

ХРОМШПІНЕЛІДИ ІЛЛІНЕЦЬКОЇ СТРУКТУРИ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

За допомогою методів електронної мікроскопії досліджено морфологію та хімічний склад піропу й хромшпінелідів Іллінецької структури. Згідно з отриманими даними, піроп може належати до еклогітових октаєдрів та їх уламків установлених в аргілітах, зювітах, тагамітах, а також брекчованих породах підстельного комплексу. Завдяки високому вмісту MgO вони не мають аналогів в осадових і корінних породах південно-західної частини Українського щита. За винятком рідкісних зерен з ознаками обкоченості (низькомагнезійних), хромшпінеліди, найімовірніше, мають місцеве походження, а джерелом живлення більшості з них є Іллінецька імпактна структура, яка могла містити дрібні мантіїні ксеноліти серед брекчованих порід рами, дайкоподібні глибинні породи, винесені з глибини в результаті реакції на удар метеорита або на досі не знайдені рештки метеорита.

Ключові слова: хромшпінелід, піроп, імпактна структура, Український щит, морфологія, хімічний склад.

Вступ. Із шести відомих на сьогодні в межах України імпактних структур дві розташовані в межах південно-західної частини Українського щита (УЩ). Іллінецька структура з-поміж інших досліджена найкраще, оскільки її породні утворення виходять на земну поверхню у долині р. Сибок в Іллінецькому районі Вінницької області. До середини 1970-х років структуру розглядали як експлозивний вулканогенний апарат, складений дацитами і відповідними їм туфобрекчіями [2]. Пізніше перемогла точка зору, що це типова імпактна структура з добре проявленим центральним виступом [4]*. Її діаметр 5 км, глибина кратера — 400 м, потужність імпаکتитів — досягає 270 м. Западниці в центральній частині структури вивчені аргілітами, в яких установлено спорово-пилковий комплекс раннього девону. Ранньодевонський вік утворення структури підтверджений також радіологічними методами. В породах структури виявлено багато дрібних пластинчастих лонсдейлітвмісних алмазів, що обґрунтує її імпактний генезис.

* Ще в 1975 р. А.А. Вальтер довів імпактне походження Іллінецької структури (Докл. АН СССР 1975, т. 224, № 6, с. 1377—1380). *Прим. ред.*

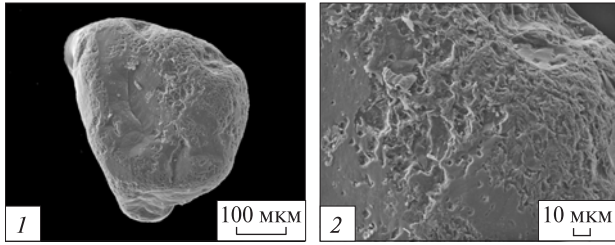


Рис. 1. Еклогітовий гранат із делювію зювітів (св. 9Д): 1 — загальний вигляд; 2 — деталізація поверхні

Fig. 1. Eclogitic garnet from suevites diluvium (9D well): 1 — general view; 2 — surface in detail

Об'єкт досліджень. Під час геологічного довивчення масштабу 1:200 000 (ГДП-200) аркуша «Гайсин» Правобережна геологічна експедиція пробурила 3 колонкові свердловини в межах Іллінецької структури. У керні свердловин мінералогічним аналізом встановлено 1 знак гранату і значну кількість хромшпінелідів. Саме ці мінерали стали об'єктом детальних досліджень, а саме: їх морфологія, хімічний склад, мінеральні включення та ймовірні джерела надходження.

Методи досліджень. На першому етапі було досліджено морфологію хромшпінелідів та якісно визначено їх хімічний склад за допомогою електронного мікроскопа JSM-6700F з енергодисперсійною системою для мікроаналізу JED-2300. Для вивчення хімічного складу внутрішньої частини кристалів хромшпінеліди було закріплено в епоксидну смолу та відполіровано. Результати аналізів перераховані на формульні коефіцієнти мінералів методом розрахунку за киснем [1] з додатковим перерахунком заліза на Fe^{3+} та Fe^{2+} [7].

