

УДК 549.621.2.01/.02(477.8:292.452)

Н. Т. БІЛИК, Л. В. ГЕНЕРАЛОВА, І. Г. ЯЦЕНКО, В. Б. СТЕПАНОВ

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів; natbilik@i.ua, yatsenko.ivan@i.ua

МІНЕРАЛОГІЯ І ГЕОДИНАМІЧНІ УМОВИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРИДОТИТІВ З ОФІОЛІТІВ МАРМАРОСЬКОЇ ЗОНИ СКЕЛЬ (УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

Мета. Метою досліджень є вивчення петрографічних особливостей перидотитів офіолітів Мармароської зони скель, хімічного складу мінералів, встановлення термодинамічних параметрів їхнього перетворення, реконструкція геодинамічних обстановок становлення порід. **Методи.** Досліджено ділянки поширення перидотитів у басейні рік Мала і Велика Уголька (басейн р. Теремля) геокартувальним методом, лабораторне вивчення перидотитів охоплювало низку методів. Застосовано оптичні петрографічні методи. Хімічний склад мінералів ми вивчали за допомогою сканувального електронного мікроскопа, обладнаного енергодисперсійним детектором. **Результати.** Офіоліти Мармароської зони скель представлені катаклазованими лерцолітами та гарцбургітами. Їхній мінеральний склад характеризують такі мінерали: олівін, ромбічний піроксен, моноклінний піроксен, амфібол, тальк, серпентин, магнетит, шпінель. Вперше з використанням сканувального електронного мікроскопа-мікроаналізатора в перидотитах з офіолітів виявлені нові типи шпінелідів. Перша група шпінелідів за типохімізмом на діаграмі М. В. Павлова належить до пікотиту, друга – до хромпікотиту. Вперше у перидотитах з офіолітів виділено дві рівноважні асоціації мінералів: перша – олівін + шпінель + ромбічний піроксен + моноклінний піроксен; друга – шпінель + амфібол + тальк. Асоціації мінералів проаналізовано щодо температур та тисків їхнього перетворення. Для першої асоціації за шпінелевим і олівін-шпінелевим геотермометрами інтервалі температури: 900–1290 °С, інтервал тиску ~ 15 кбар. Для другої асоціації температура перетворення порід становить 430–450 °С, тиск – 4,0–4,5 кбар. Термодинамічні умови перетворення перидотитів відображаються в ступені їхнього часткового плавлення та швидкості спредінгу. Перша мінеральна асоціація перидотитів характеризує ступінь плавлення, що не перевищує 14 % і притаманний перидотитам зон повільного спредінгу; друга мінеральна асоціація проявляється в ступені часткового плавлення до 25 % і є характерною для асоціації перидотитів зон швидкого спредінгу. Проаналізувавши взаємовідношення між мінералами досліджуваних порід, ми допускаємо, що дві мінеральні асоціації утворилися послідовно. Перший етап становлення перидотитів слід пов'язувати з умовами повільного спредінгу в зоні шпінелевих перидотитів океанської кори. На другому етапі вони зазнали перетворень у надсубдукційних обстановках в умовах задугового спредінгу. **Наукова новизна.** Використання сканувального електронного мікроскопа-мікроаналізатора дало змогу уточнити мінеральний склад перидотитів та їхні петротипи; встановити дві рівноважні асоціації мінералів у них, виявити термодинамічні параметри утворення і перетворення перидотитів з офіолітів Мармароської зони скель. Запропонована оригінальна модель багатостадійного становлення перидотитів Українських Карпат. **Практичне значення.** Вивчення речовинних і геодинамічних характеристик еволюції перидотитів є актуальним з погляду проблеми формування земної кори і літосфери складчастих областей (на прикладі Українських Карпат). Отримані дані є потенційним елементом прогнозування ймовірного зрудення, пов'язаного з дослідженими перидотитами.

Ключові слова: Українські Карпати; офіоліти; перидотити; олістостроми; шпінеліди.

Вступ

Постановка проблеми. Серед геологічних проблем вивчення Українських Карпат чільне місце займають питання магматизму і реконструкції геодинамічних обстановок, з якими він пов'язаний. Відповідно до сучасних теоретичних уявлень поки не достатньо проаналізовано мінеральні та термодинамічні параметри становлення перидотитів з офіолітів Українських Карпат. Задача дослідження полягає у вивченні мінеральних параметрів перидотитів з метою реконструювання геодинамічних умов перетворення офіолітів Мармароської зони скель Внутрішніх Українських Карпат.

Аналіз останніх публікацій. У 1990-х роках вийшла монографія З. М. Ляшкевич та інших [Ляшкевич З. и др., 1995], яка узагальнила усі

наявні дані з магматизму Українських Карпат. Пізніше з'явилась низка статей [Павлюк М. та інш., 2013; Ступка О., 2013], в яких окремі питання розвивались на сучасному теоретичному рівні. Видання Карпатської серії аркушів Держгеолкарти України масштабу 1:200 000, великий об'єм геокартувальних робіт до вивчення території району досліджень та тематичні роботи дали змогу одержати нові дані. Вони дали можливість уточнити геологічну позицію офіолітів у структурі Українських Карпат, деталізувати особливості складу перидотитів офіолітової асоціації Мармароської зони скель і умови їхнього утворення.

Геологічна позиція офіолітів Мармароської зони скель. Ця робота є продовженням, деталізацією і уточненням попередніх досліджень.

Українські Внутрішні Карпати перебувають в області зчленування двох композиційних терейнів – на східному закінченні терейну Алькапа, який занурений під неогеновий чохол Мукачівської депресії Закарпатського прогину, та на північно-західному закінченні терейну Тися-Дакія, який виходить на денну поверхню у вигляді Мармароського масиву та Мармароської скельної зони (рис. 1. А, В). Між терейнами Тися-Дакія та Алькапа вклинюється Пенінська зона та продовження зовнішньокарпатського Магурського покриву – внутрішньокарпатський флішовий Монастирецький покрив. Мармароська скельна зона (Вежанський покрив) складена крейдово-палеогеновими відкладами, стратиграфічний розріз яких представлений так: нижньокрейдовою олістостромовою та олістостромово-конгломератовою товщею і сеноманськими алевро-псамітами соймультської світи, турон-маастихтськими (гемі)пелагічними червоними мергелями пухівської світи, маастрихтським тонкошаруватим флі-

шем ярмутської світи, палеоценоценовими флішоїдними та піскувато-мергелистими утвореннями, а також строкатоколірними (гемі)пелагічними мергелями метовської світи, олігоценовими (гемі)пелагічними чорними та темно-сірими аргілітами, мергелями, лінзами кременів, пісковиками дусинської світи. Ця зона насунена до північного сходу на Зовнішні (Флішеві) Карпати і з південного заходу структурно перекривається Монастирецьким покривом. Олістострома соймультської світи містить крупні олістоліти, подані двома групами порід. До першої групи належать фрагменти порід офіолітової асоціації, представлені перидотитами, базальтоїдами, червоними яшмоїдами, вапняками. До другої групи олістолітів належать кристалічні сланці, гнейси, гранітоїди, пермотріасові кварцові конгломерати, тріасюрські вапняки та доломіти. Матрикс олістостроми характеризується хаотичними утвореннями мулисто-уламкових потоків (debris-flows) [Гнилко О. и др., 2015].

