

<sup>1</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
03022, м. Київ, вул. Васильківська, 90  
E-mail: ikvasnytsya@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України та Міністерства України  
з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи  
03680, м. Київ, пр-т. Акад. Палладіна, 34а

## ОРТОПІРОКСЕН З НЕОГЕНОВИХ ТУФІВ ВИГОРЛАТ-ГУТИНСЬКОГО ПАСМА (ЗАКАРПАТТЯ)

Піроксени є поширеною групою мінералів на території України, яка входить до складу всіх мінералогічних комплексів і мінералогічних провінцій України [3]. Однак здебільшого цю групу мінералів вивчають петрографічними методами. Ортопіроксен є також важливим мінералом вивержених порід Вигорлат-Гутинського пасма (ВГП) Закарпаття [2], де він спостерігається у вкрапленниках, утворюючи стовпчасті кристали завдовжки 3—5 мм.

Мета цієї роботи — вивчення мінералогії ортопіроксену з туфів ВГП. Предмет дослідження — кристали ортопіроксену з кристалолітокластичного туфу нижньоанталівського комплексу ВГП, які зберегли свою форму. Своєрідні кристалолітокластичні туфи залягають у північно-східних відрігах г. Анталівська Поляна. Тут у руслі струмка Клокотива, в одному з відслонень простежені великоглибові несортовані агломератові туфи, складені уламками пористих сірих андезитобазальтів, у нижній частині виходів яких спостерігається прошарок потужністю близько 1 м світло-жовтуватого кристалолітокластичного туфу. Туф псефітової структури складений кутастими уламками: 1) темно-сірих і червонуватих пористих андезитів; 2) базальтами різного ступеня розкристалізації; 3) кристалами й уламками піроксенів і плагіоклазів. Цемент представлений тонкороздрібненим попеловим матеріалом, що зазнав інтенсивної гідратації та розпаду. Характерною особливістю туфів є переважання у них добре огранених кристалів ортопіроксенів. Останні представлені здебільшого напівпрозорими витягнутими призматичними поодинокими кристалами та їх зростками розміром від 1 до 7 мм, темно-зеленуватого та буруватого кольору, зрідка — ізометричними кристалами.

Для вивчення мінералу застосовано методи кристаломорфологічного аналізу, растрову електронну мікроскопію і мікрозондовий аналіз. Хімічний склад піроксенів вивчено на електронних мікроскопах JSM-6700F з енергодисперсійною системою для мікроаналізу JED-2300 і JXA-8200 (Jeol, Японія).

**Кристаломорфологія.** Гоніометричними дослідженнями [1] (гоніометр ГД-1) на кристалах ортопіроксену

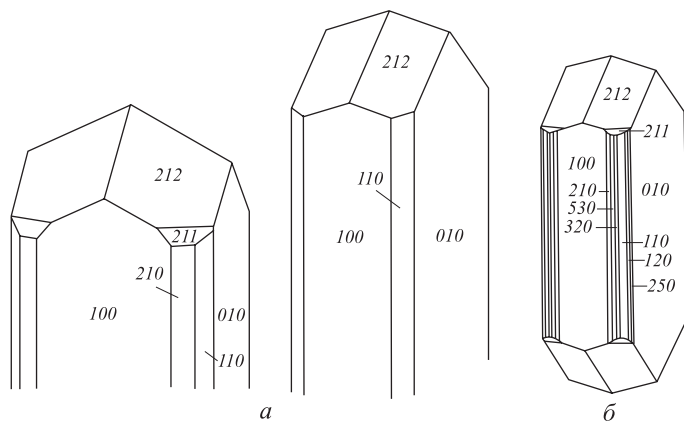


Рис. 1. Ідеалізовані кристали ортопіроксену: а — з туфів Вигорлат-Гутинського пасма; б — за даними [6]

