УДК 523.681

В.П. Семененко, А.Л. Гіріч

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: cosmin@i.ua

ПОРФІРОВИЙ БІТУМОВМІСНИЙ КСЕНОЛІТ У ХОНДРИТІ КРИМКА (LL3.1): 2. БУДОВА, ХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ПОХОДЖЕННЯ БІТУМУ

Представлено результати електронно-мікроскопічного та мікрозондового дослідження включень бітуму в порфіровому ксеноліті хондрита Кримка. Обґрунтовано висновок про належність ксеноліта до уламка мікропорфірової макрохондри або іншого великого об'єкта аналогічної будови, представленого розкристалізованим ударним розплавом. Зроблено припущення щодо ударно-метаморфічної міграційної природи бітуму, яка була зумовлена багатократними ударними подіями в доземній історії материнського тіла метеорита Кримка. Бітум міг проникнути у порфіровий уламок або із тонкозернистої оболонки, попередньо збагаченої органічною речовиною, або із органічних сполук, акреційованих поверхнею ксеноліта ще до утворення оболонки.

Ключові слова: метеорит, хондрит, ксеноліт, бітум, мінерали, тонкозерниста речовина, ударний метаморфізм.

Метеорит Кримка належить до рідкісних нерівноважних хондритів, багатих на екзотичні ксеноліти. Найважливішими серед них є тонкозернистий ксеноліт хондритової будови [11] та ксеноліти з графітом [12—14]. До не менш цікавих належить також бітумовмісний літичний уламок порфірової будови, знайдений нами уперше у хондриті Кримка і метеоритах взагалі. Результати його структурно-мінералогічного і хімічного дослідження представлені нами в першій частині публікації [3], а детального вивчення будови та елементного складу бітуму, тобто С-вмісної речовини, викладено у цій статті. Сканувальне електронно-мікроскопічне, енергодисперсійне та рентгеноспектральне вивчення бітуму виконано з використанням тих же методів та інструментів, що і дослідження ксеноліта в цілому.

Будова та хімічний склад бітуму. Ксеноліт (рис. 1, *a*) розташований на краю полірованого шліфа і є обламаним з двох боків. Ця прикра обставина не дає змогу з'ясувати не лише його реальні розміри, але і деталізувати характер розподілу включень бітуму, наявність яких є відмінною рисою ксеноліта. На початкових стадіях дослідження було зроблено припущення про належність С-вмісних включень у ксеноліті до графіту, зерна якого аналогічної форми спостережено у мікропорфіровій макрохондрі [6] метеорита Кримка. Однак, у процесі дослідження проявилась неординарна поведінка зразка метеорита. Інструментальне вивчення вперше супроводжувалося забрудненням поверхні полірованого шліфа темними плямами неправильної форми (рис. 1, *b*) в кількості, пропорційній тривалості дослідження. Плями розміром до 100 мкм у вигляді тоненьких напівпрозорих темних плівок розташувались хаотично на поверхні полірованого шліфа всередині ксеноліта і поза ним. Характер розташування, колір і обставини виникнення плям дали змогу зробити висновок про їх конденсаційну природу і взаємозв'язок з С-вмісною речовиною, яка є легкоплавкою і представлена, найімовірніше, твердим бітумом. Фактично електронно-мікроскопічне та мікрозондове дослідження ксеноліта сприяли поверхневому випаровуванню бітуму з наступним утворенням конденсаційних плівок на площині шліфа.