Результати досліджень та їх обговорення. Гранати. Дослідженнями, які проводили на базі ІГФМ АН УРСР у 1978—1980 рр., у трьох протоколних пробах вивітрілих зювітів масою від 20 до 250 кг, відібраних у кар'єрі, було виявлено 6 зерен піропу. Всі зерна мали рожево-червоне забарвлення, неправильну форму; їх розмір 0,1—0,2 мм. Згідно з даними рентгеноспектрального мікроаналізу одного зерна, піроп віднесено до низькохромистого (Cr_2O_3 — 1,98 %) і помірнокальцієвого (CaO — 4,02 %) різновиду, характерного для переважної більшості піропів південно-західної частини УЩ.

Під час робіт ГДП-200 проводили пошуки піропів в усіх породних різновидах Іллінецької структури (41 протоколна проба). Проте було знайдено лише один знак гранату в зювітах із ксенолітами аргілітів у св. 9Д на глибині 51,0—54,0 м. Зерно гранату сильно обкочене, на поверхні наявні канали травлення, ймовірно, по дислокаціях, розміром 2—3 мкм, утворені в процесі хімічного вивітряння (рис. 1). Розмір зерна $0,42 \times 0,36$ мм. Хімічний склад, %: SiO_2 45,35; Al_2O_3 25,94; FeO 7,21; MgO 9,19; CaO 12,31. Установлено, що гранат подібний до гранатів з деяких еклогітів і гроспідитів із включень у кімберлітах [5]. Враховуючи значне поширення у досліджених зювітах південної частини структури включень доімпактних аргілітів силур-девонського віку, можна допустити, що джерелом гранатів були саме ці осадові породи.

Хромшпінеліди. В ході мінералогічних досліджень, проведених під час робіт ГДП-200, було встановлено велике поширення хромшпінелідів в усіх різновидах порід Іллінецької структури. Цей мінерал у кількості від одиничних знаків до 61 г/т виявлений у 33 пробах із 41 (частота знахідок — 80 %). Незвично високим є також вміст апатиту — до 1400 г/т у брекчіях і до 30 г/т в аргілітах. Це свідчить про високий вміст останців порід основного складу в корінних породах структури. Хромшпінеліди у вигляді октаєдрів та їх уламків виявлені в аргілітах, зювітах, тагамітах, а також брекчованих породах підстельного комплексу. Найбільший вміст хромшпінелідів зафіксований у про-

Таблиця 1. Хімічний склад хромшпінелідів Іллінецької структури, %
Table 1. Chemical composition of chromspinelides of Illintsi structure, %

Вмісна порода	Формульні коефіцієнти в перерахунку на 4 "O"								
	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	Al	Cr	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mg
<i>Поверхнева частина зерен</i>									
Делювій зювіту	28,8	41,6	20,0	9,6	1,035	1,001	0,000	0,508	0,437
Тагаміт	17,7	43,9	25,4	13,0	0,650	1,084	0,258	0,406	0,603
	10,3	59,5	17,4	12,9	0,390	1,519	0,090	0,380	0,621
	24,0	38,0	27,9	10,1	0,878	0,932	0,185	0,537	0,467
	20,3	37,75	23,81	18,15	0,713	0,889	0,379	0,214	0,806
	23,1	34,4	21,3	21,2	0,787	0,785	0,405	0,110	0,913
Аргіліт	19,8	45,7	16,5	18,1	0,700	1,081	0,213	0,200	0,806
	19,3	43,7	16,9	20,1	0,673	1,023	0,292	0,126	0,886
	16,9	46,2	23,2	13,7	0,622	1,137	0,234	0,372	0,635
	20,9	41,7	21,8	15,7	0,744	0,997	0,251	0,301	0,707
	21,6	38,5	19,6	20,3	0,746	0,889	0,349	0,130	0,886
	17,0	49,0	19,4	14,6	0,622	1,200	0,173	0,329	0,675
	17,5	47,1	18,2	17,2	0,628	1,132	0,233	0,230	0,778
	23,6	40,7	12,5	23,2	0,795	0,918	0,277	0,021	0,989
	19,8	44,7	15,8	19,3	0,696	1,054	0,242	0,152	0,856
	20,0	44,2	16,6	19,3	0,699	1,038	0,254	0,157	0,852
22,0	39,8	20,9	17,4	0,771	0,937	0,281	0,239	0,772	
<i>Центральна частина зерен</i>									
Делювій зювіту	25,3	43,1	19,3	12,3	0,911	1,040	0,049	0,443	0,558
Тагаміт	18,0	41,6	33,2	7,2	0,688	1,066	0,239	0,662	0,346
	18,6	48,7	15,8	17,0	0,665	1,169	0,163	0,237	0,767
	15,9	44,0	26,5	13,6	0,586	1,088	0,312	0,380	0,633
	16,4	42,9	26,6	14,1	0,601	1,055	0,329	0,362	0,653
Аргіліт	19,1	43,9	16,5	15,8	0,715	1,100	0,181	0,256	0,748
	15,6	45,4	24,9	14,1	0,576	1,119	0,294	0,356	0,656
	16,1	46,2	21,5	16,2	0,583	1,123	0,282	0,270	0,740
	15,9	46,2	21,5	16,4	0,577	1,123	0,289	0,262	0,749
	16,7	44,1	24,5	14,7	0,609	1,079	0,299	0,336	0,676
	17,1	44,7	22,2	16,0	0,618	1,082	0,288	0,282	0,730
	16,4	44,3	24,6	14,8	0,597	1,083	0,307	0,330	0,682
	17,6	44,6	22,8	15,0	0,638	1,085	0,267	0,320	0,689
	19,1	45,7	16,9	18,2	0,677	1,084	0,232	0,192	0,815
	18,6	49,9	15,1	16,3	0,669	1,203	0,126	0,260	0,742
	34,6	35,8	13,8	15,8	1,174	0,814	0,012	0,322	0,678
	16,2	44,7	24,4	14,7	0,592	1,096	0,300	0,333	0,680
	18,3	46,5	17,4	17,9	0,649	1,108	0,235	0,203	0,804
	18,6	46,9	17,0	17,5	0,662	1,120	0,212	0,217	0,789