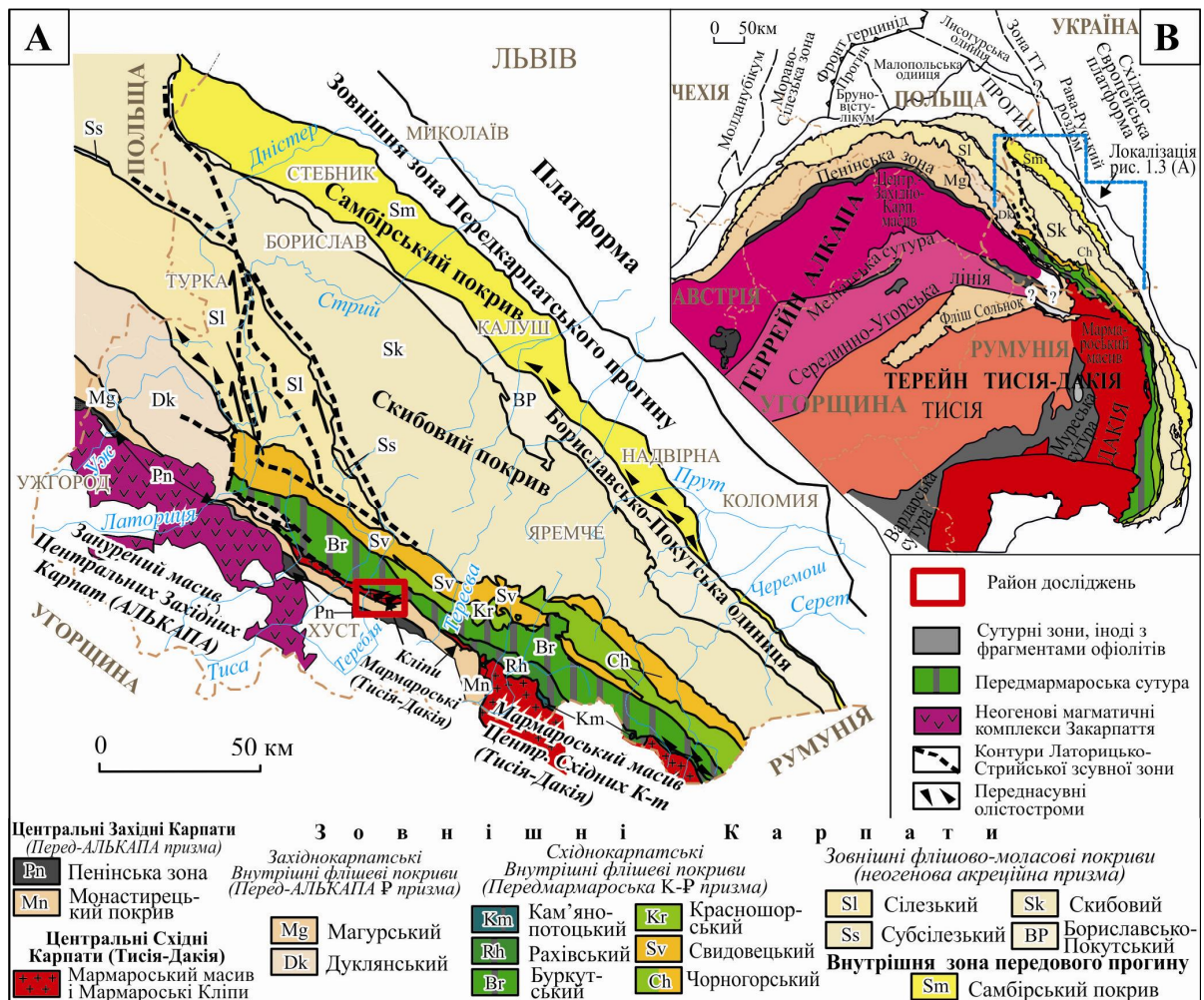


Рис. 1. Головні тектонічні одиниці Українських Карпат (Гнилко, 2015) (А); Тектонічне положення Українських Карпат за О. М. Гнилко [Сучасна ..., 2015] (В)
Fig. 1. Main tectonic units of the Ukrainian Carpathians (per Hnylko, 2015) (A); Tectonic setting of the Ukrainian Carpathians per Hnylko [Suchasna..., 2015] (B)

Мета

Метою наших досліджень є вивчення речовинних особливостей перидотитів офіолітів Мармароської зони скель, елементного складу породотвірних і акцесорних мінералів, термобарохімічних параметрів їхнього перетворення, реконструкції геодинамічних обстановок становлення порід у давньому океані Тетис. Головними завданнями було дослідити в природних відслоненнях рік Мала і Велика Уголька (басейн р. Теремля) перидотити з офіолітів, виявити їх структурне положення в Мармараській зоні скель (за допомогою геологічного картування “вузлових” ділянок), виконати аналіз мінерального складу порід, зокрема за допомогою новітніх методів досліджень, вивчити елементний склад мінералів, реконструювати умови перетворення перидотитів у складі офіолітів.

Методи досліджень

Ми провели комплекс досліджень, що складався з геологічних спостережень порід у відслоненнях, зокрема геокатрувальним методом, а також лабораторних петрографічних, мінералогічних та геохімічних досліджень перидотитів. Мінеральний склад та структурні особливості порід вивчали оптичними методами у полірованих шліфах у прохідному та поляризованому світлі. Інструментальні дослідження складу окремих мінералів та особливості мікроструктури породи здійснені за допомогою сканувального електронного мікроскопа РЕММА-102-02 (Суми, Україна), обладнаного енергодисперсійним аналізатором “EDAR” у лабораторії фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка, аналітик Р. Серкіс. Досліджено поліровані зразки ультраосновних порід (аншліфи). Параметри проведення аналізу такі: прискорювальна напруга 20 кВ, струм зонда 1 нА, діаметра зонду 0,1 мкм. Марка еталона, використаного для калібрування приладу – НЭРМА. ГЕО1.25.10.74 ГТ; виробник – фірма “Geotechnology” (Україна). Для калібрування окремих елементів використані такі стандарти: Na – альбіт; Mg – периклаз; Al, Si, Ca – анортит; P – фтор-апатит; S – пірит; K – мікроклін; Ti – македоніт; Cr – есколаїт; Mn – манганіт; Fe – гематит; As – GaAs (синтетичний); Ba – барит; Sc, Co, Ni, Cu, Zr, Ag, Au – чисті елементи. Для оброблення отриманих даних використане програмне забезпечення “Magallanes 3.2”. Використання новітніх аналітичних методів дає змогу виділити петрогеохімічні параметри мінералів магматичних порід, зокрема перидотитів, виявити їхні термо- і барометричні характеристики і пов'язати їх з умовами магмогенерації та подальшими метаморфічними перетвореннями. Вдалось простежити еволюційну спрямованість зміни хімічного складу хромшпінелідів, яка визначається умовами їх деплетування в верхній мантії і подальшими метаморфічними перетвореннями.

Результати мінерало-петрографічних досліджень перидотитів з офіолітів

Серед перидотитів діагностують лерцоліти, верліти, гарцбургіти, іноді піроксеніти, що часто серпентинізовані або і повністю перероблені в серпентиніти. Мінеральний склад перидотитів характеризується різноманітністю. У них трапляються ромбічні та моноклінні піроксени, олівін, хромшпінеліди, тремоліт, тальк, серпентин. Аналізуючи взаємовідношення мінералів, можна виділити дві асоціації, які формувалися послідовно. Первинна мінеральна асоціація представлена олівіном, піроксеном, хромшпінелідами (пикотит). Пізніша (вторинна) мінеральна асоціація вміщує хромшпінеліди (хромпикотит), тремоліт, тальк, серпентин, хлорит, кальцит.

За мінеральним складом і структурними особливостями перидотити представлені катаклазованими лерцолітами та гарцбургітами. Структура порід порфірокластична. Мінеральний склад перидотитів: олівін, ромбічний піроксен, моноклінний піроксен, амфібол, тальк, серпентин, магнетит, шпінель.

Олівін формує великі (1,0–1,5 мм) виділення ізометрично-еліпсоподібної форми які розбиті системою тріщинок на мікроблоки розміром до 0,01 мм (рис. 2, А).

За результатами мікроаналітичних досліджень (табл. 1) кристалохімічна формула олівіну: $(Mg_{1,74-1,78}Fe^{2+}_{0,18-0,19})_{1,93-1,97}[Si_{1,01-1,03}O_4]$, вміст Fe^{2+} коливається від 6,79 до 7,03 атом.%, що відповідає форстериту.

Таблиця 1

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти олівіну за результатами мікроаналітичних досліджень

Table 1

Chemical composition and formula coefficients of olivine

Мас. %	Номери проб		
	1	2	3
SiO ₂	41,01	40,23	41,81
TiO ₂	0,22	0,06	0,00
FeO	9,02	8,71	9,01
MgO	48,53	46,72	47,60
MnO	0,16	0,21	0,10
Na ₂ O	0,01	0	0,33
K ₂ O	0,01	0,07	0,00
Cr ₂ O ₃	0	0,23	0,16
Σ	98,96	96,23	99
Формульні коефіцієнти			
Si	1,01	1,02	1,03
Mg	1,78	1,76	1,74
Fe ²⁺	0,19	0,18	0,19
Mn ²⁺	0,00	0,00	0
Σ	1,97	1,95	1,93