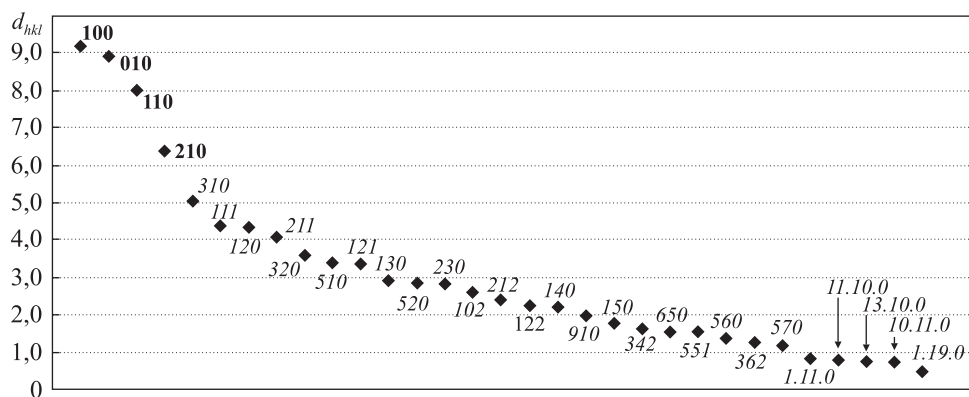
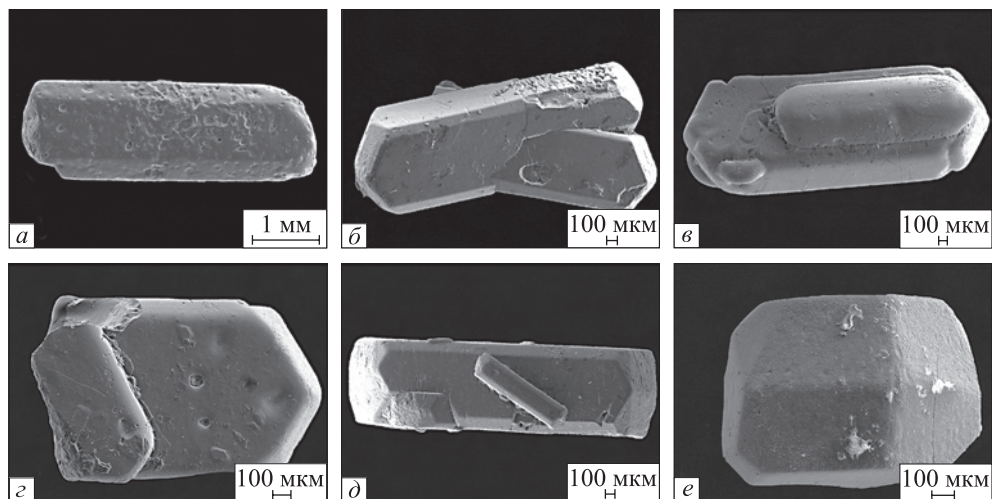


Рис. 2. Прості форми на кристалах ортопіроксену з туфів Вигорлат-Гутинського пасма (головні виділені жирним шрифтом, рідкісні другорядні — курсивом) та їх міжплощинні відстані  $d_{hkl}$

встановлені такі прості форми (установка В. Гольдшміда): габітусні —  $\{100\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{210\}$  і  $\{122\}$  (рис. 1, а); рідкісні другорядні, розвинуті на головках кристалів, —  $\{121\}$ ,  $\{362\}$ ,  $\{342\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{551\}$ ,  $\{212\}$ ,  $\{211\}$  і  $\{102\}$ ; рідкісні другорядні, розвинуті у вертикальному поясі, —  $\{120\}$ ,  $\{130\}$ ,  $\{140\}$ ,  $\{150\}$ ,  $\{230\}$ ,  $\{310\}$ ,  $\{320\}$ ,  $\{510\}$ ,  $\{520\}$ ,  $\{560\}$ ,  $\{570\}$ ,  $\{650\}$ ,  $\{910\}$ ,  $\{1.11.0\}$ ,  $\{1.19.0\}$ ,  $\{10.11.0\}$ ,  $\{11.10.0\}$ ,  $\{13.10.0\}$ . На вивчених кристалах виявлена 31 проста форма з відповідними міжплощинними відстанями (рис. 2). Видно, що габітусне значення на досліджуваних кристалах мають форми з найбільшими міжплощинними відстанями.