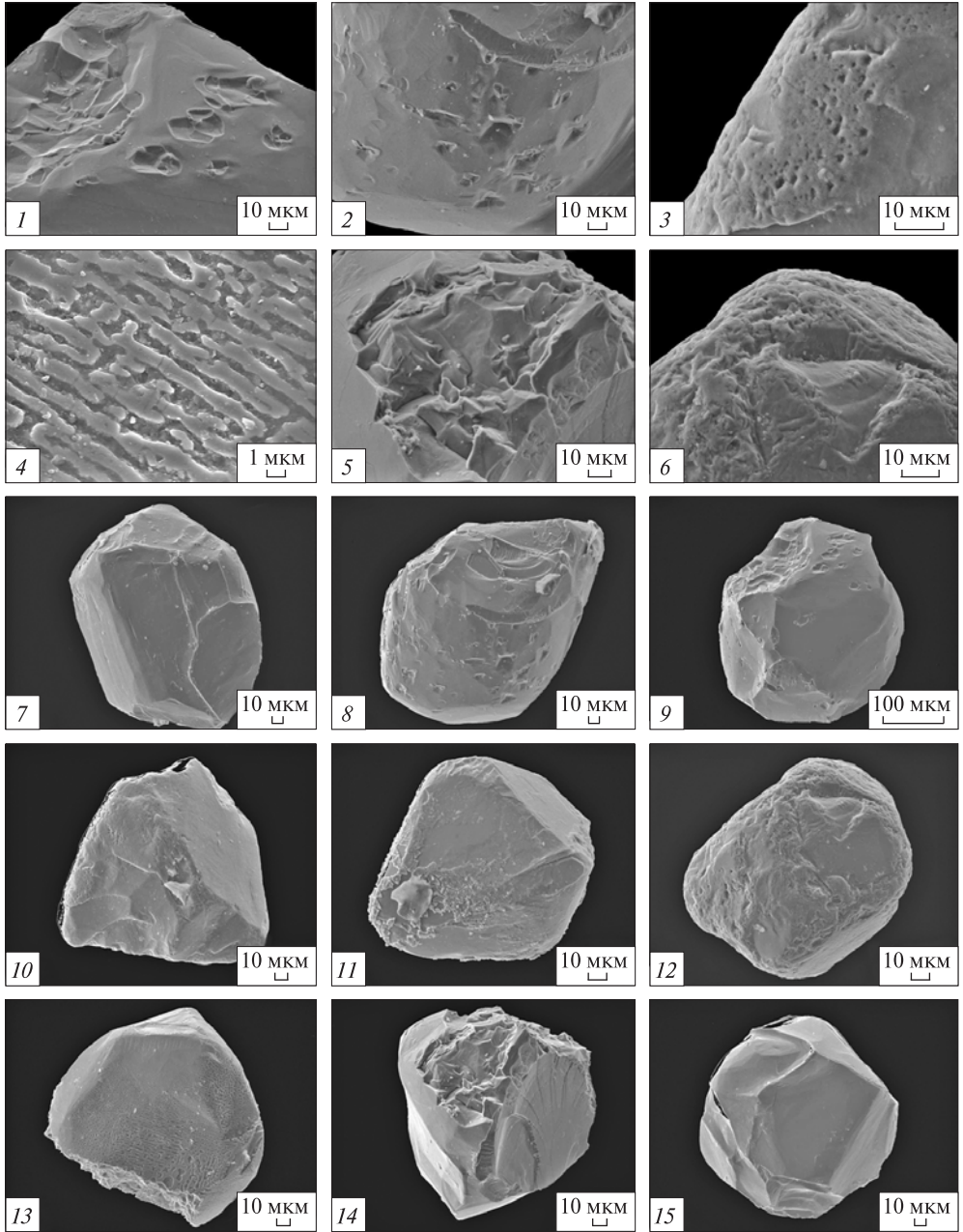


Рис. 2. Хромшпінеліди з аргілітів і тагамітів Іллінецької структури: 1—6 — деталізація поверхні; 7—15 — загальний вигляд

Fig. 2. Chromspinelides from argillites and tagamites of Illintsi structure: 1—6 — surface in detail; 7—15 — general view

бах аргіліту верхньої частини його горизонту (св. 9Д, вміст 61 г/т) і тагаміту (св. 8Д, вміст 4 г/т).

На початковому етапі ми дослідили хімічний склад поверхні зерен та уламків хромітів із 6 проб: 1 — тагаміту, 2 — зювіту, 4 — аргілітів із різних горизонтів, розміщених на глибинах від 45,5 до 134,1 м. Дані хімічного аналізу по-

Рис. 3. Хромшпінеліди Іллінецької структури на діаграмі $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO}$: 1 — точки