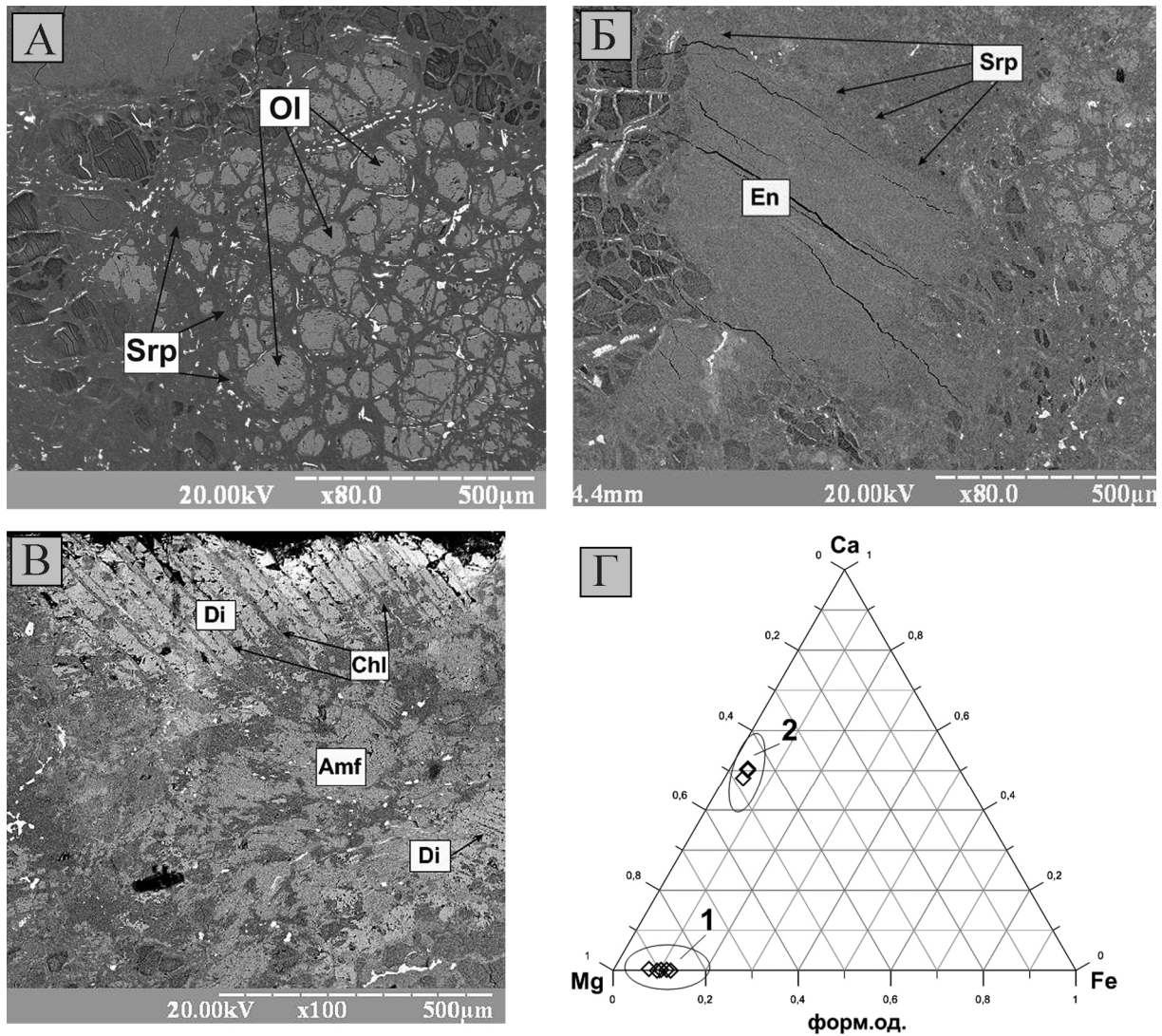


Рис. 2. Ізометрично-еліпсоподібне зерно олівіну (Ol); розвиток петельчастого серпентину (Srp) по олівіну (BSE-зображення) (А). Зерно енстатиту (En), по якому розвивається серпентин (Srp) (BSE-зображення) (Б). Розвиток хлориту (Chl) по тріщинах спайності зерен діопсиду (Di); амфібол (Amf) (BSE-зображення) (В). Варіації хімічного складу піроксенів у трикомпонентній системі $Mg - Fe^{2+} - Ca$: 1 – поле енстатиту; 2 – поле діопсиду (Г)

Fig. 2. Elliptical olivine grain (Ol) replaced by serpentine (Srp); BSE-image (A). Enstatite grain (En) replaced by serpentine (Srp); BSE-image (B). Chlorite (Chl), developed along cleavage by diopside grain (Di); amphibole (Amf); BSE-image (B). Variations in chemical composition of pyroxene shown in ternary diagram $Mg - Fe^{2+} - Ca$: 1 – enstatite field; 2 – diopside field (Г)

Піроксени утворюють великі (1,0–2,0 мм) коротко- і видовжено-таблитчасті виділення. Зерна розтягнуті по спайності перпендикулярно до видовження і вигнуті паралельно до видовження. Піроксени мають хвилясте погасання і мікролейстово-мозаїчну структуру за класифікацією Т. Анциферової [Анциферова Т., 2008].

Більша частина зерен ромбічних піроксенів частково або повністю заміщена серпентином (рис. 2, Б), іноді – тальком і амфіболом. Моноклінні піроксени практично не змінені, іноді по тріщинах спайності помітний хлорит (рис. 2, В). Кристалохімічна формула моноклінних піроксенів

за результатами мікроаналітичних даних (табл. 2, проби 6–9) – $Ca_{0,87-0,94}(Mg_{0,82-0,85}Fe^{2+}_{0,07}Al_{0,00-0,14}Cr^{3+}_{0,00-0,04})_{0,97-1,09}[(Si_{1,83-1,88}Al_{0,11-0,24})_{1,99-2,07}O_6]$, представлені діопсидом. Кристалохімічна формула ромбічних піроксенів за результатами мікроаналізу (табл. 2, проби 1–5) – $(Mg_{1,74-1,93}Fe^{2+}_{0,14-0,22}Mn^{2+}_{0,00-0,01}Ca_{0,00-0,01})_{1,90-2,16}[(Si_{1,69-2,01}Al_{0,05-0,33}Fe^{3+}_{0,00-0,11}Ti^{4+}_{0,00-0,01})_{1,99-2,06}O_6]$ – це гіперстен, за вмістом феросилітової компоненти Fs_{0-12} його можна зарахувати до енстатиту.

Отже, піроксени представлені діопсидом і енстатитом. Варіації хімічного складу піроксенів у трикомпонентній системі $Mg - Fe^{2+} - Ca$ (рис. 2, Г).

Шпінель утворює окремі ізометрично-еліпсоподібні зерна (рис. 3, А) розміром 0,2–0,4 мм з мікропротогранулярною структурою [Анциферова, 2008] і дрібні (до 0,05 мм) гострокутні виділення неправильної форми в серпентині і в інтерстиціях зерен піроксенів (рис. 3, Б).

За хімічним складом, який визначений за результатами мікроаналітичних досліджень (табл. 3), виділяють дві групи шпінелідів: перша – збагачені Mg (більші зерна), в яких вміст Al^{3+} значно переважає над вмістом Cr^{3+} ; друга – збіднені Mg

(дрібні зерна), в яких вміст Al^{3+} майже дорівнює вмісту Cr^{3+} [Barnes S.J. et al., 2001].

На діаграмі М. В. Павлова (рис. 3, В) перша група шпінелідів потрапляє в поле пікотиту, кристалохімічна формула якого – $(Mg_{0,71-0,83}Fe^{2+}_{0,17-0,27}Mn^{2+}_{0,00-0,01})_{0,98-1,01}(Al_{1,60-1,74}Cr^{3+}_{0,27-0,35}Fe^{3+}_{0,00-0,06}Ti_{0,00-0,01})_{1,99-2,01}O_4$. Друга група шпінелідів потрапляє в поле хромпікотиту, кристалохімічна формула якого – $(Mg_{0,43-0,59}Fe^{2+}_{0,34-0,56}Mn^{2+}_{0,00-0,04})_{0,90-1,01}(Al_{1,01-1,42}Cr^{3+}_{0,55-0,93}Fe^{3+}_{0,00-0,01}Ti_{0,00-0,01})_{1,98-2,00}O_4$.

