

ФЛЮЇДНІ ВКЛЮЧЕННЯ У ФЛЮОРИТІ З СІЕНІТІВ АЗОВСЬКОГО ШТОКУ (СХІДНЕ ПРИАЗОВ'Я)

Кристали флюориту з сієнітів Азовського масиву містять різноманітні включення, що відрізняються за розміром, формою, хімічним складом та агрегатним станом. Форма майже всіх включень, незважаючи на їхній теперішній агрегатний стан, є свідченням флюїдного походження включень, захоплення їх у рідкому стані. Одні кристали флюориту утворилися з "сухого" галоїдного розплаву, інші з галоїдного розплаву-розсолу, що плавно змінювався концентрованими водними розчинами хлоридів.

Систематизація попередніх досліджень і отримані нові дані дають змогу дещо інакше трактувати причину розмаїття включень у флюориті, яка раніше бачилась у поетапній гетерогенізації первинного магматичного розплаву. Показано, що визначальними є три чинники: незмішуваність між силікатним і галоїдним розплавами, прихована розшарованість відокремленого фторидного розплаву за густиною без порушення фазової гомогенності та різна генетична природа включень.

Флюорит — наскрізний породотвірний мінерал сієнітів Азовського штоку, що має типові ознаки розшарованої інтрузії [10]. Центральна частина штоку складена грубозернистими лейкократовими сієнітами і сієніт-пегматитами, довкола яких розміщені такситові і меланократові сієніти. Всі різновидності сієнітів більш ніж на 75 % складені анортоклаз-мікропертитом, інші мінерали розподілені нерівномірно. Меланосієніти збагачені на амфібол, локально на олівін, піроксен, аніт, трапляються шліри димчастого кварцу. У лейкосієнітах головний темноколірний мінерал — аніт, частка якого не перевищує 10 %, трапляються зерна білого кварцу. Вміст флюориту в сієнітах коливається від 5 до 15 %. Найбільші скупчення приурочені до лейкократових сієнітів, на окремих ділянках яких концентрація флюориту зростає до кількох десятків відсотків [8, 9].

Підвищена флюоритоносність порід завжди становила інтерес, оскільки роль фтору як транспортера рудних компонентів відома давно. Інтерес до Азовського штоку зумовлений тим, що у його межах розміщується потужне цирконій-рідкісноземельне родовище зі специфічною циркон-бритолітовою мінералізацією, формаційні аналоги якого невідомі [8]. Зруденіння приурочене до контакту між лейкосієнітами і меланосієнітами. За результатами попереднього вивчення включень у мінералах родовище в генетичному плані не має собі подібних [6]. Наявність у флюориті різноманітних за складом первинних включень вказує на його різні генетичні типи [5]. Отримані нові дані дали змогу дещо інакше трактувати розмаїття включень. Мета статті — у світлі нових фактів систематизувати включення, виявлені у флюориті, встановити механізм їх захоплення, послідовність консервації, прослідкувати еволюцію середовища мінералоутворення.

Результати вивчення включень. Вилучені із сієнітів зерна флюориту відрізняються між собою кольором, блиском, складом включень, розміщенням у породі. Одна частина цих зерен міститься як мономінеральні включення у породотвірних мінералах, інша — утворює зростки з іншими мінералами і разом з ними законсервована у породотвірних мінералах, третя — розміщується між кристалами породотвірних мінералів (в інтерстиціях) або утворює скупчення у породі. Залежно від місцезнаходження змінюється склад включень у флюориті.

1. Флюорит як включення в амфіболі, аніті, анортоклазі. Кульки прозорого монокристалного флюориту зрідка трапляються всередині великих кристалів амфіболу. Вони вирізняються бузковим кольором, високою прозорістю, майже алмазним блиском, відсутністю включень меншого порядку. Ще рідше спостерігаються зерна флюориту в залізістій слюді. Це матові кульки, сплюшені до дисків між окремими шарами слюди. Найбільше кулястого флюориту в анортоклаз-пертиті з меланосієнітів (рис. 1). Очевидно, не менше його в анортоклазі лейкосієнітів, кристали якого просвічують лише місцями. Флюорит білий, зі скляним блиском, слабопрозорий. Розмір кульок змінюється від десятків до сотень мікрометрів, рідко сягає перших міліметрів. Кулясті виділення флюориту в силікатах дуже подібні до нодулів фторидного розплаву у силікатному.

