

О. А. Вишневський, В. М. Квасниця

Кристалічні включення в хромшпінелідах із кімберлітів Східного Приазов'я (трубка “Південна”)

(Представлено академіком НАН України М. П. Щербаком)

У хромшпінелідах із кімберлітів Східного Приазов'я вперше досліджено кристалічні включення: олівін, ортопіроксен, Cr-піроп, кальцит, доломіт. Вивчені зразки є ксеногенним матеріалом, РТ-параметри рівноваги якого відповідають глибинам 70–120 км. Отже, останні можна вважати мінімальними глибинами генерації магм, з яких згодом утворилися кімберлітові породи названого регіону.

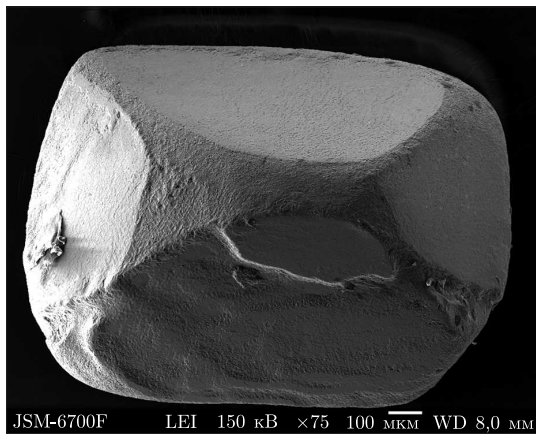
У нечисленних публікаціях, присвячених хромшпінелідам із кімберлітів Приазов'я, детально схарактеризовано їх хімічний склад, наведено дані про вміст у них елементів-домішок та надано стислий візуальний опис їхніх морфологічних особливостей [1–3]. При цьому й дотепер абсолютно не вивченими залишаються мінеральні включення, хоча саме вони є першочерговим джерелом інформації про фізико-хімічні умови утворення як вміщуючих їх хромшпінелідів, так і кімберлітових порід в цілому.

Щоб частково заповнити вказаний інформаційний вакуум, нами з метою виявлення включень досліджено двадцять три кристали хромшпінелідів із кімберлітів трубки “Південна”. У результаті шліфування кожного окремо взятого кристала хромшпінеліду твердофазові включення було виведено на поверхню в дев'яти з них, що може свідчити про досить широку розповсюдженість таких зразків у приазовських кімберлітах.

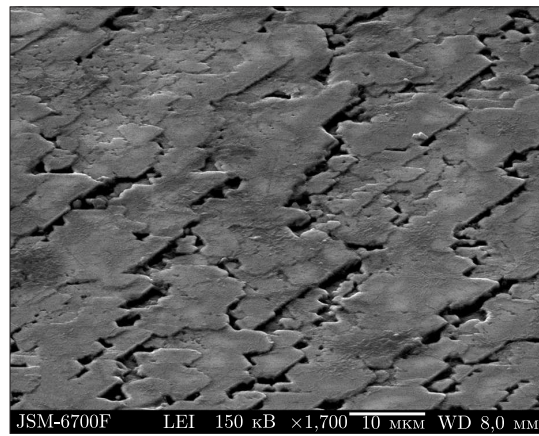
Вивчені хромшпінеліди є ізометричними, часто з елементами октаедричного огранування, зернами розміром 1,0–1,5 мм (рис. 1). Усі вони мають досить подібний хімічний склад (табл. 1) та відповідають низькоглиноземистим, малозалізистим хромшпінелідам з підвищеним вмістом титану (Cr_2O_3 52,8–54,4%, Al_2O_3 11,4–13,6%, Fe_2O_3 4,2–6,0%, FeO 11,5–14,6%, MgO 13,7–15,5%, TiO_2 0,8–2,0%), які, як було встановлено раніше [3], є переважаючим типом шпінелідів у кімберлітах Приазов'я. Слід відзначити, що спеціально проведене тестування продемонструвало відсутність будь-якої неоднорідності в розподілі окремих елементів у межах кожного окремо взятого кристала хромшпінеліду, що дає змогу вважати їх хімічно гомогенними.