Таблиця 2

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти піроксенів за результатами мікроаналітичних досліджень

Table 2

Chemical composition (in wt.%) and formula coefficients of pyroxenes

Номери проб									
Мас. %	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	48,20	47,59	51,69	48,88	58,56	52,49	50,50	51,25	50,15
Al ₂ O ₃	6,26	7,93	1,70	6,70	1,33	5,96	5,12	3,99	7,07
FeO	7,57	8,11	6,49	8,78	4,99	0,20	0,72	0,43	0,30
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	4,29	0,00	0,00	2,43	2,41	2,36	2,34
MgO	36,66	34,69	34,64	34,74	34,05	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,12	0,01	0,22	0,07	0,22	16,15	15,28	15,79	15,12
CaO	0,09	0,07	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	0,21	0,00	0,00	0,12	0,00	22,62	23,30	24,14	23,32
Na ₂ O	0,00	0,23	0,29	0,00	0,19	0,94	0,89	0,71	0,20
K ₂ O	0,10	0,00	0,27	0,00	0,00	0,04	0,03	0,14	0,21
Cr ₂ O ₃	0,78	0,88	0,20	0,40	0,00	0,00	1,12	1,18	1,28
Σ	100	99,50	99,80	99,70	99,50	100,83	99,37	100,00	100,00
Формульні коефіцієнти									
Si	1,70	1,69	1,83	1,73	2,01	1,88	1,86	1,86	1,83
Al	0,26	0,33	0,07	0,28	0,05	0,11	0,14	0,17	0,24
Cr ³⁺	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03	0,04
Ti ⁴⁺	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	1,99	2,05	2,02	2,02	2,06	1,99	2,05	2,08	2,11
Fe ²⁺	0,22	0,24	0,19	0,26	0,14	0,07	0,07	0,07	0,07
Mg	1,93	1,84	1,83	1,83	1,74	0,86	0,84	0,85	0,82
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,87	0,92	0,94	0,91
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,08	0,00	0,06
Σ	2,16	2,08	2,02	2,09	1,90	1,95	1,91	1,87	1,87

Амфібол утворює короткотаблитчасті зерна розміром до 0,01 мм, трапляється в інтерстиціях зерен моноклінних піроксенів (рис. 2, В). Кристалохімічна формула амфіболу за результатами мікроаналітичних досліджень – $(Ca_{1,94-2,01}Na_{0,06-0,16})_{2,02-2,20}(Mg_{4,76-4,78}Fe^{2+}_{0,20-0,26}Ti^{4+}_{0,03}Mn^{2+}_{0,01})_{4,95-5,02}(OH)_2$ $[(Si_{7,80-7,91}Al_{0,11-0,15})_{7,98-8,01}O_{22}]$. Склад досліджених зерен амфіболу становить (мас. %):

– SiO₂ – 57,5; TiO₂ – 0,31; Al₂O₃ – 0,66; FeO – 1,76; MgO – 23,39; MnO – 0,1; CaO – 13,23; Na₂O – 0,22; K₂O – 0,01; Cr₂O₃ – 0.

– SiO₂ – 57,02; TiO₂ – 0; Al₂O₃ – 0,92; FeO – 2,31; MgO – 23,33; MnO – 0; CaO – 13,74; Na₂O – 0,61; K₂O – 0,16; Cr₂O₃ – 0,32. Визначений амфібол належить до кальцієвих амфіболів і потрапляє в поле тремоліту (рис. 3, Г).

Тальк трапляється локально, утворює переривчасто-ланцюжкові лейстоподібні скупчення в інтерстиціях зерен олівіну і ромбічного піроксену. Кристалохімічна формула тальку за результатами мікроаналітичних досліджень – $(\text{Mg}_{2,83-3,16}\text{Fe}^{2+}_{0,00-0,17}\text{Ca}_{0,00-0,03})_{3,02-3,16}(\text{OH})_2[(\text{Si}_{3,71-3,78}\text{Fe}^{3+}_{0,16-0,26}\text{Al}_{0,02-0,07})_{3,99-4,02}\text{O}_{10}]$.

Хімічний склад досліджених зерен тальку становить (мас. %):

$\text{SiO}_2 - 47,52$; $\text{TiO}_2 - 0,07$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,79$;
 $\text{FeO} - 2,5$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2,73$; $\text{MgO} - 23,85$; $\text{MnO} - 0,1$;
 $\text{CaO} - 0,31$; $\text{K}_2\text{O} - 0,56$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 0,23$;

$-\text{SiO}_2 - 52,67$; $\text{TiO}_2 - 0$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,21$; $\text{FeO} - 0$;
 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 4,95$; $\text{MgO} - 30,14$; $\text{MnO} - 0$; $\text{CaO} - 0$;
 $\text{K}_2\text{O} - 0,16$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 0$;

Серпентин часто, псевдоморфно заміщує ромбічний піроксен (див. рис. 2, Б) і у вигляді петельок розвивається по тріщинах в олівіні (див. рис. 2, А). Кристалохімічна формула серпентину за результатами аналізу (табл. 4) – $(\text{Mg}_{2,16-2,75}\text{Fe}^{2+}_{0,18-0,45}\text{Al}_{0-0,36}\text{Cr}^{3+}_{0-0,04}\text{Mn}^{2+}_{0-0,02}\text{Na}_{0-0,04}\text{Ca}_{0-0,01})_{2,79-2,95}(\text{OH})_4[(\text{Si}_{1,81-2,13}\text{Al}_{0-0,20}\text{Ti}_{0-0,02})_{1,95-2,13}\text{O}_5]$. Петельчастий серпентин явно пізніший і кородує таблитчастий, розвиваючись по ньому у вигляді різноорієнтованих прожилків (рис. 4).

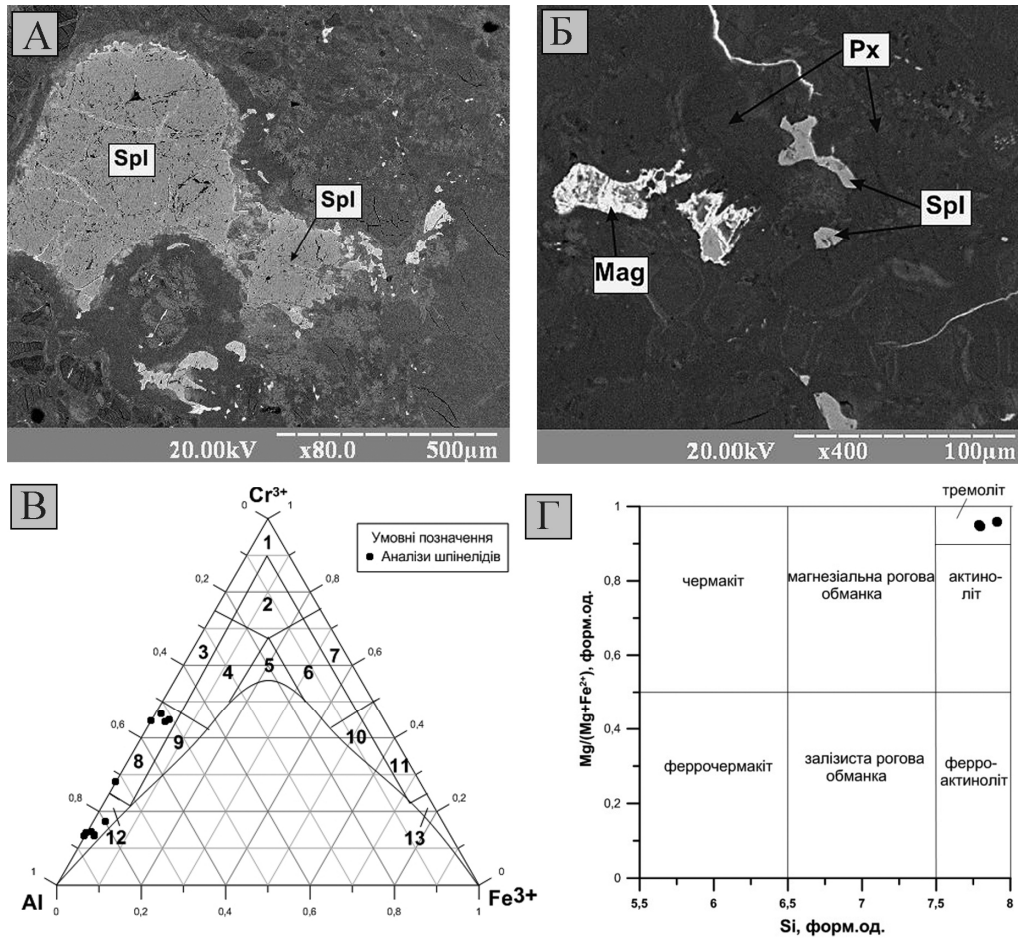


Рис. 3. Ізометрично-еліпсоподібне зерно шпінелі (Spl) з мікропротогранулярною структурою (BSE-зображення) (А). Гострокутні виділення шпінелі (Spl) неправильної форми в інтерстиціях зерен піроксенів (Px); магнетит (Mag) (BSE-зображення) (Б). Склад хромшпінелідів на класифікаційній діаграмі Н. В. Павлова [Павлов, 1949]; підсімейства хрошпінелідів: 1 – хроміт, 2 – субферрохроміт, 3 – алюмохроміт, 4 – субферроалюмохроміт, 5 – ферроалюмохроміт, 6 – субалюмоферрохроміт, 7 – феррохроміт, 8 – хромпикотит, 9 – субферрохромпикотит, 10 – субалюмохроммагнетит, 11 – хроммагнетит, 12 – пикотит, 13 – магнетит (В). Варіації хімічного складу кальцієвих амфіболів [Лик и др., 1997] (Г)