2. Парагенетичні зростки флюориту з рудними і породотвірними мінералами. Найчастіше це дрібні зерна (0,25—0,5 мм), безбарвні й блідо-фіолетові в асоціації з дрібними зернами олівіну, бритоліту, циркону, амфіболу чи альбіту (рис. 2), що частково або повністю містяться всередині кристалів анортоклазу або амфіболу. Трапляються такі зростки у меланократових і такситових сієнітах. Спільна риса флюориту із зростків: він практично не містить інших включень, крім мінеральних. У флюориті виявлено включення бритоліту, циркону, апатиту, амфіболу, залізістої слюди, альбіту. Зазвичай флюорит містить включення того мінералу, з яким контактує. На контакті з бритолітом — включення бритоліту, на контакті з амфіболом — включення амфіболу тощо.

Включення циркону, бритоліту, апатиту. Найчастіше у флюориті трапляються включення циркону. Типовою для циркону є псевдокубічна форма, невластива кристалам цього мінералу поза флюоритом (рис. 3). Серед кубиків велика частка ізотропного циркону, тоді як у рудах цей мінерал переважно кристалічний. Більше того, трапляються жовна і краплеподібні виділення циркону у флюориті, що досить незвичайно для циркону, який здебільшого утворює добре огранені кристали. Навіть якщо кристали циркону мають тетрагональну форму, окремі грані кристала-включення обов'язково паралельні граням мінералу-господаря. Всі факти засвідчують одночасне утворення флюориту і включень циркону в ньому. Кубічна форма включень циркону, що відповідає формі негативних кристалів флюориту, вказує на рідкий або щонайменше на пластичний стан циркону на момент консервації, оскільки речовина із плинними властивостями могла набути такої форми. Вочевидь, що це міг бути лише розплав.

Унікальні включення виявлені у флюориті, що утворює зросток з одного боку — з олівіном, з іншого — з бритолітом. Поблизу контакту з бритолітом флюорит містить включення цього мінералу (рис. 4). Краплеподібна форма виділень ізотропного бритоліту чітко свідчить про рідкий стан захопленої речовини, тобто флюорит захопив краплі розплаву, близького за складом до бритоліту. Біля кожної “бритолітової краплі” наявний добре огранений кристалик циркону, і співвідношення фази циркону і бритоліту в усіх включеннях однакове, що вказує на захоплення гомогенних крапель ще складнішого розплаву — TR-Zr-фосфатно-силікатного, з якого викристалізувався циркон, а залишковий фосфатно-силікатний розплав загартувався в ізотропне фосфатно-силікатне скло,

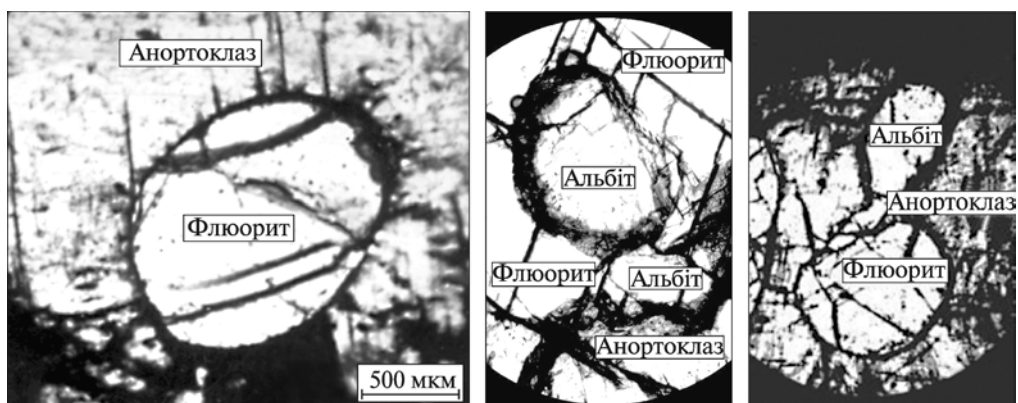


Рис. 1. Круглі зерна флюориту в анортоклазі, альбіту у флюориті, флюориту й альбіту в анортоклазі. Прозорий шліф