© В.П. СЕМЕНЕНКО, А.Л. ГІРІЧ, 2016

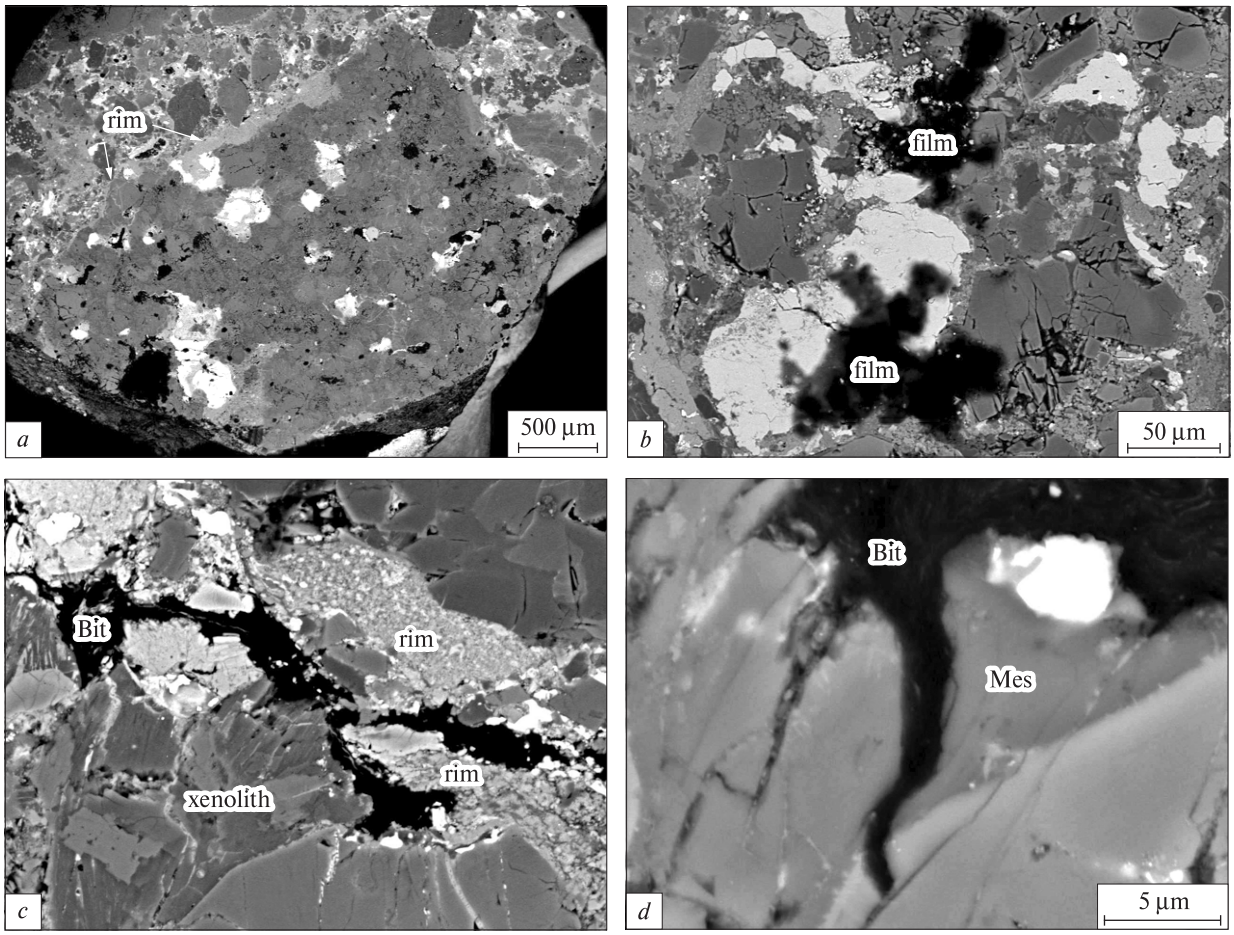

Рис. 1. Сканувальні електронно-мікроскопічні (СЕМ) зображення у відбитих електронах бітумовмісного ксеноліта у хондриті Кримка. Світло-сіре і сіре — силікати, біле — троїліт і нікелисте залізо, чорне — включення бітуму та дефекти поліровки: *a* — загальний вигляд ксеноліта, покритого тонкозернистою оболонкою (rim) і розташованого на краю полірованого шліфа; *b* — конденсаційні плівки (film) темного кольору на поверхні шліфа в ксеноліті; *c* — включення бітуму (Bit) на межі ксеноліта (xenolith) і тонкозернистої оболонки (rim); *d* — часткове проникнення бітуму (Bit) із периферії у мезостазис (Mes) ксеноліта

Fig. 1. Back-scattered electron microscopic (BSE) images of the bitumen-bearing xenolith in the Krymka chondrite. Light gray and gray — silicates, white — troilite and nickel iron, black — bitumen inclusions and polishing defects: *a* — common image of the xenolith, coated by a fine-grained rim and located on a margin of the polished section; *b* — condensation films of a dark colour on a section surface in the xenolith; *c* — bitumen inclusions (Bit) on the border of the xenolith with a fine-grained rim; *d* — partial penetration of a bitumen (Bit) from periphery into the xenolith mesostasis (Mes)

Включення бітуму спостерігаються на межі ксеноліта з тонкозернистою оболонкою у вигляді перервних смуг (рис. 1, *c*) з частковим проникненням у міжзерновий проміжок і тріщини у мезостазис та порфірові кристали (рис. 1, *d*), а також у катаклазовані ділянки і мезостазис (рис. 2, *a*) периферійних частин ксеноліта. У той же час включення бітуму не виявлені в центральній частині ксеноліта, а також на краю його зламу. Важливою особливістю є супровід бітуму тонкозернистою силікатною речовиною (рис. 2, *b*), яка за розміром зерен, будовою, пористістю та мінеральним складом аналогічна тонкозернистій оболонці ксеноліта (рис. 2, *c*). Форма бітумних утворень неправильна, переважно видовжена з нерівними краями відповідно до розміру силікатних зерен, що межують із ними. Тобто на межі з тонкозернистою речовиною відмічається тонка зазубреність (рис. 2, *b*), а з мезостазисом або мікропорфіровими зернами — плавні або рівні краї (рис. 2, *a*).

Додаткове вивчення бітуму у відбитих електронах (рис. 3, *a*) у режимі підвищеної яскравості (рис. 3, *b*—*d*; 4, *a*—*d*) надало змогу виявити в ньому ознаки аморфності і пластичності, а також тріщини, пори та неоднорідні за відтінком і хімічним складом смуги (рис. 3, *b*).