Fig. 3. Elliptical grain of spinel (Spl) with microgranular structure; BSE-image (A). Grains of pyroxene (Px) with acute-angled interstitial spinel (Spl); magnetite (Mag); BSE-image (B). Composition of pyroxenes on the Pavlov diagram [Pavlov, 1949]; chromspinel subfamily: 1 – chromite, 2 – subferrochromite, 3 – alumochromite, 4 – subferroalumochromite, 5 – ferroalumochromite, 6 – subalumoferrochromite; 7 – ferrochromite, 8 – chrom-pycotite, 9 – subferrochrompycotite, 10 – subalumochrommagnetite, 11 – chrom-magnetite, 12 – pycotite, 13 – magnetite (B). Variations in the chemical composition of calcium amphibol (Г)

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти шпінелідів

The major element composition (in wt.%) and a formula coefficients of spinels

Мас. %	Номери проб										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Al ₂ O ₃	55,76	59,53	54,45	43,13	51,75	54,68	54,80	31,31	29,37	28,55	28,50
FeO	12,46	12,67	7,76	14,69	9	8,71	9,72	15,74	17,5	21,73	15,37
Fe ₂ O ₃	0	0	2,22	0,00	2,96	2,34	0,83	0	1,39	3,02	3,65
MgO	18,67	19,34	21,17	16,43	19,74	20,41	20,20	13,26	12,32	9,41	12,77
Cr ₂ O ₃	13,63	13,55	13,07	24,91	16,79	12,91	14,01	37,62	39,22	36,37	37,57
TiO ₂	0,03	0,22	0,34	0,15	0,14	0,43	0,24	0,33	0,27	0,27	0,48
MnO	0,58	0,39	0,00	0,00	0,51	0,52	0,20	1,14	0,69	0,60	1,47
CaO	0	0	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,05	0,20
Σ	101,1	105,7	99	99,31	100,9	100	100	99,4	100,8	100,00	100
Формульні коефіцієнти											
Mg	0,72	0,71	0,83	0,55	0,77	0,79	0,79	0,59	0,55	0,43	0,57
Fe ²⁺	0,27	0,26	0,17	0,34	0,20	0,19	0,21	0,39	0,44	0,56	0,39
Mn ²⁺	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,02	0,04
Σ	1,01	0,99	1,00	0,90	0,98	0,99	1,00	1,01	1,00	1,01	1,00
Al	1,71	1,74	1,68	1,42	1,60	1,68	1,69	1,10	1,03	1,03	1,01
Cr ³⁺	0,28	0,27	0,27	0,55	0,35	0,27	0,29	0,89	0,93	0,88	0,89
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,04	0,00	0,06	0,05	0,02	0,00	0,03	0,07	0,08
Ti ⁴⁺	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Σ	1,99	2,00	2,00	1,98	2,01	2,00	2,00	1,99	2,00	1,99	2,00

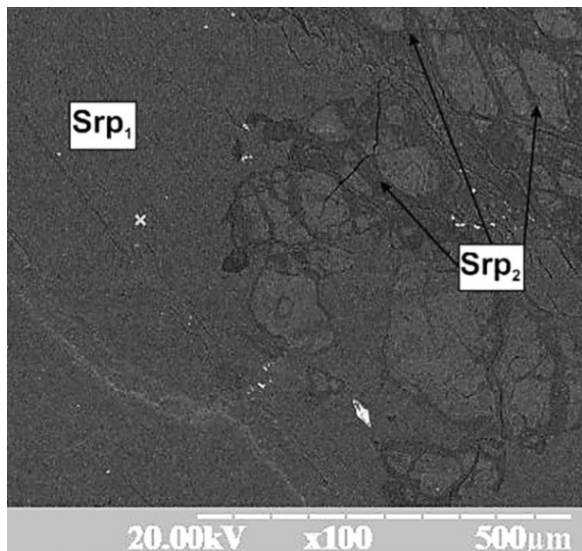


Рис. 4. Розвиток по табличчастому серпентину (Srp1) петельчастого серпентину (Srp2). BSE-зображення

Fig. 4. Tabular serpentine (Srp1), loopy serpentine (Srp2); BSE-image

За показником заломлення петельчастий серпентин ($n_p = 1,535$) відповідає хризотилу, табличчастий ($n_p = 1,540$) – лїзардиту. У серпентині нерідко помітні численні точкоподібні вклучення магнетиту.

Хлорит розвивається по тріщинах спайності моноклінних піроксенів (див. рис. 2, В). Кристалохімічна формула хлориту за результатами аналізу (табл. 5): $(Mg_{2,81-4,71}Fe^{2+}_{0,36-1,37}Mn^{2+}_{0,01-0,33}Ca_{0-0,01})_{4,51-5,09}Al_{0,83-1,31}(OH)_8 [(Si_{3,04-3,23}Al_{0,83-1,31})_{4-4,1}O_{10}]$. За співвідношенням F' і кількості $Al^{[4]}$ хлорит належить до корундофіліту [Годовиков, 1983].

Наукова новизна та практичні аспекти дослідження

Автори отримали нові дані, що дають змогу інтерпретувати умови утворення перидотитів з офіолітів Мармароської зони скель. Взаємовідношення мінералів у перидотитах Мармароської зони скель дає змогу виділити дві рівноважні асоціації: перша – олівін + шпінель + ромбічний та моноклінний піроксени; друга – шпінель + амфібол + тальк.

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти серпентину

Table 4

Chemical composition (in wt.%) and formula coefficients of serpentine

Мас. %	Номери проб										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
NaO	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0,39	0,17
MgO	35,43	34,34	32,03	34,35	32,7	31,12	26,4	33,5	33,72	30,95	37,7
Al ₂ O ₃	7,27	1,98	5,66	0,55	8,37	6,65	4,55	6,92	5,86	9,45	0
SiO ₂	44,24	46,26	42,61	46,94	43,4	41,12	36,29	42,3	43,37	35,79	41,1
K ₂ O	0,13	0,02	0,16	0,01	0,04	0,1	0,06	0	0,02	0,22	0
CaO	0,1	0,01	0,14	0,2	0,07	0	0,15	0	0	0	0,07
TiO ₂	0,05	0	0,53	0,36	0,58	0	0,48	0	0,16	0	0,19
Cr ₂ O ₃	1,1	0,07	0,99	0	1,08	0,89	0,87	0,99	1,14	0,11	0,14
MnO	0,22	0	0,43	0,38	0,12	0,12	0,14	0,02	0,26	0	0,14
FeO	5,88	12,14	7,46	11,44	7,95	11,32	5,49	11,3	8,39	4,34	4,55
Σ	94,43	94,82	90,01	94,29	94,31	91,32	74,45	95,1	92,94	81,25	84,1
Формульні коефіцієнти											
Si	1,92	2,13	1,95	2,09	1,90	1,89	1,99	1,87	1,95	1,81	2,01
Al	0,09	0	0,00	0,00	0,10	0,11	0,00	0,13	0,00	0,20	0
Ti	0,00	0	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0
Σ	2,01	2,13	1,97	2,09	2,00	2,00	2,02	2,00	1,95	2,01	2,01
Al	0,29	0,10	0,31	0,03	0,34	0,26	0,30	0,24	0,31	0,36	0
Mg	2,32	2,29	2,22	2,31	2,16	2,17	2,19	2,23	2,29	2,33	2,75
Mn	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0
Fe ²⁺	0,22	0,45	0,29	0,43	0,29	0,44	0,26	0,42	0,32	0,18	0,19
Cr ³⁺	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0	0
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02
Σ	2,87	2,86	2,88	2,79	2,83	2,91	2,80	2,93	2,97	2,91	2,95

Для порід першої мінеральної асоціації за методиками Г. П. Пономарева [Пономарев Г. и Пузанков В., 2012], І. С. Чашухина [Чашухин и др. 2000], Б. А. Базилева [Bazyle V. et al. 2003] оцінені термодинамічні параметри перетворення порід. Температура за шпінелевим і олівін-шпінелевим геотермометрами коливається в інтервалі 900–1290 °С. Для цієї ж асоціації тиск визначений за методиками Г. П. Пономарева [Пономарев Г. и Пузанков М., 2012] ~ 15 кбар.