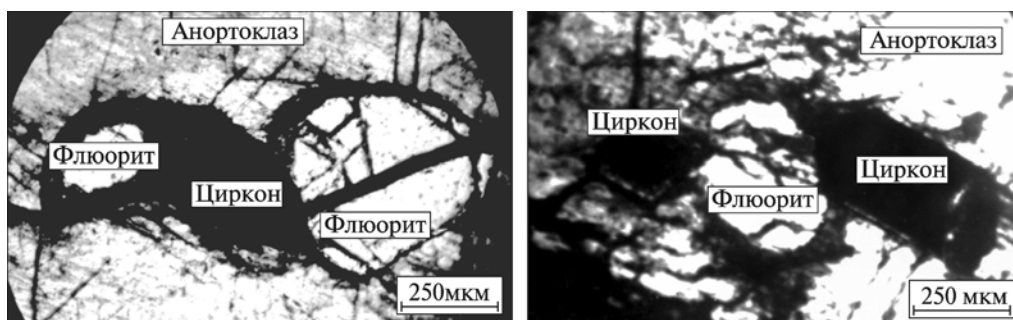


Рис. 2. Парагенетичні зростки флюориту з цирконом. Кульки флюориту виконують роль “поплавка” для кристалів циркону

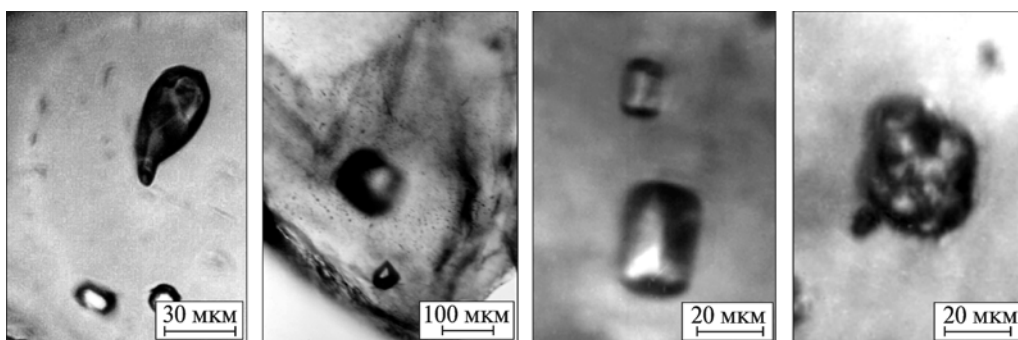


Рис. 3. Форма включень циркону у флюориті: краплі, кубики, жовна

близьке за складом до бритоліту. Привертає увагу тетрагональна форма кристалів циркону, мало спотворена флюоритом, тобто у цьому випадку циркон всередині флюориту утворився дещо раніше, ніж сам флюорит. Явно спостерігаємо процес кристалізаційної диференціації фосфатно-силікатного розплаву у краплях з першочерговим утворенням циркону: чи то кристали циркону осіли з розплаву, чи то бритолітовий розплав стікав з кристалів циркону, переміщуючись у напрямку контакту з бритолітом.