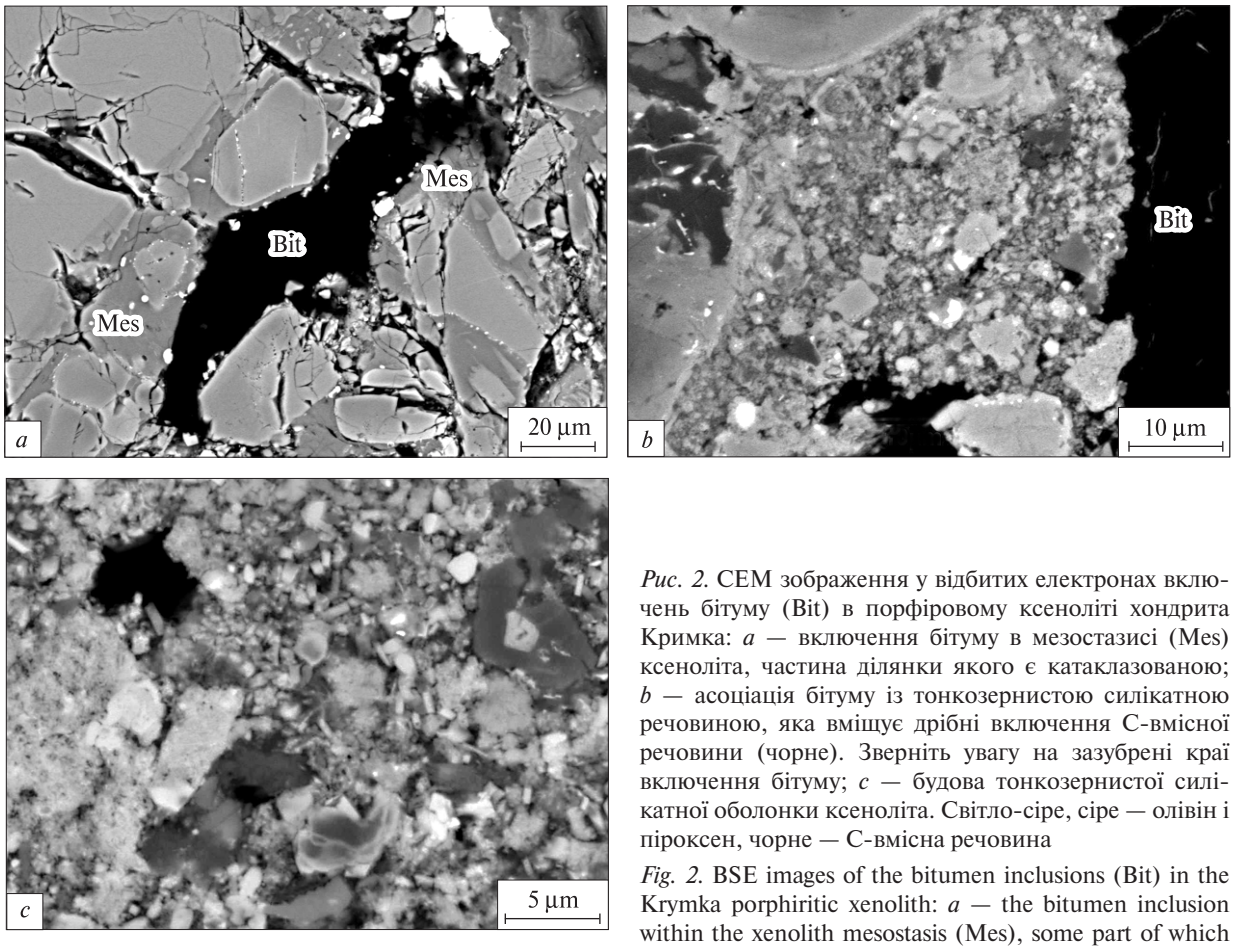

Рис. 2. СЕМ зображення у відбитих електронах включень бітуму (Bit) в порфіровому ксеноліті хондрита Кримка: *a* — включення бітуму в мезостазисі (Mes) ксеноліта, частина ділянки якого є катаклазованою; *b* — асоціація бітуму із тонкозернистою силікатною речовиною, яка вміщує дрібні включення С-вмісної речовини (чорне). Зверніть увагу на зазубрені краї включення бітуму; *c* — будова тонкозернистої силікатної оболонки ксеноліта. Світло-сіре, сіре — олівін і піроксен, чорне — С-вмісна речовина

Fig. 2. BSE images of the bitumen inclusions (Bit) in the Krymka porphiritic xenolith: *a* — the bitumen inclusion within the xenolith mesostasis (Mes), some part of which has cataclastic texture; *b* — association of bitumen with fine-grained silicate material, which contains fine inclusions of C-bearing material (black). Note a notched rim of the bitumen inclusion; *c* — a texture of the xenolith fine-grained silicate rim. Light-gray, gray — olivine and pyroxene, black — C-bearing material

Окремі включення бітуму характеризуються наявністю тонких повздовжніх тріщин (рис. 3, *c*), а також округлих часто деформованих пор мікронного розміру або великих порожнин. На відміну від периферійної частини, що має однорідну щільну будову, центральна частина одного із включень вміщує видовжені звивисті порожнини (рис. 3, *d*).

У режимі підвищеної яскравості чітко проявляється неоднорідність кольору, що зумовлено варіацією хімічного складу бітуму. Відповідно до видовженості включень у них наявні субпаралельні світліші за відтінком смуги волокнистої (рис. 4, *a*) або пластинчастої (рис. 4, *b*) будови товщиною від десятків нанометрів до декількох мікрометрів. Більшість із них є зігнутими (рис. 4, *b*, *c*) або хаотично зім'ятими, що вказує на їхню пластичну деформацію. В окремих випадках найтонші волокна мають віялоподібне розташування (рис. 4, *d*).

Бітум вміщує мікронні округлі зерна сульфіду заліза (рис. 2, *a*; 4, *a*), а в поодиноких випадках — теніту (39,8 Ni і 0,44 Co мас. %), гіпідіоморфні зерна хроміту, олівіну, піроксену, K-шпату (67,8 SiO_2; 22,9 Al_2O_3; 4,42 K_2O; 2,39 FeO; 1,12 MgO; 0,79 CaO; 0,51 TiO_2) та ділянки тонкозернистої силікатної речовини (рис. 3, *c*). На жаль, прецизійні дані щодо хімічного складу більшості включень мінералів отримати не вдалось через незначні розміри зерен. Відповідно до результатів енергодисперсійних досліджень, зерна сульфіду заліза і теніту характеризуються наявністю мікрокількостей Si, Al, Mg, Na, Cl, Ca, Ti, Cr. Порівняння цих даних з хімічним складом аналогічних мінералів у тонкозернистій речовині ксеноліта вказує на їх ідентичність.

Згідно з рентгеноспектральними дослідженнями, хімічний склад бітуму, визначений як середнє для 75 точок, змінюється не лише від включення до включення, але і в межах включень, мас. %, в дужках — середнє: C — 84,4—