Мікросондовим методом у вивчених хромшпінелідах у вигляді мономінеральних включень було діагностовано олівін, ортопіроксен, доломіт та кальцит (табл. 2). У переважній більшості вивчених зразків нами виявлено включення одного мінерального виду і лише в одному випадку (зразок VSp-7) у кристалі хромшпінеліду одночасно зафіксовано два мінерали — олівін та доломіт. Крім того, в одному із зразків (зразок VSp-1) виявлено поліфазне включення, що складається з реліктів високохромистого піропу та продуктів його реакційного заміщення у вигляді високоглиноземистих кліно- й ортопіроксену, високомагнезального алюмохроміту ($\text{Mg}_{0,83}\text{Fe}_{0,17}^{2+}\text{Al}_{1,41}\text{Cr}_{0,49}\text{Fe}_{0,10}^{3+}\text{O}_4$) та амфіболу.

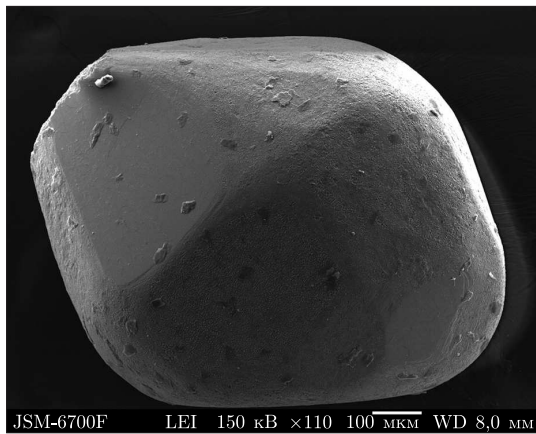
Олівін утворює виділення округлої або овальної у розрізі форми розміром від перших десятків до сотень мікрон (рис. 2, а–е). Деякі з них, як видно з рисунка, зберігають обриси ідіоморфних кристалів, це може бути свідченням їх протогенетичного походження. Мінерал