Аналогічна морфологія та гоніометрія для кристалів гіперстену із подібними геологічними умовами описана у 1951 р. японськими дослідниками [6], зокрема було встановлено прості форми  $\{100\}$ ,  $\{010\}$ ,  $\{110\}$ ,  $\{250\}$ ,  $\{120\}$ ,  $\{530\}$ ,  $\{320\}$ ,  $\{210\}$ ,  $\{212\}$ ,  $\{211\}$  (див. рис. 1, б).

**Морфологічні типи.** Морфологія кристалів ортопіроксену досить різноманітна, найпоширенішими є витягнуті вздовж осі  $c$  призматичні кристали декількох типів: поодинокі кристали з гладкими блискучими гранями (рис. 3, а); поодинокі кристали з включеннями і ямками розчинення—розплавлення на їх поверхні, які мають близьку до ізометричної форму (рис. 3, б); сильно кородовані кристали з неблискучими гранями (рис. 3, в).



**Рис. 3.** Типи кристалів ортопіроксену та їх зростки із туфів Вигорлат-Гутинського пасма: *a* — пінакоїдально-призматичний (стовпчастий); *б* — незакономірний зросток двох кристалів; *в* — паралельний зросток декількох кристалів; *г* — незакономірний зросток “оплавлених” кристалів; *д* — двійник кристалів з кутом  $45^\circ$  між індивідами вздовж осі [001]; *е* — ізометричний кристал

Дуже рідко трапляються ізометричні та короткопризматичні кристали (рис. 3, *е*). Спостерігаються також поодинокі, наближені до ізометричної форми, наче “оплавлені” кристали.

Характерною ознакою ортопіроксену є утворення ним паралельних і незакономірних зростків різнорозмірних кристалів з різним рельєфом поверхні: закономірні паралельні зростки двох різнорозмірних кристалів з гладкими блискучими гранями та чіткими ребрами (рис. 3, *а*); зростки двох різнорозмірних кристалів — менший за розміром кристал, розміщений під кутом  $45^\circ$  відносно великого, наростає на гладкій грані призми (рис. 3, *б*); зростки декількох кристалів, що наростає як паралельно, так і під кутом  $45^\circ$  (рис. 3, *в*); зростки двох і більше кристалів, грані яких мають численні ямки розчинення—розплавлення чи численні вклучення ізометричних у перерізі зерен магнетиту (рис. 3, *г*); зростки двох і більше кристалів з наче “оплавленими” поверхніми граней, вклучення та ямки на їхніх поверхнях відсутні (рис. 3, *д*).

Крім того, спостерігаються двійники проростання.

Наявність кристалів ортопіроксену як з гладкими гранями і чіткими ребрами, так і округлих із згладженими ребрами може свідчити, за даними [5], про реалізацію їх росту за пошаровим і нормальним механізмом відповідно. Останній здійснюється у разі кристалізації з розчинів-розплавів з великим пересиченням. Тоді зміна пошарового механізму росту грані на нормальний відображається і на самому кристалі — кристал набуває округлої форми.

**Мікроморфологія поверхонь.** Поверхні кристалів ортопіроксену характеризуються різноманітною морфологією. На макрорівні спостерігаються такі форми рельєфу поверхні: округлі ямки-відбитки інших кристалів (магнетит), нерівні дрібні виступи та западинки, глибокі канали, що перетинаються. Електронно-мікроскопічні дослідження дають змогу деталізувати ці форми рельєфу. Округлі ямки-відбитки від вклучень ізометричних кристалів магнетиту сягають розміру діаметром до 200, найчастіше — 100 мкм. Глибокі канали за збільшення виявляються своєрідними формами розчинення (рис. 4, *а*) — рядами виступів із складною будовою їхніх схилів (рис. 4, *б*).