Температура перетворення порід, до складу яких входить друга мінеральна асоціація, становить 430–450 °С, тиск – 4,0–4,5 кбар. Вони визначені за методиками Т. В. Гері [Геря Т., 1999] та І. С. Чашухина [Чашухин І. и др. 2000].

Різні термодинамічні умови перетворення перидотитів відображають різну хромистість шпінелідів, а вона має взаємозв'язок зі ступенем

часткового плавлення ультрабазитів. З використанням графічних і математичних методів, запропонованих у праці Т. А. Радомської [Радомская Т., 2012] та І. Uasal [I. Usal et al, 2012], встановлено, що шпінель першої мінеральної асоціації (пикотит) та фрагменти центральних частин шпінелідів другої асоціації кристалізувалися за низького ступеня часткового плавлення (14 %), які характерні для абісальних перидотитів серединно-океанічних хребтів (СОХ). Шпінеліди другої мінеральної асоціації (хромпикотит) мають вищий ступінь часткового плавлення, що є характерним для перидотитів надсубдукційних зон. За варіаціями хромистості шпінелідів перидотитів і ступеня їх часткового плавлення можна визначити швидкість спредингу. За методичними і графічними рекомендаціями з праці Є. А. Красної [Краснова Є., 2014] ми

встановили, що перша мінеральна асоціація характеризує перидотити повільноспредінгових хребтів СОХ, друга – притаманна ультрабазитам зон швидкого спредінгу, вірогідно, надсубдукційних зон.

Таблиця 5

Хімічний склад (мас. %) та формульні коефіцієнти хлориту

Table 5

Chemical composition (in wt.%) and formula coefficients of chlorite

Mac%	Номери проб		
	1	2	3
SiO ₂	33,65	28,31	33,8
Al ₂ O ₃	18,39	17,98	14,25
TiO ₂	0,3	0	0
FeO	7,34	15,25	4,55
MgO	29,85	17,57	33,07
MnO	0,31	3,6	0,16
CaO	0,09	0,02	0
Na ₂ O	0,06	0	0
K ₂ O	0,59	0,07	0,09
Cr ₂ O ₃	0,07	0,05	0,4
Σ	90,65	82,85	86,32
Формульні коефіцієнти			
Si	3,10	3,04	3,23
Al	1,00	0,96	0,77
Σ	4,10	4,00	4,00
Al	1	1,31	0,83
Fe ²⁺	0,57	1,37	0,36
Mg	4,10	2,81	4,71
Mn ²⁺	0,02	0,33	0,01
Ca	0,01	0,00	0
Σ	4,70	4,51	5,09

Виконані дослідження дають змогу конкретизувати мінеральні характеристики і відтворити геодинамічні умови становлення перидотитів з офіолітів Мармароської зони скель. За характером взаємовідношення між мінералами вивчених порід, вирізняються дві асоціації, які формувалися послідовно. Первинна мінеральна асоціація представлена олівіном, піроксеном, хромшпінелідами (пикотит). Пізніша (вторинна) мінеральна асоціація вміщує хромшпінеліди (хромпикотит), тремоліт, тальк, серпентин, хлорит, кальцит.

Первинне формування перидотитів пов'язане з умовами спредінгу СОХ. За термодинамічними параметрами мінералів досліджуваних порід басейну р. Тересля їх становлення приурочене до зони шпінелевих перидотитів океанічної кори.

Пізніше відбулось перетворення перидотитів, і генетично пов'язаних з ними порід, у надсубдукційних ситуаціях.

Вивчені олістоліти перидотитів Мармароської зони скель є продуктами розмиву літосфери Трансильванського океану й островодужних магматичних утворень, які були обдуковані на окраїну мікроматиненту Дакія (Мармароський масив) при колізійних процесах у ранній крейді [Гнилко О. и др., 2015].

Поглиблене і детальне вивчення мінералів петротипів перидотитів з офіолітів, визначення термобаричних умов їх утворення і перетворення, складання ретроспективних геодинамічних моделей еволюції, дасть змогу прогнозувати просторово-вікове поширення порід у складі офіолітових асоціацій Мармароської зони скель Внутрішніх Карпат. Вивчення речовинних і геодинамічних характеристик еволюції перидотитів є актуальним з погляду проблеми формування земної кори і літосфери складчастих областей (на прикладі Українських Карпат). У практичному аспекті дослідження дає змогу поглибити знання щодо металогенії перидотитів з офіолітів об'єкта, який вивчався. Зазвичай комплекси ультраосновних порід є об'єктом особливої уваги з погляду їхньої ймовірної рудоносності. З гіпербазитовими інтрузивами у світі пов'язані родовища магматичного типу з промисловими концентраціями хрому, міді, нікелю, елементів платинової групи (Pt, Pd, Os, Ir). Підвищені концентрації елементів платинової групи трапляються у скупченнях хромшпінелідів. Специфікою перидотитів серед інших типів ультраосновних порід є схильність до утворення підвищених концентрацій осмію та іридію. Так, вивчення геології, мінерального та хімічного складу перидотитів Мармароської зони скель, реконструкція геодинамічних умов їх формування та процесів перетворення можна використати у прогнозній оцінці ймовірної рудоносності.

Висновки

Проведені дослідження дають змогу сформулювати такі нові наукові результати:

1. За вивченими нами і попередниками мінеральними асоціаціями перидотити з офіолітів нижньокрейдової соймульської олістостромово-конгломератової товщі Мармароської скельної зони представлені катаклазованими лерцолітами та гарцбургітами.

2. Мінеральний склад характеризують такі мінерали: олівін, ромбічний піроксен, моноклінний піроксен, амфібол, тальк, серпентин, магнетит, шпінель. Встановлено кристалохімічні формули породоутворювальних, акцесорних і вторинних мінералів.

3. Вперше з використанням сканувального електронного мікроскопа-мікроаналізатора в перидотитах з офіолітів виявлені дві групи шпінелідів. Перша група шпінелідів за типохімізмом на

діаграмі М. В. Павлова належить до пікотиту, друга – до хромпікотиту.

4. Вперше у перидотитах з офіолітів виділено дві рівноважні асоціації мінералів: перша – олівін + шпінель (пікотит) + ромбічний піроксен + моноклінний піроксен; друга – шпінель (хромпікотит) + амфібол + тальк. Асоціації мінералів проаналізовано щодо температур та тисків їхнього перетворення. Для першої асоціації за шпінелевим і олівін шпінелевим геотермометрами вони є в інтервалі 900–1290 °С за тиску ~15 кбар. Для другої асоціації температура перетворення порід становить 430–450 °С, тиск – 4,0–4,5 кбар.

5. Термодинамічні умови перетворення перидотитів відображають ступінь їхнього часткового плавлення та швидкість спредінгу. Перша мінеральна асоціація перидотитів характеризує ступінь плавлення, що не перевищує 14 % і притаманна повільноспредінговим зонам; друга мінеральна асоціація проявляється в ступені часткового плавлення до 25 % і є характерною для зон швидкого спредінгу.

Перший етап становлення перидотитів Мармароської зони скель слід пов'язувати з близькофракційним плавленням у шпінелевій фації глибинності океанської кори в умовах повільного спредінгу абісальних ультрабазитів СОХ. Про це, зокрема, свідчить помірна до 0,5 хромистість шпінелідів вивчених перидотитів. На другому етапі перидотити, очевидно, зазнали перетворень у надсубдукційних обстановках в умовах задугового швидкого спредінгу. Шпінеліди цих перидотитів характеризуються високою і дуже високою хромистістю.

Вивчення структурно-речовинних і геодинамічних характеристик перидотитів Мармароської зони скель (так званого угольського комплексу) є актуальним з погляду проблеми формування земної кори і літосфери складчастих областей (на прикладі Українських Карпат). Крім теоретичного інтересу, воно має практичний сенс, тому дає змогу поглибити знання щодо металогенічних аспектів перидотитів з офіолітів об'єкта, який вивчався.

Література

Анциферова Т. Н. Деформационные и реакционные (расплав/порода) изменения состава минералов реститовых гипербазитов офіолитов (Восточного Саяна): петрогенетические аспекты / Т. Н. Анциферова // Геология и полезные ископаемые. Изв. Томского политех. ун-та. – 2008. – Т. 312, № 1. – С. 21–25.

Геря Т. В. Р-Т тренды и модель формирования гранулитовых комплексов докембрия : автореф. дис. д-ра геол.-мин. наук / Т. В. Геря. – М., 1999. – 49 с.

Гнилко О. М. Формирование структур угесовых зон и межугесового флиша Внутренних Украинских Карпат – результат сближения и

коллизии микроконтинентальных / О. М. Гнилко, С. Р. Гнилко, Л. В. Генералова // Вестн. С.-Петербур. ун-та. – 2015. – Сер. 7, Вып. 2. – С. 4–24.