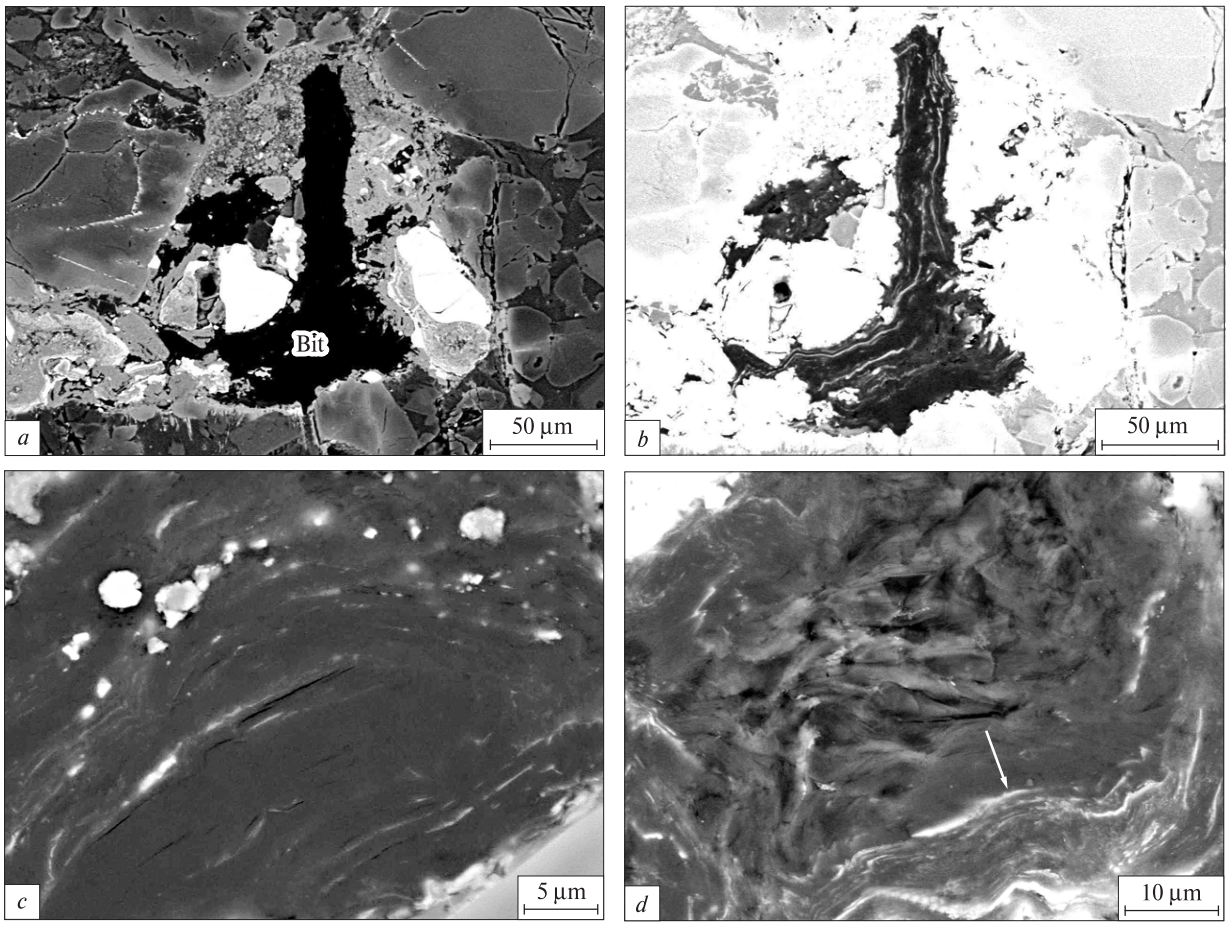

Рис. 3. СЕМ зображення у відбитих електронах включень бітуму (Bit) в порфіровому ксеноліті хондрита Кримка в режимі стандартної (*a*) і підвищеної (*b—d*) яскравості, яка дає змогу з'ясувати деталі їх будови: *a*, *b* — включення бітуму смугастої будови; *c* — повздовжні тріщини в одному із включень бітуму, яке вміщує окремі зерна троїліту (біле) і уламки тонкозернистої речовини (світло-сіре); *d* — будова одного із включень з крупними порожнинами (чорне) в центрі. Периферія включення є щільною і вміщує світлі смуги з ознаками деформації (стрілка)

Fig. 3. BSE images of the bitumen inclusions (Bit) in the Krymka porphiritic xenolith in a procedure of ordinary (*a*) and enhanced (*b—d*) brightness, which allows to determine their structure details: *a*, *b* — a bitumen inclusion of the striped structure; *c* — elongated cracks within one of the bitumen inclusion, which contains separate grains of troilite (white) and fine-grained material clasts (light gray); *d* — a structure of one of the inclusions with coarse voids (black) in a central part. The inclusion periphery is dense and contains light strips (arrow) with deformation evidences

99,4 (94); O — 1,50—5,64 (2,73); Fe — 0,25—5,07 (1,42); Ni — 0,01—0,47 (0,17); Co — 0,00—0,07 (0,01); S — 0,01—0,07 (0,03); Si — 0,02—0,44 (0,11); Mg — 0,01—0,30 (0,07); Na — 0,00—0,18 (0,06); Ca — 0,00—0,11 (0,03); кожний з решти мікроелементів (Cu, Cr, P, Mn, Al, Ti, K, Ag, P, Cl) < 0,03; *сума* — 92,7—101,8 (98,8). Досить низька аналітична сума в окремих точках визначення зумовлена, найімовірніше, пористістю бітуму, особливо в його центральних частинах.

Для з'ясування природи варіації хімічного складу бітуму в межах включень було виконано додаткові енергодисперсійні дослідження хімічного складу світліших за відтінком смуг і основної частини бітуму. Результати дослідження чітко вказують на те, що світлі смуги, окрім C (80,2—96,8 мас. %), який домінує, вміщують Fe (2,41—14,7), у більшості випадків — Ni (0,08—3,28), Co (0,04—0,23), S (0,03—0,46), а також елементи-домішки в кількості менше 1 мас. % (Si, Mg, Ca, P, Na, Mn, Al і K), частина з яких може бути забрудненням і входити до складу інших мінералів. Темні однорідні ділянки бітуму вміщують, мас. %: C 98,9—99,9; Fe 0,10—1,12; Ni 0—0,29; S 0—0,6 і в окремих точках у мікрокількостях — Na, Mg, Al, Si, Mn. Так, в одній із ділянок бітуму хімічний склад (мас. %) світлих смуг відповідає 95,9 C; 3,45 Fe; 0,12 Ni; 0,11 S, по <0,1 Na, Mg, Si, Mn, Ca, Cr, а темних ділянок —