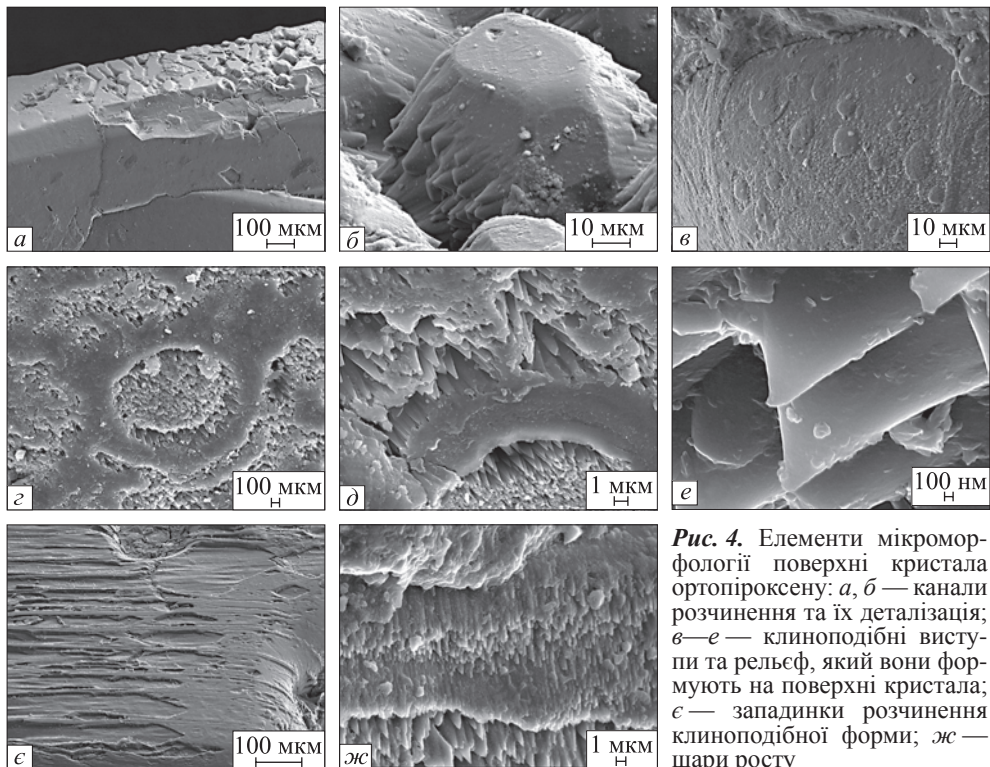


Рис. 4. Елементи мікроморфології поверхні кристала ортопіроксену: а, б — канали розчинення та їх деталізація; в—е — клиноподібні виступи та рельєф, який вони формують на поверхні кристала; е — западинки розчинення клиноподібної форми; ж — шари росту

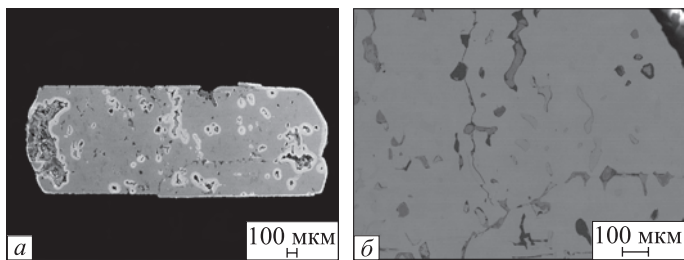


Рис. 5. Включення скла в кристалах ортопіроксену (б — деталізація)

**Хімічний склад ортопіроксену (за даними мікрозондового аналізу), %**

Аналіз, номер	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	Cl	F	Сума
1	54,36	0,25	1,39	16,64	0,34	25,92	1,83	0,06	0,00	0,06	0,00	0,01	0,00	100,87
2	54,12	0,23	1,39	15,98	0,39	26,28	1,83	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01	0,08	100,35