аналізу поверхневої частини хромшпінелідів Іллінецької структури: *a* — з девонських аргілітів, *b* — тагамітів; 2 — те саме для центральної частини зерен; *поле хромшпінелідів*: 3 — ультраосновних масивів Вінницької площі, 4 — пісковиків венду (Бахтинська площа)

Fig. 3. Chromspinelides of Illintsi structure on the diagram $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO}$: 1 — points of analysis of chromspinelides surface of Illintsi structure: *a* — from Devonian argillites; *b* — tagamites; 2 — the same for the central part of grains; *chromspinelides field*: 3 — ultrabasic rocks of the Vinnytsya area, 4 — Vendian sandstones (Bakhtyn area)

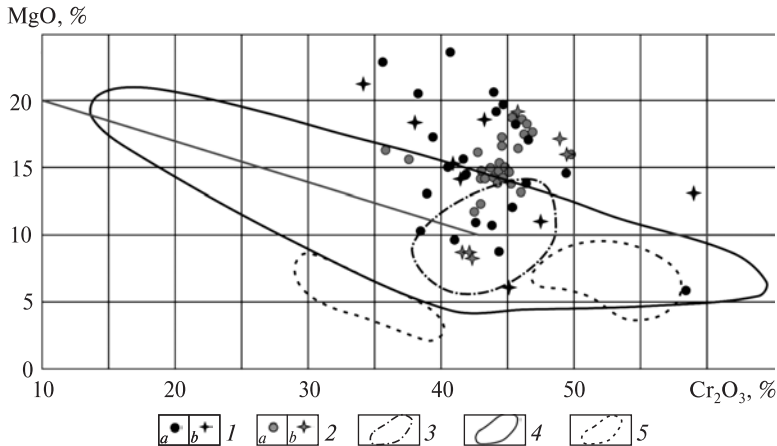
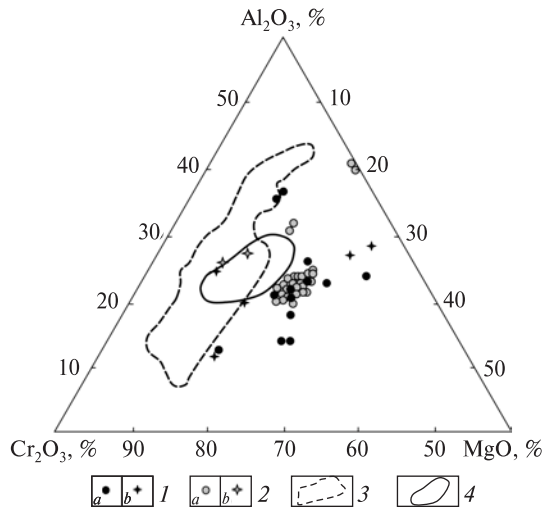