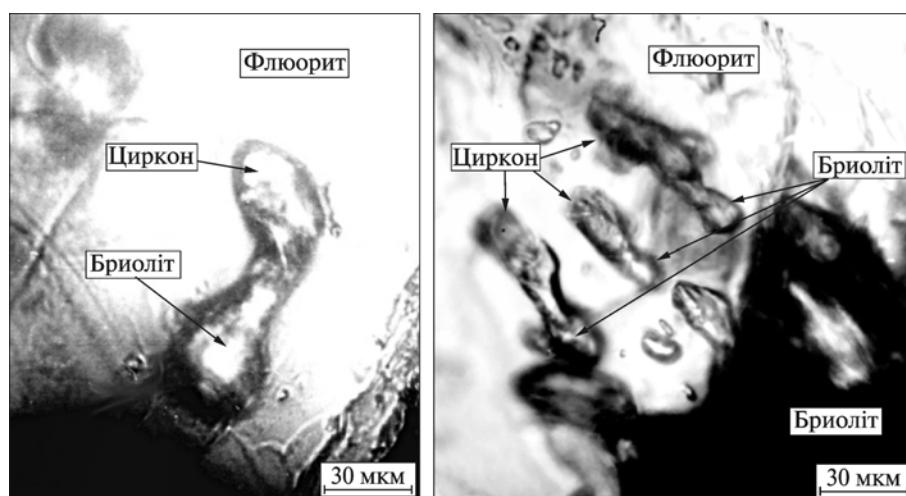


Рис. 4. Складні включення (кристал циркону + “крапля” бриоліту) у флюориті на контакті з бриолітом

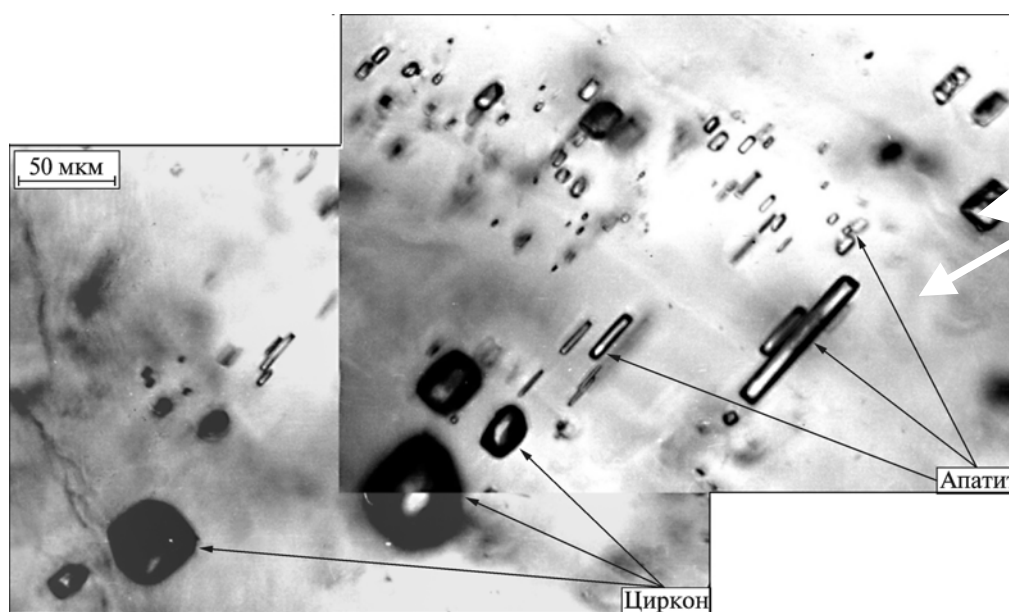


Рис. 5. Зональність флюориту, зумовлена закономірним розміщенням включень циркону та апатиту

Дещо інша диференціація фосфатно-силікатного розплаву зафіксована у флюориті з включеннями циркону й апатиту (рис. 5). Ізотропні кубики циркону і бруски апатиту закономірно розміщуються у кристалі флюориту, виявляючи його зональну будову. Форму включень і циркону, і апатиту можна трактувати як форму негативних кристалів флюориту. Квадратний переріз брусків вказує на те, що це куби, видовжені у напрямку осі шостого порядку в апатиті, тобто як щось проміжне між формою кристалів апатиту і флюориту. Деякі з брусків характеризуються складною будовою і містять інші тверді фази. Розташування включень циркону і апатиту свідчить про їх одночасне утворення з мі-