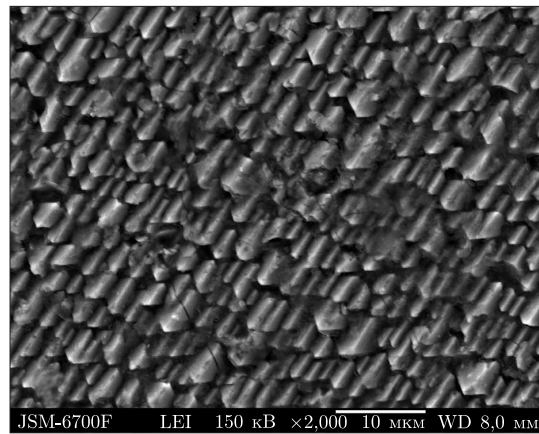
a



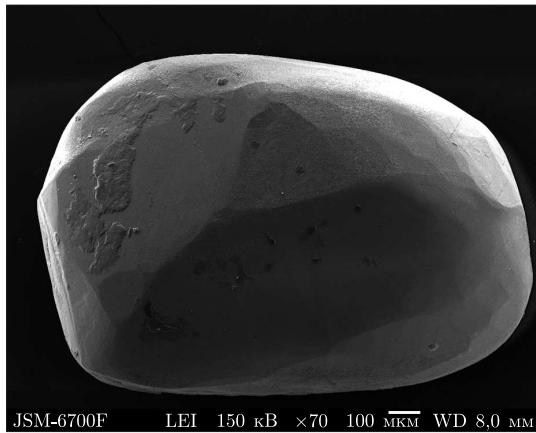
б



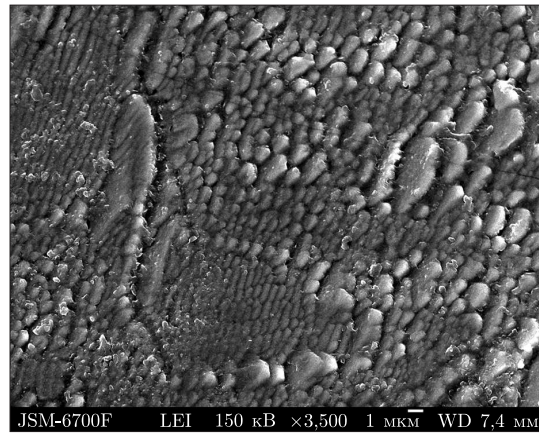
в



з



д



е

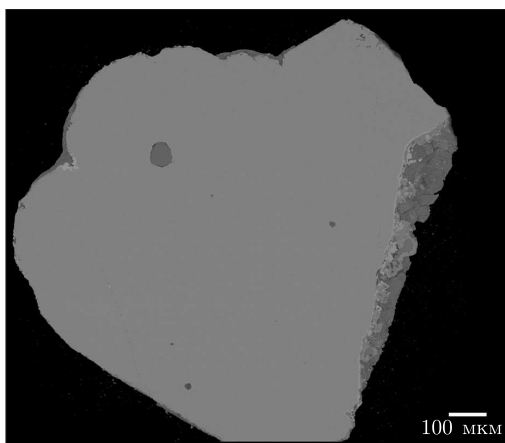
Рис. 1. Морфологія кристалів хромшпінелідів:
a, б — октаєдр, топограма його поверхні — численні трикутні западини на поверхні грані октаєдра; *в, з* — перехідний тип кристала від октаєдра до міріоедра, топограма його поверхні — черепитчаста скульптура, яка виникла внаслідок розчинення кристала; *д, е* — міріоедр, топограма його поверхні — численні округлі виділення, що виникли внаслідок розчинення кристала

Таблиця 1. Хімічний склад та кристалохімічні формули хромшпінелідів й мінералів-включень у них із кімберлітів трубки “Південна”

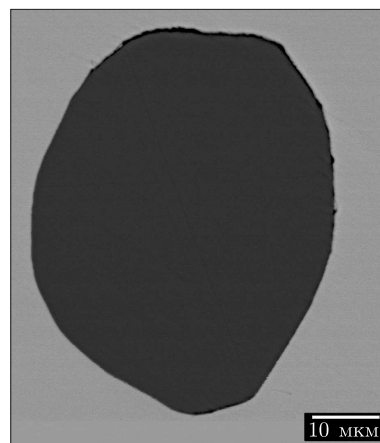
Компоненти	VSp-2		VSp-3		VSp-4		VSp-5		VSp-6		VSp-7	
	Spl	Ol	Spl	Orx	Spl	Ol	Spl	Ol	Spl	Ol	Spl	Ol
SiO ₂	0,09	41,30	0,03	55,03	0,02	40,67	0,09	41,29	0,12	40,70	0,04	41,23
TiO ₂	1,78	0,06	1,98	0,05	1,81	0,01	0,81	0,04	1,74	0,01	0,88	0,00
Al ₂ O ₃	11,78	0,00	11,95	2,59	11,80	0,00	12,93	0,00	11,43	0,03	13,62	0,00
Cr ₂ O ₃	53,97	0,60	52,84	0,41	52,80	0,36	54,88	0,41	54,37	0,78	54,19	0,34
Fe ₂ O ₃ *	5,27	0,00	6,00	0,00	5,53	0,00	4,84	0,00	4,39	0,00	4,19	0,00
FeO	11,92	6,82	11,85	5,06	13,55	8,20	11,53	7,19	14,36	8,25	12,65	6,86
MnO	0,15	0,10	0,18	0,11	0,26	0,15	0,06	0,11	0,10	0,12	0,11	0,11
MgO	15,32	50,78	15,50	35,68	14,14	50,14	15,20	50,56	13,69	49,75	14,54	51,06
CaO	He визн.	0,04	He визн.	0,93	He визн.	0,05	He визн.	0,04	He визн.	0,03	He визн.	0,02
Na ₂ O	Te саме	He визн.	Te саме	0,02	Te саме	He визн.	Te саме	He визн.	Te саме	He визн.	Te саме	He визн.
NiO	0,18	0,29	0,21	0,12	0,27	0,42	0,09	0,36	0,19	0,33	0,10	0,38
ZnO	0,06	He визн.	0,05	He визн.	0,06	He визн.	0,05	He визн.	0,05	He визн.	0,10	He визн.
Сума	100,52	100,00	100,59	100,00	100,24	100,00	100,48	100,00	100,44	100,00	100,42	100,00
Si	0,003	1,000	0,001	1,900	0,001	0,993	0,003	1,001	0,004	0,994	0,001	0,999
Ti	0,042	0,001	0,047	0,001	0,043	0,000	0,019	0,001	0,042	0,000	0,021	0,000
Al	0,438	0,000	0,444	0,105	0,444	0,000	0,479	0,000	0,431	0,001	0,506	0,000
Cr	1,346	0,011	1,316	0,011	1,332	0,007	1,364	0,008	1,373	0,015	1,350	0,007
Fe ³⁺	0,125	0,000	0,142	0,000	0,133	0,000	0,114	0,000	0,106	0,000	0,099	0,000
Fe	0,315	0,138	0,312	0,146	0,362	0,167	0,303	0,146	0,384	0,168	0,333	0,139
Mn	0,004	0,002	0,005	0,003	0,007	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002
Mg	0,721	1,833	0,728	1,836	0,672	1,824	0,712	1,828	0,652	1,810	0,683	1,843
Ca	—	0,001	—	0,034	—	0,001	—	0,001	—	0,001	—	0,001
Na	—	—	—	0,001	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	0,005	0,006	0,005	0,003	0,007	0,008	0,002	0,007	0,005	0,006	0,003	0,007
Zn	0,001	—	0,001	—	0,001	—	0,001	—	0,001	—	0,002	—
Сума	3,000	2,993	3,001	4,041	3,002	3,004	2,999	2,994	3,000	2,998	3,001	2,998
O	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	4	4

