophysical base of the Tectonic map of Ukraine at the scale 1:1 000 000. *Geofizicheskij zhurnal* 27(1), 74—84 (in Russian).
- Lobach-Zhuchenko S. B., Balaganskiy V. V., Baltybaev S. K., Artemenko G. V., Bogomolov E. S., Yurchenko A. V., Stepanyuk L. M., Sukach V. V., 2014. Metasedimentary rocks of the paleoarchean Dniester-Bug Group, Ukrainian Shield: composition, age, sources. *Litologiya i poleznye iskopayemye* (5), 1—18. doi: 10.7868/S0024497X14050061.
- Mychak S. V., 2016. Geodynamic development of the Ukrainian shield and the formation of mineral deposits according to geophysical and geochronological data. *Visnyk NAN Ukrayiny* (6), 77—85.
- Stepanyuk L. M., Dovbush T. I., Kurylo S. I., Zlyutske O. V., Yaskevich T. B., 2017. Uranium-lead age of monazites from biotitic gneisses of the Middle Bug area of the Ukrainian Shield. *Mineralogichnyy zhurnal* 39(2), 46—56 (in Russian). <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.02.046>.
- Stepanyuk L. M., Kurilo S. I., Somka V. O., Bondarenko S. M., Kovalenko O. O., Dovbush T. I., Vysotsky O. B., 2017. Features of U-Pb isotopic systems of zircon and monazite from granite — «xenolith» rock association: petrologic and geologic consequences. *Mineralogichnyy zhurnal* 39(1), 63—74 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.39.01.063>.
- Stoyanov S. S., 1977. The mechanism of formation of discontinuous zones. Moscow: Nedra, 144 p. (in Russian).
- Shevchuk V. V., 2012. Interrelations between autochthonous Proterozoic granite formation and deformation processes in Talniv fault zone (Ukrainian Shield). *Visnyk Kyyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiya* (56), 5—7 (in Russian).
- Shevchuk V., Kravchenko D., Mazko A., Khabanets I., 2013. Pervomayskaya granite-gneiss monocline in the section along river South Bug. *Visnyk Kyyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Heolohiya* (1), 5—8 (in Ukrainian).
- Shevchuk V. V., Kuz I. S., Yurchishin A. S., 2002. Tectonophysical fundamentals of structural analysis. Lviv: Ed. Lviv National University, 124 p. (in Ukrainian).
- Shevchuk V. V., Lavrenyuk M. V., Kravchenko D. V., 2013b. Fundamentals of structural analysis: Textbook. Kyiv: VPTS «Kyyivskyy universytet», 287 p. (in Ukrainian).
- Shcherbakov I. B., 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lvov: ZUKTS, 366 p. (in Russian).
- Yaroshchuk M. A., Dovgan R. N. et al., 1990. Serendibite from the rocks of the Pobuzhsky district of the Ukrainian shield. *Mineralogicheskij zhurnal* 12(6), 75—78 (in Russian).
- Allmendinger R. W., Cardozo N., Fisher D., 2012. Structural geology algorithms: vectors and tensors. Cambridge University Press, 304 p.
- Cardozo N., Allmendinger R. W., 2013. Spherical projections with OSXStereonet. *Comput. Geosci.* 51, 193—205. doi: 10.1016/j.cageo.2012.07.021.