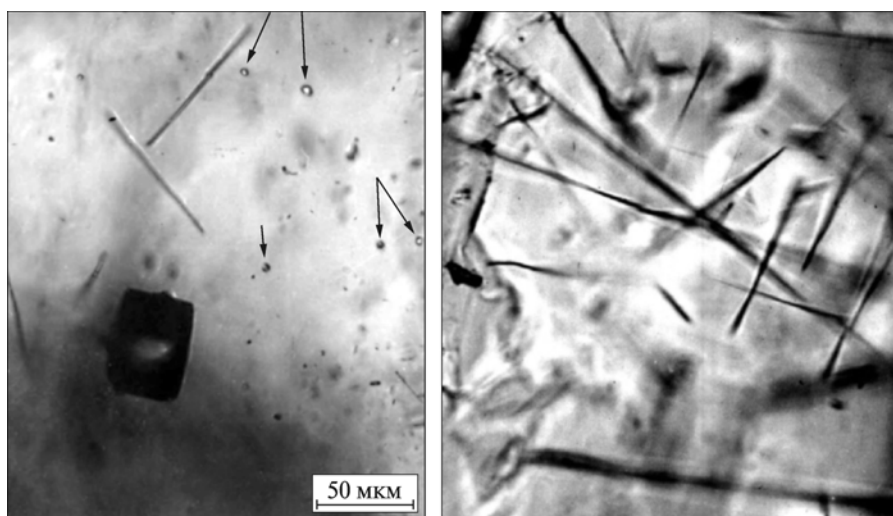


Рис. 6. Флюорит із сингенетичним кубиком циркону і діагенетичними голками апатиту. Стрілки показують на включення галіту

нералом-господарем, а форма і складна будова включень є наслідком їх кристалізації з розплаву, законсервованого у флюориті. Включення циркону і апатиту формують окремі зони у флюориті. Зона з включеннями циркону розміщується ближче до центра зерна флюориту, а зона з включеннями апатиту зміщена до краю. Останньою у цьому зерні є зона з включеннями галіту. Виявлені включення ілюструють диференціацію фторидного розплаву за складом домішок.

Частіше трапляються зерна флюориту, що містять великі включення циркону, а довкола них голчасті включення апатиту. Тонкі голки апатиту пронизують кристали флюориту вздовж напрямків октаедричних ребер і нагадують структури розпаду твердих розчинів (рис. 6). Між ними розміщені ще менші включення галіту. Іноді голки завершуються кристаликом карбонату (ймовірно фтор-карбонату). Включення циркону явно утворилися одночасно з флюоритом, а включення апатиту мали сформуватися дещо пізніше, вже у консолідованому зерні.

Включення амфіболу і залізистої слюди. Для включень амфіболу, що за оптичними константами подібний до ферогастингситу, властива форма трикутних і шестикутних пластинок (рис. 7, а, б), яка зовсім не характерна для його кристалів. Це типова форма негативних кристалів флюориту, оскільки флюїдні включення у ньому зазвичай набувають такої форми. Різноманітну форму мають включення залізистої слюди у флюориті — від шестикутних пластинок до дисків і заокруглених брусків (рис. 7, в). Хоча останні закономірно розміщуються у мінералі-господарі, орієнтація індивідів слюди у включеннях довільна. Включення слюди успадкували форму негативних кристалів флюориту, одночасно частково видозмінивши її: під впливом структури слюди кубі перетворилися на бруски. Слюда і амфібол кристалізувалися або одночасно з флюоритом, або дещо пізніше із законсервованого розплаву, і на момент консервації мали властивості рідини, а не твердого тіла. Оскільки ніякої іншої флюїдної субстанції ні всередині включень, ні довкола не виявлено, такою рідиною слід вважати меланократовий силікатний розплав, близький за складом до законсервованих залізистих силікатів.

Іноді можна помітити, що флюорит довкола включень амфіболу за оптичними характеристиками дещо відрізняється від мінералу-господаря (рис. 7, а).