Найцікавішим є третій тип рельєфу поверхні, сформований з дрібних паралельно розміщених клиноподібних виступів (1 мкм за видовженням) (рис. 4, в—е). Останні утворюють як майже однорідну поверхню, так і своєрідний візерунок з гладких і нерівних поверхонь, западин та виступів. Самі виступи мають досить гладку поверхню. Крім візерунчастої та однорідної поверхні вони утворюють і східчасту поверхню (рис. 4, ж). Остання, можливо, є відображення шаруватого росту грані, на ній можна вирізнити принаймні чотири шари, утворені клиноподібними виступами. На грані призми форми розчинення набувають форми витягнутих клиноподібних западинок (рис. 4, е).



**Структурні параметри.** За даними рентгеноструктурного аналізу (рентгенівський апарат ДРОН-2,0, аналітик О.Є. Гречановська), параметри комірки мінералу становлять, нм: 1 —  $a = 18,346(14)$ ;  $b = 8,892(4)$ ;  $c = 5,222(3)$ ; 2 —  $a = 18,312(7)$ ;  $b = 8,850(3)$ ;  $c = 5,222(2)$ ; 3 —  $a = 18,274(20)$ ;  $b = 8,901(9)$ ;  $c = 5,224(8)$ ; 4 —  $a = 18,347(22)$ ;  $b = 8,886(10)$ ;  $c = 5,230(5)$ .

**Хімічний склад.** За даними мікрозондового аналізу ортопіроксен найближчий до гіперстену ( $Wo : En : Fs = 3,59 : 70,89 : 25,53$ ). Типовий аналіз складу кристала наведено в таблиці (електронний мікроскоп JXA-8200, аналітик В.Б. Соболев).

За даними [4], залізистість гіперстену у вивержених породах Закарпаття зростає від основних порід до кислих, %: у базальтах 30—38; андезитобазальтах 32—40 (у середньому 35); у двопіроксенових андезитах 40; гіперстенових андезитах 48; дацитах 44—52; у ріолітах — 55—60 %.

**Включення у кристалах ортопіроксену.** За результатами дослідження на електронному мікроскопі приполірованих зрізів кристалів ортопіроксену (рис. 5), мінерал містить деяку кількість включень скла неправильної форми.

**Висновки.** За даними гоніометричних досліджень, на кристалах наявні типові для ортопіроксену прості форми. За структурними параметрами і хімічним складом досліджений ортопіроксен належить до гіперстену. Наявність двох основних морфологічних типів кристалів (з чіткими та згладженими ребрами) з підпорядкованою кількістю останнього свідчить про зміну ступеня насиченості розплаву у процесі кристалізації ортопіроксену. Розмаїття елементів мікроморфології поверхні граней кристалів ортопіроксену з переважними формами розчинення також відображає зміну умов кристалізації. На швидке охолодження системи мінералоутворення вказує наявність включень скла у кристалах ортопіроксену.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Квасниця І.В., Шемякіна Т.І. Кристалломорфологія ромбічного піроксена из туфов Закарпаття (Україна) // Матеріали конф.: Федоров. сес., 2010. — СПб., 2010. — С. 102—104.
2. Лазаренко Е.К., Лазаренко Э.А., Барышников Э.К., Малыгина О.А. Минералогия Закарпаття. — Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1963. — С. 266—268.
3. Минералы Украины: Краткий справочник / Н.П. Щербак, В.И. Павлишин, А.Л. Литвин и др. — Киев: Наук. думка, 1990. — 408 с.
4. Соболев В.С., Костюк В.П., Бобриевич А.П. и др. Петрография неогеновых вулканических и гипабиссальных пород Советских Карпат. — Киев: Изд-во АН УССР, 1955. — 248 с.
5. Тимофеева В.А. Рост кристаллов из растворов-расплавов. — М.: Наука, 1978. — 268 с.
6. Takeshi Ichimura, Hideo Minato. Augite and Hyperstene Crystals from the Zao Volcanoes // Bull. the Tokyo Univ. — 1951. — 29. — P. 341—348.