Годовиков А. А. Минералогия / А. А. Годовиков. – М. : Недра, 1983. – 647 с.

Краснова Е. А. Магматическая и метаморфическая эволюция мантийного субстрата литосферы северо-западной части Тихого океана / Е. А. Краснова: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – М., 2014. – 26 с.

Ляшкевич З. М. Тектоно-магматическая эволюция Карпат / З. М. Ляшкевич, А. П. Медведев, Ю. З. Крупский, А. С. Варичев, В. Р. Тимошук, О. О. Ступка. – К. : Наук. думка, 1995. – 132 с.

Лик Б. Э. Номенклатура амфиболов: доклад подкомитета по амфиболам комиссии по новым минералам и названиям минералов международной международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) / Б. Э. Лик, А. Р. Вуллей, С. Э. С. Арпе, В. Д. Бирч, М. С. Гилберт, Ж. Д. Гресе, Ф. С. Хавторн, А. Като, Г. Ж. Кич, В. Г. Кривовичев, К. Линтоут, Ж. Лэйрд, Ж. А. Мандарино, Ф. В. Марэш, Э. Х. Никэль, Н. М. С. Рок, Ж. С. Шумахер, Д. С. Шмид, Н. С. Н. Стефенсон, Л. Унгаретти, Э. Ж. В. Виттакер, Г. Юзхи // Зап. Всерос. минерал. об-ва. – 1997. – № 6. – С. 82–102.

Павлов Н. В. Химический состав хромшпи-нелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов / Н. В. Павлов // Труды Геологического института РАН. – 1949. – Вып. 103. – № 3. – 91 с.

Павлюк М. І. Українські Карпати в структурі Панкардії (магматизм і геодинаміка) / М. І. Павлюк, З. М. Ляшкевич, А. П. Медведев // Геодинаміка. – 2013. – № 1 (14). – С. 45–60.

Пономарев Г. П. Распределение породообразующих элементов в системе основной-ультраосновной расплав шпінель, олівін, ортопіроксен, клінопіроксен, плагіоклаз по экспериментальным данным: геологическое приложение / Г. П. Пономарев, М. Ю. Пузанков. – М. : ИВиС ДВО РАН, 2012. – 668 с.

Радомская Т. А. Минералогия и геохимия Кингашского платиноидно-медно-никелевого месторождения (В. Саян): автореф. дис. канд. геол.-мин. наук / Т. А. Радомская. – Иркутск, 2012. – 23 с.

Ступка О. О. Офіоліти Українських Карпат: геохімія і мінералогія : автореф. дис. канд. геол. наук / О. О. Ступка. – Львів, 2013. – 20 с.

Третяк К. Р. Сучасна геодинаміка і геофізичні поля Карпат та суміжних територій / К. Р. Третяк, В. Ю. Максимчук, Р. І. Кутас та ін. – Львів : Вид-во Львів. політехніки. – 2015. – 420 с.

Чашухин И. С. О температуре становления ультрамафитов Платиноносного пояса Урала / И. С. Чашухин, С. Л. Вотяков, Е. В. Пушкарев,

- Е. В. Аникина, С. Г. Уймин // Ежегодник 1999, Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. – Екатеринбург, 2000. – С. 210–216.
- Barnes S. J. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. / S. J. Barnes & P.L. Roeder // Journal of Petrology. Oxford University Press. Vol. 42, No. 12, 2001. – P. 2279–2302.
- Bazyle B. A Petrology and evolution of the Brezovica ultramafic massif, Serbia / B. A. Bazyle, S. Karamata, G. S. Zakariadze // Ophiolites in Earth History. – London : The Geological Society, 2003. – P. 91–108.
- Uysal I. Coexistence of abyssal and ultra-depleted SSZ type mantle peridotites in a Neo-Tethyan Ophiolite in SW Turkey: Constraints from mineral composition, whole-rock geochemistry (major – trace – REE – PGE), and Re – Os isotope systematics / Ibrahim Uysal, E. Yalcin Ersoy, Orhan Karsli, Yildirim Dilek, M. Burhan Sadiklar, Chris J. Ottley, Massimo Tiepolo, Thomas Meisel // Lithos 132–133. – 2012. – P. 50–69.

Н. Т. БИЛЫК¹, Л. В. ГЕНЕРАЛОВА¹, И. Г. ЯЦЕНКО², В. Б. СТЕПАНОВ¹

¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов; natbilik@i.ua

²Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов; yatsenko-ivan@mail.ua

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЕРИДОТИТОВ ИЗ ОФИОЛИТОВ МАРМАРОШСКОЙ ЗОНЫ УТЕСОВ (УКРАИНСКИЕ КАРПАТЫ)

Цель. Задачей настоящего исследования является изучение петрографических особенностей перидотитов Мармарошской зоны Утесов, химического состава минералов, установление термодинамических параметров их преобразования и реконструкция геодинамических обстановок становления пород. **Методы.** Исследованы природные обнажения перидотитов в бассейнах рек Малая и Большая Уголька (бассейн р. Теребля); проведена серия лабораторных работ по изучению вещественного состава пород с использованием петрографических оптических методов. Химический состав минералов определялся при помощи электронного микроскопа оснащенного энергодисперсионным анализатором. **Результаты.** Офиолиты Мармарошской зоны Утесов представлены катаклазированными лерцолитами и гарцбургитами. Их минеральный состав характеризуется следующими минералами: оливин, ромбический пироксен, моноклинный пироксен, амфибол, тальк, серпентин, магнетит, шпинель. Впервые при помощи микроаналитических исследований в перидотитах офиолитов установлены новые типы шпинелидов. Первая группа шпинелидов по своему типохимизму на диаграмме Н. В. Павлова относится к пикотиту, вторая к хромпикотиту. Впервые в перидотитах офиолитов установлены две равновесные ассоциации минералов: первая – оливин+шпинель+ромбический+моноклинный пироксен; вторая шпинель+амфибол+тальк. Ассоциация минералов была проанализирована в контексте установления температур их преобразования. Для первой ассоциации по шпинелевому и оливин-шпинелевому геотермометрам установлен интервал температур 900–1290 °С, интервал давления около 15 кбар. Для второй ассоциации температура преобразования пород составляет 430–450 °С, давление – 4,0–4,5 кбар. Термодинамические условия преобразования перидотитов отображаются в степени их частичного плавления пород и скорости спрединга. Первая минеральная ассоциация характеризует степень плавления, которая не превышает 14 % и свойственна медленноспрединговому перидотитам. Вторая минеральная ассоциация проявляет степень частичного плавления до 25 % и характерна для быстро спрединговых ассоциаций. Таким образом, первый этап становления перидотитов связан с условиями медленного спрединга в зоне шпинелевых перидотитов океанической коры. В течении второго этапа они были преобразованы в надсубдукционных обстановках в условиях задугового спрединга. **Научная новизна.** Использование инструментального метода микроанализа дало возможность уточнить минеральный состав перидотитов и выделить их петротипы, выделить две равновесные минеральные ассоциации, установить термодинамические параметры образования и преобразования перидотитов Мармарошской зоны Утесов. Предложена многостадийная модель становления перидотитов Украинских Карпат. **Практический аспект исследования.** Изучение вещественных и геодинамических характеристик эволюции перидотитов является актуальным с точки зрения проблем формирования земной коры и литосферы складчатых областей (на примере Украинских Карпат). Полученные данные могут быть использованы как составляющая прогнозной оценки вероятного оруденения связанного с исследованными магматическими комплексами.

Ключевые слова: Украинские Карпаты, офиолиты, перидотиты, олиостромы, шпинелиды.