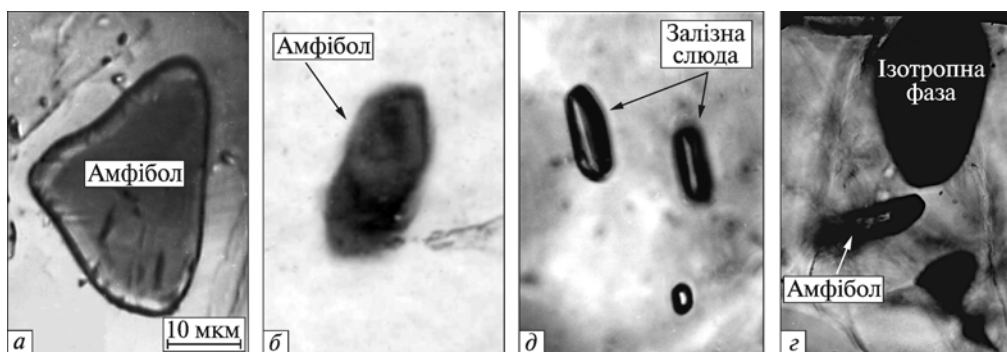


Рис. 7. Включення амфіболу і залістистої слюди у флюориті

Це зовнішня зона включень, тобто флюоритом був захоплений не розплав гас-тингситу, а збагачений залізом силікатно-фторидний розплав, з якого спочатку відбулося осадження флюориту на стінках включення, а залишковий розплав, що за складом відповідав гас-тингситу, був законсервований у вигляді включення. У цих же зернах флюориту містяться кульки чорної ізотропної фази, що, можливо, є краплями затверділого сильно залістистого розплаву (гас-тингситове скло) (рис. 7, з).

Включення альбіту. Найпоширенішими є зростки флюориту з альбітом. Вони містяться в анортоклаз-пертиті самостійно (див. рис 1, а, б) або є частинами складніших включень (див. рис. 1, в).

Кулясті включення флюориту з альбітом (див. рис. 1). Трапляються рідше, ніж суто флюоритові. Кульки монокристалного флюориту містять всередині кульки альбіту, що майже не поступаються їм за розміром, або кульки флюориту і альбіту розміщені поряд і разом законсервовані в анортоклазі. Розмір кульок сягає сотень мікрометрів. Так само, як для суто флюоритових, очевидна нодулярна природа кульок флюориту з альбітом. Вони відображають незмішуваність, що виникла у материнському розплаві між силікатним і фторидним розплавами. Наявність альбітової фази всередині або збоку біля нодулів флюоритового складу засвідчує два етапи незмішуваності: спочатку між силікатним (анортоклаз) і силікатно-фторидним розплавом, потім розділення останнього на суто силікатну (альбіт) і суто фторидну (флюорит) фази.

Пластинчасті включення альбіту з флюоритом. Трапляються дуже часто у кристалах анортоклазу. Круглі, овальні, черв'якоподібні зерна флюориту вкраплені у пластинчасту альбітову матрицю, і все разом міститься в анортоклазі у вигляді диско-, ромбо- і лейстоподібних включень (рис. 8). Розміщення круглих зерен флюориту у пластинчастому альбіті дуже подібне до затверділої емульсії фторидного розплаву в силікатному.

Флюорит-альбітові сектори у включеннях залістистого залишкового розплаву в анортоклаз-пертиті. Склад залишкового розплаву обумовив кристалізацію у включеннях силікатів заліза (амфіболу, слюди, хлориту), разом з якими нерегулярно наявний альбіт з флюоритом. Заокруглені кристали флюориту розміщуються у матриці альбіту на кшталт емульсійного розчину і разом з матрицею є складовою частиною включень (рис. 8).

З огляду на розмір виділень, термометричні дослідження виконано лише нодулярного флюориту. Окремі його нодулі містять не кульки, а пластинки альбіту, розмір яких на порядок менший, але в сумі вони можуть займати до четвертини об'єму мінералу-господаря. Це круглі, серпоподібні, шестикутні й трикутні пластинки (рис. 9), розміром 20—50 мкм, розташовані паралельно до однієї