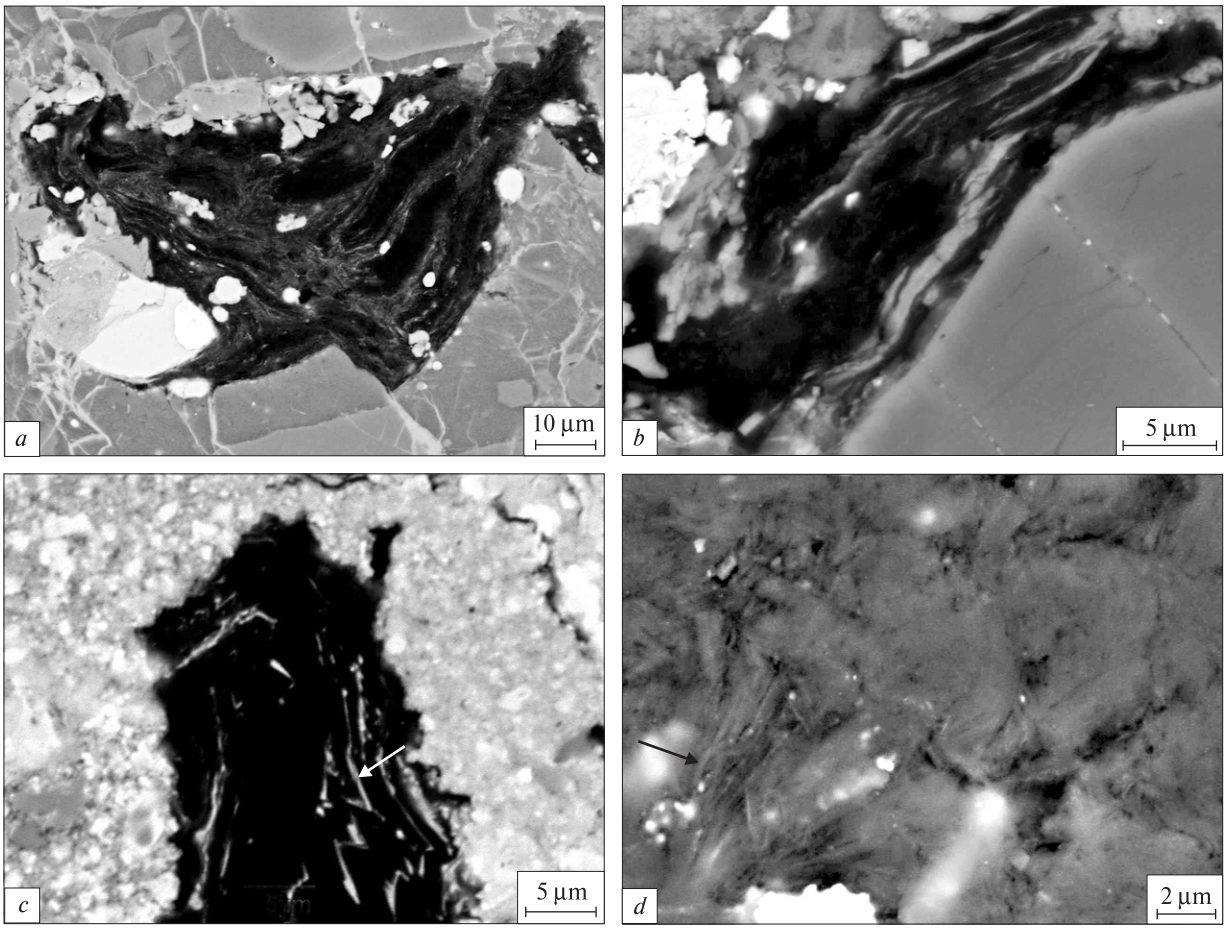

Рис. 4. СЕМ зображення у відбитих електронах будови включень бітуму в режимі підвищеної яскравості в порфіровому ксеноліті хондрита Кримка: *a* — включення бітуму (чорне) вміщує дрібні зерна троїліту (біле), уламки тонкозернистої речовини (світло-сіре) і світліші смуги, які збагачені Fe і Ni; *b* — чітко видима смугаста будова одного із включень бітуму; *c* — системи зігнутих пластинок (стрілка) в бітумі, що свідчать про пластичну деформацію; *d* — волокниста будова одного із включень бітуму, окремі ділянки якого мають віялоподібну будову (стрілка)

Fig. 4. BSE images of the bitumen inclusions structure in enhanced brightness in the Krymka porphiritic xenolith: *a* — bitumen inclusion (black) contains troilite (white) fine grains, clasts of fine-grained material (light gray) and light bands enriched in Fe and Ni; *b* — clearly visible stripped structure of one of the bitumen inclusions; *c* — a system of curved strips (arrow) in a bitumen, that indicates to a plastic deformation; *d* — a fibrous structure of one of the bitumen inclusions with a fan-like structure (arrow) of separate areas

99,9 C і 0,10 Fe, що однозначно свідчить про взаємозв'язок між неоднорідністю хімічного складу бітуму та будовою.

Важливою особливістю ксеноліта є також наявність мікронних ділянок С-вмісної речовини в тонкозернистій речовині ксеноліта і оболонки (рис. 2, *c*). Форма ділянок близька до округлої або видовженої, конфігурація країв визначається формою зерен, що межують із ними. На жаль, через незначні розміри ділянок у нас немає підстав для того, щоб вважати цю вуглецьвмісну речовину бітумом. Можна лише зробити припущення щодо її вищого ступеня метаморфічного перетворення, ніж бітуму, і ймовірну належність до частково мінералізованої С-речовини.

Таким чином, аморфність, пластичність, здатність до випаровування і вуглецевий склад є важливим доказом належності темних ділянок ксеноліта до твердого бітуму. Водночас у ксеноліті відмічено включення, яке є слабо анізотропним у відбитому світлі оптичного мікроскопа і має дуже тонку полікристалічну будову, що свідчить про початкову стадію графітизації бітуму. Внаслідок проведених досліджень встановлено, що включення бітуму в порфіровому ксеноліті характеризуються такими ознаками: 1 — розташуванням переваж-

но на поверхні і приповерхневих ділянках ксеноліта, а також майже постійною асоціацією з тонкозернистою речовиною і розміщенням у катаклазованих ділянках; 2 — видовженою формою; 3 — зазубреністю країв із частковим проникненням у міжзерновий простір ксеноліта; 4 — аморфністю; 5 — здатністю до випаровування під дією електронного або рентгенівського проміння з подальшою конденсацією на поверхні шліфа метеорита; 6 — наявністю пор і тріщин; 7 — вмістом окремих зерен мінералів, переважно сульфіду заліза, ділянок тонкозернистої речовини, а також збагачених Fe, Ni і S світліших за відтінком смуг; 8 — варіацією аналітичної суми у валовому хімічному складі різних ділянок бітуму в межах 92,7—101,8 (мас. %), а вмісту С — 84,4—99,4 (мас. %); 9 — наявністю ознак пластичної деформації.

Походження порфірового ксеноліта і бітуму. Органічна речовина є хоча і другорядною, але характерною складовою метеоритів, особливо вуглистих і дещо меншою мірою — звичайних нерівноважних хондритів [1, 4, 8, 9]. Згідно з загально узгодженою думкою, її формування зумовлене абіотичним синтезом на ранніх етапах розвитку протопланетної туманності. Первісні органічні сполуки були суттєво змінені на різних етапах і за різних *PT*-умов протопланетної туманності і материнських тіл метеоритів. Особливе значення мали процеси ударного метаморфізму, які сприяли поетапній структуризації та перетворенню органічної речовини в графіт.