Примітка. *Розраховано за стехіометрією. Spl — хромшпінеліди, Ol — олівін, Орх — ортопіроксен. Склад, який наведено в таблиці, розрахований як середнє по 4–6 аналізах у точці. Аналізи виконано в ІГМР НАН України на сканувальному електронному мікроскопі JSM-6700F з енергодисперсійною системою для мікроаналізу JED-2300 (“JEOL”, Японія).

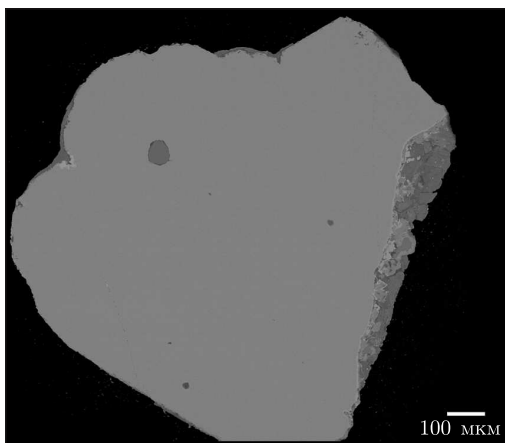
Умови зйомки: прискорювальна напруга 15 кВ, струм зонда $5 \cdot 10^{-11}$ А, діаметр зонда 1 мк.