Рис. 4. Хромшпінеліди з девонських аргілітів Іллінецької імпаکتної структури на діаграмі $\text{MgO—Cr}_2\text{O}_3$: 1 — точки аналізів поверхневої частини хромшпінелідів: *a* — аргілітів, *b* — тагамітів; 2 — те саме для центральної частини зерен; *поле хромшпінелідів*: 3 — хромітоносних ультрабазитів Вінницької площі; 4 — осадових мезо-кайнозойських порід південно-західної частини Українського щита; 5 — пісковиків венду Бахтинської площі

Fig. 4. Chromspinelides from Devonian argillites of Illintsi impact structure on the diagram $\text{MgO—Cr}_2\text{O}_3$: 1 — analysis points of chromspinelides surface: *a* — from argillites, *b* — tagamites; 2 — the same for the central part of grains; *chromspinelides field*: 3 — chromite-bearing ultrabasites of the Vinnytsya area, 4 — Meso-Cenozoic sedimentary rocks of south-western part of the Ukrainian Shield, 5 — Vendian sandstones of Bakhtyn area

верхонь продемонстрували значні варіації MgO (9,6—23,2 %), Cr_2O_3 (34,4—59,5 %) і Al_2O_3 (10,3—28,8 %) (табл. 1). Оскільки хроміти із подібним вмістом магнію у породах південно-західної частини УЩ раніше не фіксували, дослідження їх хімічного складу було продовжено на приполірованих зрізах кристалів. За даними аналізів, вміст MgO значно нижчий — лише до 18,2 %. Проте хромшпінеліди навіть із таким вмістом є нетиповим явищем для місцевих осадових горизонтів, не кажучи про місцеві ультрабазити, у яких вміст MgO в хромітах у середньому становить 5—8 %. У хромшпінелідах проб 8Д-16 і 9Д-15 (аргіліт) виявлено включення високобаричних мінералів: енстатиту і

Таблиця 2. Хімічний склад мінеральних включень у хромшпінелідах, %
Table 2. Chemical composition of mineral inclusions in chromspinelides, %

Мінерал	Форма	Розмір, мкм	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃		
Енстатит	Овальна	23 × 10	58,3	—	1,8	39,1	н. в.	н. в.	0,8		
			58,1	—	2,1	38,4	н. в.	н. в.	0,9		
	Округла	10 × 10	57,5	1,0	1,2	40,3	н. в.	н. в.	н. в.		
Паргасит	Ксеноморфна з кутастими краями	10 × 8	46,5	10,3	2,9	21,0	12,6	3,1	2,5		
			Te same	13 × 6	42,8	10,9	4,4	20,4	10,5	3,2	7,8
			»	7 × 4	44,9	10,4	3,5	20,3	14,6	2,4	3,9
			Овальна	20 × 7	47,9	10,9	2,3	21,9	11,5	3,1	2,5

Примітка. н. в. — не визначали.

паргаситу (табл. 2). а також включення голчастої форми, розміром 23 × 2 мкм, проте через малий розмір зерен не можна отримати якісний аналіз його хімічного складу.