Знахідка великих включень бітуму в метеориті не традиційними хімічними методами, що характерно для дослідження органічної речовини, а за допомогою електронно-мікроскопічних і мікрозондових досліджень, є рідкісною для звичайних хондритів взагалі і першою для метеорита Кримка. З'ясування природи бітумовмісного ксеноліта безпосередньо пов'язане з вирішенням питань щодо умов утворення бітуму. Розглянемо їх послідовно:

1. Будова, мінеральний і хімічний склад ксеноліта, а також неоднорідність складу олівінових і піроксенових зерен, однозначно вказують на формування його речовини внаслідок нерівноважної розкристалізації силікатного розплаву аналогічно утворенню мікропорфірових хондр або ударних розплавів. Чітке розділення в ньому метал-сульфідних і силікатних фаз вказує на існування незмішуваних метал-сульфідних і силікатних розплавів за високої температури з подальшим миттєвим охолодженням, що надало змогу "заморозити" їх незмішуваність. Тобто зберегти метал-троїлітові фази як великі зерна в силікатній речовині порфірової будови, зумовити широкі варіації хімічного складу мінералів, високотемпературний характер хроміту, а також наявність численних мікро- і нановключень у тенітi і троїліті. До речі, така ж структура характерна для повністю ударно-переплавлених ділянок у хондриті Кримка, що вивчені раніше [15].

Уламкова форма ксеноліта є свідченням приналежності до фрагмента більшого об'єкта. Одним із ймовірних об'єктів могла бути мікропорфірова макрохондра типу знайденої раніше у хондриті Кримка, яка також вміщує С-речовину, але у формі зерен тонкокристалічного графіту [5, 6]. Співставлення розмірів макрохондри (6,6 × 4,4 мм) і ксеноліта (на жаль, в аншліфі збереглася лише його частина розміром 3,3 × 2,2 мм) узгоджується з таким припущенням. Доречно відмітити цікаве, що зерна тонкокристалічного графіту аналогічні за розміром (≤100 × 50 мкм) включенням бітуму і також розташовані лише на периферійній частині макрохондри. Ця особливість вимагає переосмислення умов утворення графіту в макрохондрі з позиції подібних до ксеноліта механізмів формування С-вмісної речовини. Однак не виключено, що ксеноліт є фрагментом затверділого ударного розплаву з поверхні одного з консолідованих тіл. Але, в зв'язку з відсутністю вагомих доказів, залишимо це припущення без детального розгляду.

2. Основним у з'ясуванні природи бітуму є питання про його первинне джерело. Наявність С-вмісної речовини в ксеноліті і в тонкозернистій оболонці дає змогу зробити висновок про її спільне джерело. Оскільки на цьому етапі дослідження результати інфрачервоного вивчення вмісту органічних сполук і складу вуглеводнів у бітумі відсутні, то ми можемо зробити лише деякі припущення та висновки щодо його природи в ксеноліті.

Характер розташування бітуму переважно на поверхні і в периферійній частині ксеноліта, а також наявність тонкозернистої речовини і катаклазованих силікатних ділянок безпосередньо на межі з бітумом, дали змогу дійти висновку про міграційну природу бітуму, який міг проникнути у поверхневі шари ксеноліта із внутрішнього (хондритового) або зовнішнього (поза хондритового) джерела. Тобто, або в ре-

зультаті міграції в ксеноліт по попередньо катаклазованих ділянках і тріщинах із С-вмісної оболонки, або із зовнішнього джерела невідомого походження. При цьому варто зазначити, що процес міграції бітуму є досить поширеним явищем у природі. Зокрема, до міграційних утворень належать бітумні включення в базальті на півночі Хакасії (Росія) [2].

У цілому тверді бітуми характеризуються аморфністю, пластичністю, високою змочуваністю і, відповідно, високою проникною здатністю, яка особливо проявляється за підвищеної температури. Так, навіть при нагріванні до 25 ºС бітум мігрує на відстань 0,5—4 мм. Враховуючи наявність у бітумі ксеноліта не лише цих характеристик, але і численних ознак ударно-метаморфічного перетворення речовини, можна зробити припущення, що саме неодноразові процеси ударного метаморфізму сприяли міграції бітуму в ксеноліт із тонкозернистої оболонки або в оболонку і ксеноліт із невідомого зовнішнього джерела.

Одним із джерел бітуму могли бути органічні сполуки із тонкозернистої речовини оболонки у випадку відповідності її складу вуглистим хондритам. Але співвідношення SiO_2/MgO у валовому хімічному складі тонкозернистої речовини оболонки і ксеноліта становить 2,7 [3, 7], що не дає можливість класифікувати її як вуглисту речовину (SiO_2/MgO — 0,42 ± 0,06) [16], а вказує на приналежність до типової непрозорої матриці (SiO_2/MgO — 2,9) метеорита Кримка [10], для якої характерна відсутність С-вмісної речовини.

Поряд з цим не виключено, що саме мінеральна компонента оболонки ксеноліта додатково збагатилась С-речовиною в доакреційний період і стала джерелом бітуму, що частково проник по тріщинах і катаклазованих ділянках в периферійні частини ксеноліта. Тобто припускається багатоетапна схема послідовності проникнення бітуму в ксеноліт, яка включає акрецію попередньо збагачених С-речовиною пилових зерен на поверхню порфірового ксеноліта в газопиловій туманності, входження ксеноліта в материнське тіло хондрита в період агломерації та подальше його неодноразове ударно-метаморфічне перетворення з трансформацією С-речовини оболонки до бітуму. Наявність у бітумі округлих зерен мінералів, ймовірно, є ознакою часткового захоплення мінеральних компонентів тонкозернистої речовини оболонки в процесі його проникнення в ксеноліт. Наразі виникають питання: чи достатньо було в оболонці органічних сполук для збагачення поверхні ксеноліта бітумом? І якщо так, то, чи вся оболонка збереглася в процесі агломерації материнського тіла метеорита?