N. T. BILYK¹, L. V. GENERALOVA¹, I. G. YATSENKO², V. B. STEPANOV¹¹Lviv Ivan Franko National University, Lviv, natblik@i.ua²Lviv Ivan Franko National University, Lviv, yatsenko-ivan@mail.ua

MINERALOGICAL AND GEODYNAMICAL CONDITIONS OF TRANSFORMATION OF PERIDOTITES FROM OPHIOLITES IN THE MARMAROSH ZONE ROCKS (UKRAINIAN CARPATHIAN)

Purpose. The purpose of our research is to reconstruct geodynamic condition of transformation of Marmaroch zone peridotites. This investigation is based on the study of rock petrography, chemical composition of minerals and recognizing of thermodynamic condition of mineral formation. **Methodology.** The occurrences of peridotites bodies in the basin of Mala Ugolka and Velyka Ugolka river have been studied. Laboratory study includes petrographic microscopic observations and analysis of mineral composition by using scanning electron microscope equipped with an energy dispersive spectrometer. **Results.** Ophiolites of the Marmaroch zone rocks are represented by cataclastic varieties of lherzolites and harzburgites. Rocks are characterized by the following minerals: olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, amphibole, talc, chlorite, serpentine, magnetite, spinel. Based on microanalytical data, the new varieties of spinel in peridotites have been recognized for the first time. According to Pavlov's diagram (Pavlov, 1949), the first group of spinel can be attributed to pycotite, the second one to chrom-pycotite. Two equilibrium mineral association in ophiolite peridotites were originally distinguished: first – olivine+spinel+ orthopyroxene+clinopyroxene, second – spinel +amphibole+talc. In the context of temperature and pressure of mineral transformation, some mineral association have been analysed. For spinel and olivine-spinel geothermometer P-T parameters for first mineral association are estimated in a range – 900–1290 °C, ~ 15 kbar; for second mineral association – 430–450 °C, 4,0–4,5 kbar. Thermodynamic conditions of transformation of peridotites are displayed in the degree of partial melting and spreading velocity. First mineral association shows melting degree not exceed 14 %, that is the characteristic of slow-spreading peridotites; second mineral association shows 25 %, that is the characteristic of high-spreading peridotites. First stage of peridotite formation can be related to the slow-spreading condition in spinel peridotite zone of oceanic crust. On the second stage, peridotites are changed in above-subduction zone under condition of back-arc spreading. **Scientific novelty.** Application of scanning electron microscope equipped with an energy dispersive spectrometer enabled to specify the mineral content and petrotypes of peridotites, to distinguish two equilibrium mineral association, to determine thermodynamic conditions of formation and transformation of peridotites from Marmaroch rocks zone. Original model of multistage formation of peridotites in the Ukrainian Carpathians is proposed. **Practical meaning.** The study of substantial and geodynamic features of peridotite evolution is topical from point of view of problems, that concern Earth crust formation and formation of folded region lithosphere (based on the example of the Ukrainian Carpathians). The obtained results can be used to forecast estimation of ore potential, related to the studied peridotite complexes.

Key words: the Ukrainian Carpathian; ophiolites; peridotites; olistromes; spinel.

REFERENCES

- Antsiferova T. N. *Deformatsionnye i reaktsionnye (rasplav/poroda) izmeneniya sostava mineralov restitovykh giperbazitov ofiolitov (Vostochnogo Sayana): petrogeneticheskie aspekty* [Deformational and reactionary (melt/rock) changes in composition of minerals of restitic ophiolite hyperbasites (East Sayan): petrogenetic aspects]. *Geologiya i poleznye iskopaemye. Izv. Tomskogo politekh. un-ta* [Geology and Economic Minerals, News of Tomsk Polytechnical University], 2008, Vol. 312, no.1, pp. 21–25.
- Barnes S. J. & Roeder P. L. *The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rock*. Journal of Petrology. Oxford University Press. Vol. 42, n. 12, 2001, pp. 2279–2302.
- Bazyle B. A., Karamata S., Zakariadze G. S. *Petrology and evolution of the Brezovica ultramafic massif, Serbia*. Ophiolites in Earth History. London: The Geological Society, 2003, pp. 91–108.
- Chashchukhin I. S., Votyakov S. L., Pushkarev Ye. V., Anikina Ye. V., Uymin S. G. *O temperature stanovleniya ultramafitov Platinonosnogo poyasa Urala* [About formation temperature of the ultramafites of Uralian platinum belt]. *Yezhegodnik 1999, In-ta geologii i geokhimii UrO RAN* [Yearbook-1999 of Geol. and Geochem. Institute of Uralian Branch of Russ. Acad. Scienc], Yekaterinburg, 2000, pp. 210–216.
- Gerya T. V. *P-T trendy i model formirovaniya granulitovykh kompleksov dokembriya* [P-T trends and formation model of Precambrian granulite complexes]. *Avtoref. dis. doktora. geol.-min. nauk* [Autoabstract of doctoral dissertation in geological and mineralogical sciences], Moscow, 1999, 49 p.
- Gnilko O. M. Gnilko S. R., Generalova L. V. *Formirovanie struktur utesovykh zon i mezhutesovogo flisha Vnutrennikh Ukrainskikh Karpat – rezultat sblizheniya i kollizii mikrokontinentalnykh terreynov* [Structure formation of cliff zones and intercliff flysh of Inner Ukrainian Carpathian – result of convergence and] collision of terrane]. *Vestn. S.-Peterb. un-ta* [Bulletin of St. Petersburg University], 2015, ser. 7, iss. 2, pp. 4–24.
- Godovikov A. A. *Mineralogiy* [Mineralogy]. Moscow: Nedra, 1983, 647 p.

- Krasnova Ye. A. *Magmaticeskaya i metamorficheskaya evolyutsiya mantiynogo substrata litosfery severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* [Magmatic and Metamorphic evolution of mantle substrat of Nord-West Pacific]. *Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk.* [Autoabstract of candidate dissertation in geological and mineralogical sciences], Moscow, 2014, 26 p.
- Lyashkevich Z. M., Medvedev A. P., Krupskiy Yu. Z., Varichev A. S., Timoshchuk V. R., Stupka O. O. *Tektono-magmaticeskaya evolyutsiya Karpat.* [Tectonic and Magmatic evolution of Carpathian]. Kyiv: *Nauk. dumka*, 1995, 132 p.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch h. J., Krivovschev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch V. W., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Wittaker E. J. W., Youzhi G. *Nomenklatura amfibolov: doklad podkomiteta po amfibolam komissii po novym mineralam i nazvaniyam mineralov mezhdunarodnoy mezhdunarodnoy mineralogicheskoy assotsiatsii (KNMNM MMA)* [Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the commission on new minerals and mineral names (CNMNM IMA)]. *Zap. Vseros. mineral. ob-va* [Proc. Rus. Min. Soc.], 1997, no. 6, pp. 82–102.
- Pavlov N. V. *Khimicheskij sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ultrasosnovnykh intruzivov* [Chemical composition of chromspinels with regard to petrographic rock composition of ultrabasic intrusions]. *Trudy Geologicheskogo instituta RAN* [Proceedings of the Geological Institute of the Rus. Acad. of Scienc.], 1949, is. 103, no. 3, 91 p.
- Pavlyuk M. I., Lyashkevich Z. M., Medvedev A. P. *Ukrainski Karpati v strukturi Pankardii (magmatizm i geodinamika)* [Ukrainian Carpathians within Pancardian structure]. *Geodynamics*, 2013, no.1 (14), pp. 45–60.
- Ponomarev G. P., Puzankov M. Yu. *Raspredelenie porodoobrazuyushchikh elementov v sisteme osnovnoy-ultrasosnovnoy rasplav–shpinel, olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, plagioklaz po eksperimentalnym dannym: geologicheskoe prilozhenie* [Spreading of rock-forming elements in the system of basic-ultrabasic melt (spinel, olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, plagioclase) according to the experimental date: geological application]. M.: IViS DVO RAN [Moscow: Institute of Vulcanology and Seismology Far Eastern Branch RAS], 2012, 668 p.
- Radomskaya T. A. *Mineralogiya i geokhimiya Kindashskogo platinoidno-medno-nikelevogo mestorozhdeniya (V. Sayan)* [Mineralogy and geochemistry of the Kingash platinum-cooper-nickel deposits]. *Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk* [Autoabstract of candidate dissertation in geological and mineralogical sciences], Irkutsk, 2012, 23 p.
- Stupka O. O. *Ofioliti Ukrayinskikh Karpat: geokhimiya i mineralogiya* [Ophiolites of Ukrainian Carpathians: geochemistry and geology]. *Avtoref. dis. kand. geol. nauk* [Autoabstract of candidate dissertation in geological sciences], Lviv, 2013, 20 p.
- Tretyak K. R., Maksymchuk V. Yu., Kutas R. I at al. *Suchasna heodynamika i heofizychni polya Karpat ta sumizhnykh terytoriy* [Modern geodynamics and geophysical fields of the Carpathians and the adjacent territories]. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2015, 420 p. (in Ukrainian).
- Usal I., Ersoy E. Y., Karsli O., Dilek Y., Sadiklar M. B., Ottley C. J., Tiepolo M., Meisel T. *Coexistence of abyssal and ultra-depleted SSZ type mantle peridotites in a Neo-Tethyan Ophiolite in SW Turkey: Constraints from mineral composition, whole-rock geochemistry (major-trace-REE-PGE), and Re-Os isotope systematics.* *Litos* 132–133, 2012, pp. 50–69.

Надійшла 25.10.2016 р.