Морфологія зерен хромшпінеліду в цілому однакова для усіх проб: це переважно плоскогранні октаедри, ребра і вершини яких притуплені (рис. 2). Вершини окремих октаедрів зламані. Кристали переважно пошкоджені, трапляється багато уламків. Розмір хромшпінелідів в середньому 0,3 мм (максимальний — 0,56 мм). На окремих зернах спостерігаються ознаки обкоченості, гранні поверхні гладкі, на них вкрай рідко спостерігаються дрібні канали травлення трикутної форми розміром до 10 мкм. У пробі тагаміту (8Д-49) виявлений октаедричний кристал хромшпінеліду із чітко проявленими мікроструктурами термохімічного травлення (рис. 2, 4, 13). Подібні структури є типовими для шпінелідів із проб, сплавлених у лугах за високих температур (такий процес застосовують під час пошуків алмазів). Цей кристал має неоднорідний хімічний склад: внутрішня частина характеризується порівняно невисоким вмістом оксиду магнію (8,14 %), візерунчаста поверхня — дещо більшим вмістом MgO (10,41 %). Аналогічні перевищення вмісту оксиду магнію на поверхнях граней порівняно із внутрішніми частинами кристалів — для хромшпінелідів Іллінецької структури типово явище (див. табл. 1). У хромшпінелідах із кімберлітів, лампроїтів та ультраосновних порід зазвичай спостерігаємо протилежну картину [3]. Якщо це дійсно так, то, можливо, це — явище своєрідної шокової «базифікації» поверхні хромшпінелідів під впливом надвисоких тисків і температур (до 100 ГПа і 3000 °С) імпульсного характеру, що виникли під час удару метеорита.

Можна стверджувати, що хромшпінеліди Іллінецької структури не мають аналогів в осадових і корінних породах південно-західної частини УЩ. Унаслідок високого вмісту MgO вони займають власне особливе поле у мантиї (рис. 3, 4). Воно значно віддалене від полів 5 відомих хромітоносних масивів, що розміщуються на цій площі, і лише частина аналізів (низькомагnezійних) потрапляє у поле хромшпінелідів вендських утворень, поширених у 120 км на південний захід, і у поле хромшпінелідів мезо-кайнозойських осадових утворень цієї частини УЩ [6]. Проте хроміти вендських ефузивів, за даними С.М. Цимбала (Э.В. Мельничук. Результаты поисков коренных источников алмазов в центральной и западной части Украинского щита. Отчет по работе Правобережной ГРЕ за 1983—1988 гг. Киев, 1988), постійно містять домішки

титану (TiO_2 0,3—2,2 %) і цинку (ZnO 0,05—0,30 %). В іллінецьких хромшпінелідах титан і цинк установлені лише у 2 кристалах. Цікаво, що у високомагнезійній зоні іллінецькі хромшпінеліди утворюють два паралельні тренди, які, можливо, відображують різні фації глибин (рис. 4).

Найближчі до Іллінецької структури ультраосновні масиви розташовані на відстані 50—70 км. У корінних породах, що підстеляють структуру, свердловинами розбурено 9 лінз амфіболітів, 3 — тремолітизованих піроксенітів (потужністю 0,5—3,5 м) і 1 лінзу вивітрілої скремнілої ультраосновної породи (потужністю 1,4 м). На предмет наявності хромшпінелідів їх не досліджували. Під час робіт ГДП-200 за даними мінералогічного аналізу в амфіболізованому піроксеніті потужністю 0,4 м хромшпінеліди не виявлено. Хімічні аналізи хромшпінелідів корінних порід (тагамітів) і аргілітів суттєво не відрізняються, тому що аргіліти утворилися на дні метеоритного кратера і не мали інших джерел, крім кратерних імпактних порід.

Аргіліти залягають у двох локальних депресіях структури, потужність порід сягає 65 м. Враховуючи їх специфічний мінеральний склад (переважання монтморилоніту, утвореного внаслідок вивітрювання імпактного скла, відсутність ставроліту і турмаліну — головних індикаторів далекого транспортування, слабка обкоченість мінералів важкої фракції) і зовнішній вигляд (відсутність сланцюватості, брекчієподібність), можна стверджувати, що вони утворилися переважно в результаті розмиву місцевих імпактних порід у кратері діаметром до 7,5 км, оточеному закратерним валом [4]. Суттєвих відмінностей у хімічному складі хромшпінелідів трьох лінз аргілітів, розташованих на глибинах від 45,5 до 121,1 м, немає. Тому, за винятком рідкісних зерен з ознаками обкоченості (вони низькомагнезійні), хромшпінеліди, найімовірніше, мають місцеве походження. Якщо це так, то джерелом живлення більшості хромшпінелідів є Іллінецька імпактна структура, яка могла містити:

- дрібні мантіїні ксеноліти серед брекчованих порід рами;
- дайкоподібні глибинні породи, винесені на поверхню в результаті реакції на удар метеорита;
- досі не знайдені рештки метеорита.