Якщо виключити можливість утворення бітуму в ксеноліті із тонкозернистої оболонки, то відсутність якихось ознак наявності такого джерела в інших текстурних одиницях хондрита в безпосередньому контакті з ксенолітом або навколо нього, вказує на високу ймовірність послідовного налипання на поверхню ксеноліта органічних сполук, а потім пилових зерен в умовах газопилової туманності або на реголітовій поверхні невідомого тіла вуглистого складу. За такого сценарію в період агломерації материнського тіла хондрита Кримка ксеноліт мав бути вкритим частково органічною речовиною і повністю — тонкозернистою оболонкою. Далі процеси ударного метаморфізму, вірогідно, зумовили проникнення С-збагаченої речовини в периферійні ділянки ксеноліта і в оболонку.

Ознаки крихких деформацій всередині ксеноліта і пластичних в бітумі вказують на неодноразове проходження ударних хвиль у постакреційний період, тобто уже всередині материнського тіла метеорита. Ударний тиск, спричинений багаторазовими ударними подіями в історії материнського тіла метеорита Кримка [15], зумовив мобілізацію органічної речовини і заповнення дрібних тріщин ксеноліта бітумом, його подальшу деформацію і пористість, очищення від елементів-домішок із формуванням ділянок, складених майже чистим вуглецем, і, можливо, часткову графітизацію поодиноких включень у ксеноліті, а також часткову мінералізацію дрібних включень С-речовини в тонкозернистій оболонці. Згідно з літературними даними [4, 8], ударно-метаморфічні процеси сприяють послідовним метаморфічним змінам в органічній речовині з кристалізацією графіту на завершальних стадіях.

Одним із дискусійних питань у вивченні порфірового уламка з бітумом є питання коректності класифікації його як ксеноліта. З одного боку, його ординарні структурно-мінералогічні характеристики, а також валовий хімічний склад тонкозернистої оболонки вказують на належність до звичайних хондритів. З іншого — розташування в ньому бітуму є свідченням знаходження уламка на певному етапі еволюції

в неординарних для звичайних хондритів умовах, що сприяло проникненню бітуму і ускладненню його структурно-мінералогічних та хімічних характеристик. Оскільки будь-який об'єкт дослідження є інтегральним результатом умов утворення та еволюції, то особливості порфірового уламка дають змогу визначити його як ксеноліт у хондриті Кримка.

Висновки. Структурно-мінералогічне і хімічне дослідження бітумовмісного порфірового ксеноліта у хондриті Кримка дає змогу зробити такі висновки і припущення: 1. С-вмісний ксеноліт є уламком мікропорфірової макрохондри або іншого великого об'єкта аналогічної будови, представленого розкристалізованим ударним розплавом; 2. С-вмісна речовина ксеноліта складена твердим бітумом, а тонкозернистої оболонки — ймовірно частково мінералізованою його відміною; 3. Бітум має, найімовірніше, ударно-метаморфічну міграційну природу, зумовлену багатократними ударними подіями в доземній історії материнського тіла метеорита Кримка. Він міг проникнути у порфіровий уламок або із тонкозернистої оболонки попередньо збагаченої органічною речовиною, або із органічних сполук, акреційованих поверхнею ксеноліта ще до утворення тонкозернистої оболонки.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Вдовыкин Г.П.* Углеродистое вещество метеоритов (органические соединения, алмазы, графит). — М. : Наука, 1967. — 271 с.
2. *Ву Ван Хай, Серебренникова О.В.* Углеводороды битумных включений в магматических породах на севере Хакасии // Вест. Томск. гос. ун-та. — 2012. — № 362. — С. 173—177.
3. *Гіріч А.Л., Семененко В.П.* Порфіровий бітумовмісний ксеноліт у хондриті Кримка (LL3.1): 1. Структурно-мінералогічна характеристика // Мінерал. журн. — 2016. — **38**, № 3. — С. 56—66.
4. *Корочанцев А.В.* Ударное преобразование битумов: приложение к органическому веществу метеоритов и импактитов : Автореф. ... канд. геол.-минерал. наук. — М., 2004. — 27 с. — [Электрон. ресурс]. — Режим доступа : http://www.meteorites.ru/menu/publication/korochancev-avto.pdf.
5. *Семененко В.П., Гіріч А.Л.* Два типи зерен графіту в хондриті Кримка (LL3.1) // Мінерал. зб. — 2010. — № 60, вип. 2. — С. 44—52.
6. *Семененко В.П., Гіріч А.Л.* Мінералогічні особливості та генезис унікальної макрохондри метеорита Кримка (LL3.1) // Доп. НАН України. — 2011. — № 11. — С. 107—114.
7. *Семененко В.П., Шкуренко К.О., Гіріч А.Л.* Хімічна неоднорідність тонкозернистої речовини в метеориті Кримка (LL3.1) // Мінерал. журн. — 2014. — **36**, № 4. — С. 39—49.
8. *Buseck P.R., Bo-Jun H.* Conversion of carbonaceous material to graphite during metamorphism // Geochim. et cosmochim. acta. — 1985. — **49**. — P. 2003—2016.
9. *Cronin J.R., Pizzarello S.* Organic matter in carbonaceous chondrites, planetary satellites, asteroids and comets // Meteorites and the early Solar system / Eds. J.F. Kerridge, M.S. Matthews. — Tucson : Arizona Univ. Press, 1988. — P. 819—857.
10. *Huss G.R., Keil K., Taylor G.J.* The matrices of unequilibrated ordinary chondrites: Implications for the origin and history of chondrites // Geochim. et cosmochim. acta. — 1981. — **45**. — P. 33—51.
11. *Semenenko V.P., Bischoff A., Weber I., Perron C., Girich A.L.* Mineralogy of fine-grained material in the Krymka (LL3.1) chondrite // Meteoritics and Planet. Sci. — 2001. — **36**. — P. 1067—1085.
12. *Semenenko V.P., Girich A.L.* Mineralogy of a unique graphite-containing fragment in the Krymka (LL3) chondrite // Mineral. Mag. — 1995. — **59**. — P. 445—456.
13. *Semenenko V.P., Girich A.L., Nittler L.R.* An exotic kind of cosmic material: Graphite-containing xenoliths from the Krymka (LL3.1) chondrite // Geochim. et cosmochim. acta. — 2004. — **68**. — P. 455—475.
14. *Semenenko V.P., Jessberger E.K., Chaussidon M., Weber I., Stephan T., Wies C.* Carbonaceous xenoliths in the Krymka LL3.1 chondrite: Mysteries and established facts // Geochim. et cosmochim. acta. — 2005. — **69**. — P. 2165—2182.
15. *Semenenko V.P., Perron C.* Shock-melted material in the Krymka LL3.1 chondrite: Behavior of the opaque minerals // Meteoritics and Planet. Sci. — 2005. — **40**. — P. 173—185.
16. *Van Schmus W.R., Wood J.A.* A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites // Geochim. et cosmochim. acta. — 1967. — **31**. — P. 745—765.