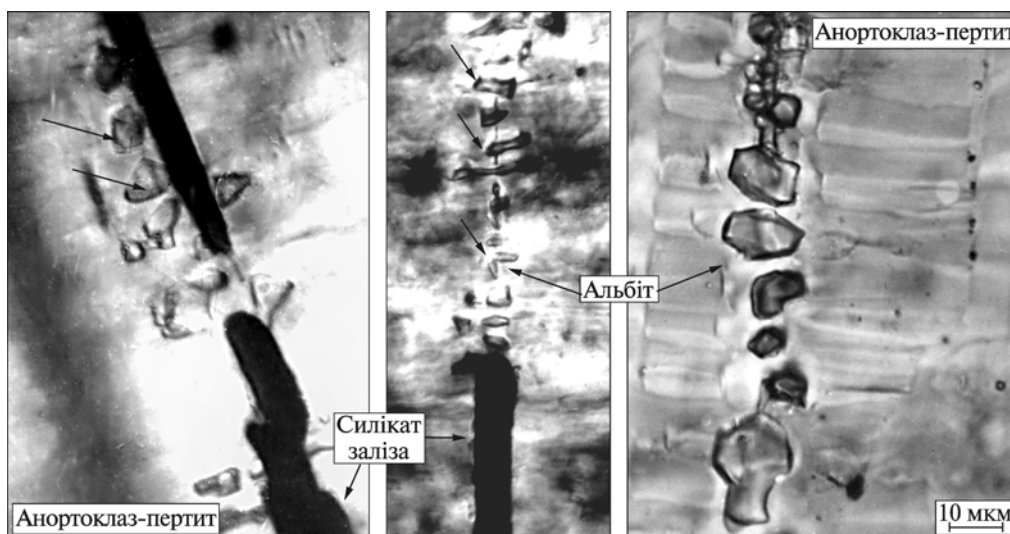


Рис. 8. Лейстоподібні включення закристалізованого залишкового розплаву в анортоклаз-пертиті. Стрілки показують на заокруглені кристали флюориту в матриці альбіту

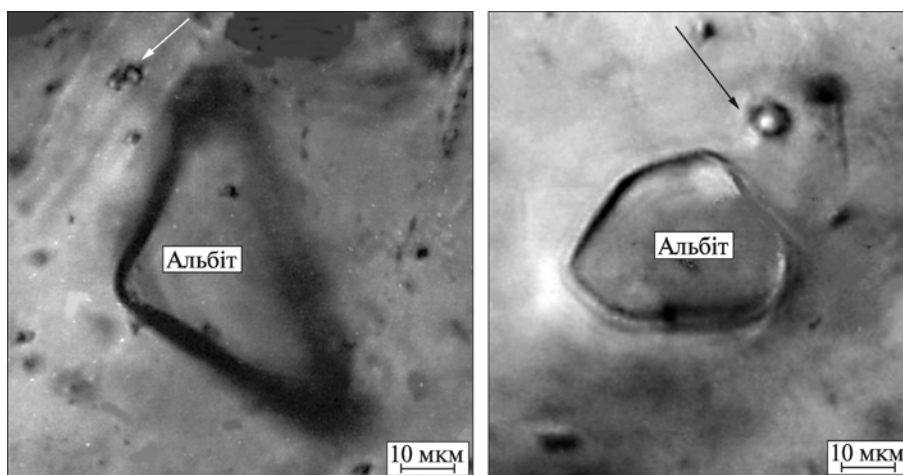


Рис. 9. Включення альбіту у флюориті. Стрілки показують на включення галіту

з октаедричних граней флюориту. Чорні контури пластинок, можливо, спричинені обідком газової фази між включенням і мінералом-господарем. За оптичними характеристиками пластинки відповідають альбіту, деякі з них ізотропні. Форму пластинчастих включень можна трактувати як свідчення рідкого стану альбіту на момент консервації, оскільки шестикутні і трикутні пластинки — це сплюснені негативні кристали флюориту кубічної форми і, ймовірно, октаедричної. Лише флюїдні включення могли набути форми негативного кристала мінералу-господаря або прийняти круглу форму.

Під час нагрівання альбіт всередині кульок флюориту не плавиться, а повільно гетерогенізується від 500 до 650 °С з виділенням мікронних бульбашок газу, що скупчуються у вигляді смуги посередині включення. Далі сам флюорит стає нестійким і руйнується спочатку з поверхні, а потім всередині. До температури 700 °С прозорий, оптично однорідний кристал набуває порцелянового