Висновки. Корінні та осадові породи Іллінецької імпактної структури збагачені хромшпінелідами. За хімічним складом багато хромшпінелідів не мають аналогів серед корінних і осадових порід південно-західної частини Українського щита. Ймовірно, під впливом шоківих тисків і температур поверхня кристалів хроміту суттєво збагатилась магнієм. Джерелами хромшпінелідів, найімовірніше, були мантіїні утворення у породах мішені. Дослідження хромшпінелідів необхідно продовжити на репрезентативнішому матеріалі. Для повнішого розуміння геології і генезису породних утворень Іллінецької структури потрібно детально вивчати й інші мінерали.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Булах А.Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. — М.: Недра, 1967. — 144 с.
2. Гинтов О.Б., Шевченко Т.П., Голуб В.Н. Об эндогенной природе Иллинецкой структуры // Геол. журн. — 1975. — № 1. — С. 54—59.
3. Лобкова Л.П., Кукуй И.М., Никитина Э.В. Типоморфные особенности хромшпинелидов из магматических пород севера Восточно-Европейской платформы // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2013): Материалы минералогического семинара с международным участием. — Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013. — С. 226—228.

4. Масайтис В.Л., Данилин А.Н., Мащак М.С. и др. Геология астроблем. — Л.: Недра, 1980. — 231 с.
5. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. — Новосибирск: Наука, 1974. — 264 с.
6. Цимбал Ю.С. Типоморфізм алмазу та його мінералів-супутників із осадових порід західної частини Українського щита : Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — К., 2009. — 20 с.
7. Droop G.T.R. A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria // Mineral. Magaz. — 1987. — Vol. 51. — p. 431—435.

Надійшла 16.06.2014

А.В. Павлюк, В.Н. Павлюк

ХРОМШПИНЕЛИДЫ ИЛЬИНЕЦКОЙ СТРУКТУРЫ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

С помощью методов электронной микроскопии исследованы морфология и химический состав пиропы и хромшпинелидов Ильинецкой структуры. Согласно полученным данным, пироп может принадлежать эклогитовым включениям в кимберлитах. Хромшпинелиды в виде плоскогранных октаэдров и их обломков установлены в аргиллитах, зювитах, тагамитах, а также в брекчированных породах подстилающего комплекса. Благодаря высокому содержанию MgO они не имеют аналогов в осадочных и коренных породах юго-западной части Украинского щита. За исключением редких зерен с признаками окатанности (с низким содержанием MgO), хромшпинелиды скорее всего имеют местное происхождение. Источником питания для большинства из них является Ильинецкая импактная структура, которая могла содержать мелкие мантийные ксенолиты среди брекчированных пород рамы, дайкоподобные глубинные породы, вынесенные из глубины в результате реакции на удар метеорита, или до сих пор не найденные остатки метеорита.

Ключевые слова: хромшпинелид, пироп, импактная структура, Украинский щит, морфология, химический состав.

O.V. Pavliyk, V.M. Pavliyk

CHROM SPINELLIDE FROM ILLINTSI STRUCTURE (UKRAINIAN SHIELD)

This paper presents data on the morphology and chemical composition of pyrope and chrom spinellide from Illintsi structure. The aim of researches was to approach the understanding of the genesis of Illintsi structure rocks. Researches were conducted using electron microscopy.

Illintsi structure is a typical impact structure with well manifested central eminence. Depressions in the central part of the structure are filled with argillites. The structure age is Early Devonian.

Pyrope was found in suevites with xenoliths of argillites at a depth of 51.0—54.0 m. Pyrope grain is strongly rounded. There are digestion channels probably by dislocations at the surface of grain. According to the data of chemical composition pyrope may be referred to the eclogite inclusions in kimberlites.

Chrom spinellide as octahedral crystals and their fragments have been found in argillites, suevites, tagamites and brecciated rocks of underlying complex. Due to high MgO content they have no analogues in sedimentary rocks and bedrocks of south-western part of the Ukrainian Shield. Except for small amount of strongly rounded grains (they have low MgO) chrom spinellide probably have local origin. The nutrient source for most of them is Illintsi impact structure that can contain small mantle xenoliths among the brecciated rocks of frame, abyssal rocks that were brought from the depth as the reaction to meteorite impact or meteorite remains that still is not found.

Keywords: chrom spinellid, pyrope, impact structure, Ukrainian Shield, morphology, chemical composition.