Надійшла 09.06.2016

REFERENCES

1. Vdovykin, G.P. (1967), *Uglerodistoe veshchestvo meteoritov (organicheskie soedinenija, almazy, grafit)*, Nauka, Moscow, 271 p.
2. Vu Van, Haj and Serebrennikova, O.V. (2012), *Vestnik Tomskogo Gos. Univ.*, No 362, Tomsk, RU, pp. 173-177.
3. Girich, A.L. and Semenenko, V.P. (2016), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 38 No 3, pp. 56-66.
4. Korochancev, A.V. (2004), *Udarnoe preobrazovanie bitumov: prilozhenie k organicheskomu veshchestvu meteoritov i impaktitov*, Abstract of Ph.D. dissertation, Moscow, 27 p., available at: http://www.meteorites.ru/menu/publication/korochancev-avto.pdf.

5. Semenenko, V.P. and Girich, A.L. (2010), *Mineral. zb.*, Lviv, Ukraine, No 60, Vyp. 2, pp. 44-52.
6. Semenenko, V.P. and Girich, A.L. (2011), *Dop. NAN Ukrainy*, Kyiv, No 11, pp. 107-114.
7. Semenenko, V.P., Shkurenko, K.O. and Girich, A.L. (2014), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 36 No 4, pp. 39-49.
8. Buseck, P.R. and Bo-Jun, H. (1985), *Geochim. et cosmochim. acta*, Vol. 49, pp. 2003-2016.
9. Cronin, J.R. and Pizzarello, S. (1988), *Meteorites and the early Solar system*, in Kerridge, J.F. and Matthews, M.S. (eds), Arizona Univ. Press, Tucson, pp. 819-857.
10. Huss, G.R., Keil, K. and Taylor, G.J. (1981), *Geochim. et cosmochim. acta,* Vol. 45, pp. 33-51.
11. Semenenko, V.P., Bischoff, A., Weber, I., Perron, K. and Girich, A.L. (2001), *Meteoritics and Planet. Sci.*, Vol. 36, pp. 1067-1085.
12. Semenenko, V.P. and Girich, A.L. (1995), *Mineral. Mag.*, Vol. 59, pp. 445-456.
13. Semenenko, V.P., Girich, A.L. and Nittler, L.R. (2004), *Geochim. et cosmochim. acta,* Vol. 68, pp. 455-475.
14. Semenenko, V.P., Jessberger, E.K., Chaussidon, M., Weber, I., Stephan, T. and Wies, C. (2005), *Geochim. et cosmochim. acta,* Vol. 69, pp. 2165-2182.
15. Semenenko, V.P. and Perron, C. (2005), *Meteoritics and Planet. Sci.*, Vol. 40, pp. 173-185.
16. Van Schmus, W.R. and Wood, J.A. (1967), *Geochim. et cosmochim. acta*, Vol. 31, pp. 745-765.

Received 09.06.2016

В.П. Семененко, А.Л. Гирич

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семененко НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр-т Акад. Палладина, 34
E-mail: cosmin@i.ua

ПОРФИРОВЫЙ БИТУМОСОДЕРЖАЩИЙ КСЕНОЛИТ
В ХОНДРИТЕ КРЫМКА (LL3.1): 2. СТРОЕНИЕ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
И ПРОИСХОЖДЕНИЕ БИТУМА

Представлены результаты электронно-микроскопического и микрозондового исследования включений битума в порфировом ксенолите хондрита Крымка. Обоснован вывод о принадлежности ксенолита к обломку микропорфировой макрохондры или другого крупного объекта аналогичного строения, представленного раскристаллизованным ударным расплавом. Сделано предположение об ударно-метаморфической миграционной природе битума, которая была обусловлена многократными ударными событиями в доземной истории родительского тела метеорита Крымка. Битум мог проникнуть в порфировый обломок или из тонкозернистой каемки, предварительно обогащенной органическим веществом, или из органических соединений, аккрецированных поверхностью ксенолита еще до образования каемки.

Ключевые слова: метеорит, хондрит, ксенолит, битум, минералы, тонкозернистое вещество, ударный метаморфизм.

V.P. Semenenko, A.L. Girich

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy
and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Av., Kyiv-142, Ukraine, 03680
E-mail: cosmin@i.ua

PORPHYRITIC BITUMEN-BEARING XENOLITH
WITHIN THE KRYMKA (LL3.1) CHONDRITE: 2. STRUCTURE,
CHEMICAL COMPOSITION AND ORIGIN OF BITUMEN

The data on electron-microscopic and microprobe study of bitumen inclusions in the Krymka porphyritic xenolith are given. The bitumen is characterized by location predominantly on a surface and subsurface areas of the xenolith, amorphous state, ability to evaporation under electron beam and X-rays followed by condensation on a surface of the meteorite polished section, presence of pores and cracks, some mineral grains, areas of a fine-grained material and light bands enriched in Fe, Ni and S, variation of analytical sum in total chemical composition of different bitumen areas in the range 92.7—101.8 wt. %, and C content in the range 84.4—99.4 wt. %, presence of evidences of plastic deformation. We conclude that the bitumen-bearing xenolith belongs to a fragment of porphiritic macrochondrule or other large object represented by recrystallized shock melt with similar structure. A shock-metamorphic migration nature of the bitumen caused by plural shock events in the preterrestrial history of the Krymka parent body is supposed. The bitumen could be introduced into porphyritic clast either from a fine-grained rim previously enriched in organic matter or from organic compounds accreted by the xenolith surface before the rim formation.

Keywords: meteorite, chondrite, xenolith, bitumen, minerals, fine-grained material, shock metamorphism.