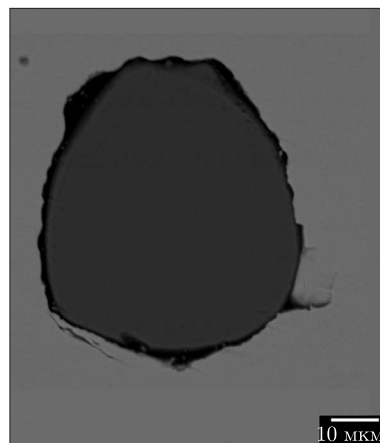
a



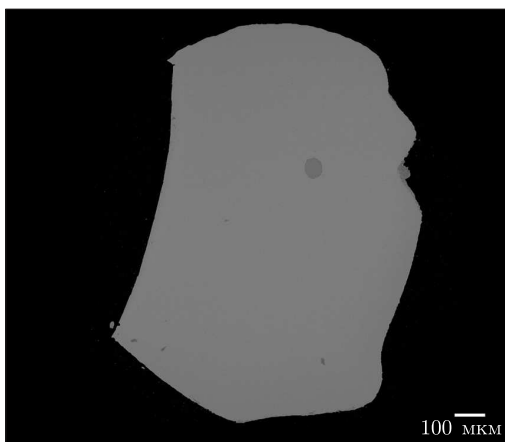
б



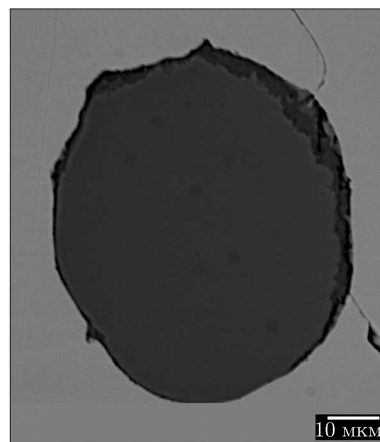
в



г

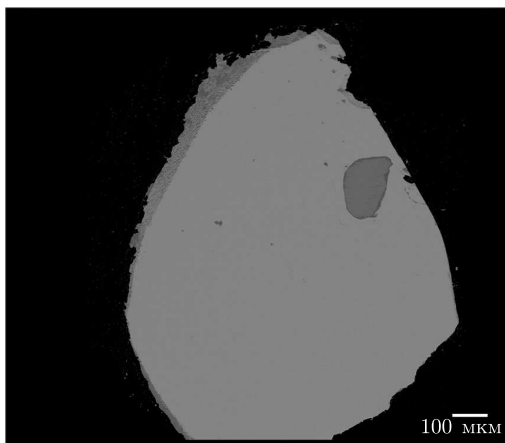


д

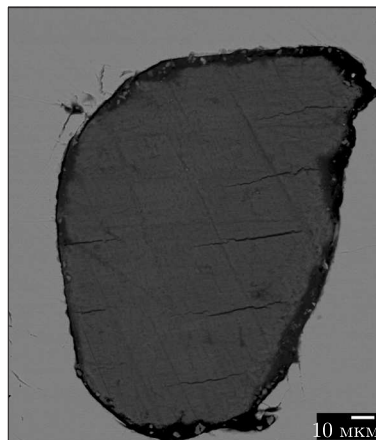


е

Рис. 2. Включення в кристалах хромшпінелідів:
a, б — гіпідіоморфне включення олівіну, його деталізація (зразок VSp-2); *в, г* — гіпідіоморфне включення олівіну, його деталізація (зразок VSp-4); *д, е* — овальне включення олівіну, його деталізація (зразок VSp-5);



жс



з

Рис. 2. Продовження. Включення в кристалах хромшпінелідів:
жс, з — включення ортопіроксену, його деталізація (зразок VSp-3)

представлений високомагнезіальним різновидом ($Fo = 91,5-93,0\%$) та має достатньо витриманий хімічний склад (див. табл. 1). Як домішки в ньому зафіксовано MnO (0,10–0,15%), CaO (0,03–0,15%), NiO (0,29–0,42%), Cr_2O_3 (0,34–0,78%). Варто звернути увагу на аномально високий вміст у мінералі Cr_2O_3 , що істотно перевищує максимально зафіксований на сьогодні для олівінів із кімберлітів (0,45% Cr_2O_3 у включенні олівіну в хромшпінеліді, який, у свою чергу, є мінералом-в'язнем в алмазі із трубки “ім. М. В. Ломоносова” [4, 5]). Даний факт становить безперечний інтерес та потребує ретельного вивчення на більш представницькому матеріалі.

Ортопіроксен зустрінутий у вигляді порівняно великого ($180 \cdot 115$ мк) дещо спотвореного овалу, розташованого в периферійній зоні мінералу-господаря (див. рис. 2, жс, з). За хімічним складом (див. табл. 1) він відповідає типовому Cr–Al-енстатиту ($mg = 0,93$, CaO 0,9%, Al_2O_3 2,6%, Cr_2O_3 0,4%), характерному для кімберлітів та ксенолітів катаклазованих лерцолітів у них.

Карбонати. Доломіт у вигляді дрібних (5–15 мк) зерен з ознаками кристалографічного огранування зустрічається як в центральній, так і в периферійній зонах кристалів хромшпінелідів. Одиначне дрібне включення кальциту встановлено в периферійній зоні хромшпінеліду. Обидва мінерали відповідають своєму теоретичному складу і практично не містять домішок.

З метою оцінки PT -параметрів утворення вивчених зразків, за допомогою серії відомих геотермометрів та геобарометрів [6–12] для хромшпінелідів та присутніх в них включень

Таблиця 2. Розповсюдженість кристалічних включень у хромшпінелідах із кімберлітів трубки “Південна”

Включення	Номер зразка								
	VSp-1	VSp-2	VSp-3	VSp-4	VSp-5	VSp-6	VSp-7	VSp-8	VSp-9
Піроп	×								
Олівін		×		×	×	×	×		
Ортопіроксен			×						
Доломіт							×		×
Кальцит								×	

Таблиця 3. T -, P -рівноваги мінеральних пар хромшпінеліди – олівін та хромшпінеліди – ортопіроксен із кімберлітів трубки “Південна”

Параметр	Номер зразка					
	VSp-2	VSp-3	VSp-4	VSp-5	VSp-6	VSp-7
T , °C:						
за [12]	980	—	970	1000	930	890
за [7]	1020	—	1020	1030	980	950
за [11]	1130*	—	1120*	1110*	1080*	1010*
за [6]	1120*	—	1110*	1100*	1070*	1000*
за [8]	—	1210*	—	—	—	—
за [10]	—	1160	—	—	—	—
P , ГПа:						
за [10]	—	2,0	—	—	—	—
за [9]	—	2,5	—	—	—	—

* При $P = 3,0$ ГПа.

силікатних фаз було розраховано тиск і температуру їх рівноваги (табл. 3). Для хромшпінелід-олівінових пар отримані температури 900–1100 °C, які добре узгоджуються з розрахованими раніше для хромшпінелідів із кімберлітів Приазов'я за Zn -геотермометром [2]. Зіставлення їх з континентальною геотермою показує, що відповідний їм інтервал тисків становить 2,5–3,5 ГПа. Для пари хромшпінелід – ортопіроксен розрахунок температури та тиску їх рівноваги дав значення 1150–1200 °C та 2,0–2,5 ГПа відповідно.

Таким чином, у кімберлітах трубки “Південна” надійно діагностовано ксеногенний мантийний матеріал, PT -параметри рівноваги якого відповідають глибинам 70–120 км. Відповідно їх можна вважати мінімальними глибинами генерації магм, з яких згодом утворилися кімберлітові породи Східного Приазов'я.

1. Гейко Ю. В., Гурский Д. С., Лыков Л. И. и др. Перспективы коренной алмазоносности Украины. – Киев: Центр Европы, 2006. – 223 с.
2. Панов Б. С., Гриффин В. Л., Панов Ю. Б. Особенности состава хромшпинелидов из кимберлитовых трубок Приазовья // Минерал. журн. – 1999. – **21**, № 2./3. – С. 53–60.
3. Цымбал С. Н., Татаринцев В. И., Князьков А. П. Минералы глубинных парагенезисов из кимберлитов трубки Южная (Восточное Приазовье) // Там же. – 1996. – **18**, № 1. – С. 18–45.
4. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1999. – 524 с.
5. Захарченко О. Д., Харькив А. Д., Ботова М. М. и др. Включения глубинных минералов в алмазах из кимберлитовых пород севера Восточно-Европейской платформы // Минерал. журн. – 1991. – **13**, № 5. – С. 42–52.
6. Ballhaus C., Berry R., Green D. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contribs Mineral. and Petrol. – 1991. – **107**. – P. 27–40.
7. Fabries J. Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes // Ibid. – 1979. – **69**. – P. 329–336.
8. Leirmann H. P., Ganguly J. Fe^{2+} –Mg fractionation between orthopyroxene and spinel: experimental calibration in the system FeO – MgO – Al_2O_3 – Cr_2O_3 – SiO_2 and applications // Ibid. – 2003. – **145**. – P. 217–227.
9. MacGregor I. D. The system MgO – Al_2O_3 – SiO_2 : solubility of Al_2O_3 in enstatite for spinel and garnet peridotite compositions // Amer. Miner. – 1974. – **59**. – P. 110–119.
10. Mercier S. C. C. Single-pyroxene thermobarometry // Tectonophysics. – 1980. – **70**, No 2. – P. 1–37.
11. O'Neill H. St. C., Wall V. J. The olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer, the nickel precipitation curve, and the oxygen fugacity of the Earth's upper mantle // J. Petrol. – 1987. – **28**, No 6. – P. 1169–1191.

12. Roeder P. L., Campbell I. H., Jamieson H. E. A re-evaluation of the Olivine-spinel geothermometer // Contribs Mineral. and Petrol. – 1979. – **68**, No 3. – P. 325–334.

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

Надійшло до редакції 17.09.2008

O. A. Vyshnevskyy, V. M. Kvasnitsa

Crystalline inclusions in Cr-spinelides from kimberlites of the Eastern Pryazovie (kimberlite pipe “Pivdannaya”)

In Cr-spinelides from kimberlites of the Eastern Pryazovie, the crystalline inclusions such as olivine, orthopyroxene, Cr-pyroxene, calcite, and dolomite are investigated for the first time. The studied samples are xenogenous material, whose PT-conditions of equilibrium correspond to depths of 70–120 km. This depth is considered to be a minimum depth of the magmas generation, from which the kimberlite rocks of the adopted region were formed.