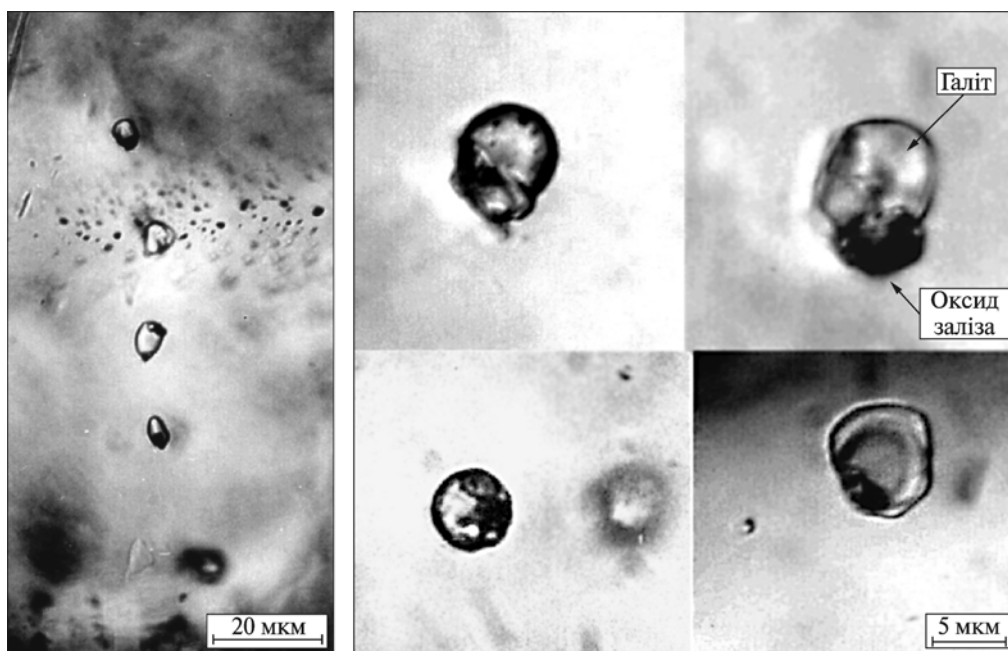


Рис. 10. Двофазові (галіт і рудний мінерал) включення закристалізованого “сухого” солявого розплаву у флюориті

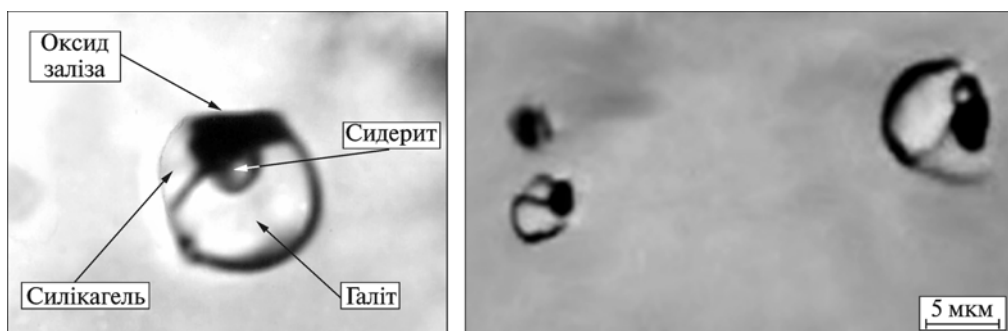


Рис. 11. Чотирифазові включення закристалізованого “сухого” силікатно-солявого розплаву у флюориті: галіт — 65 %; силікат — 15; рудний мінерал — 15; кулька сидериту — 5 %

вигляду і перетворюється на агрегат мікронних блоків у монолітній оболонці. На повітрі в умовах нормального тиску цей флюорит руйнується раніше, ніж починають плавитися включення альбіту у ньому.

Включення галіту. У флюориті, що утворює парагенетичні зростки з різними мінералами і містить включення цих мінералів, виявлені також включення галіту, зазвичай розміщені довкола перших, у більш віддалених від центра зонах кристала. Такі включення виявлені навколо включень циркону, апатиту, амфіболу, альбіту (рис. 10, 11). Це можуть бути зони з густо розташованими включеннями галіту, ланцюжки із включень або поодинокі включення розміром 3—5, рідко 10 мкм. Ще менші включення (1—2 мкм) виявляються рівномірно розсіяними в усій масі кристалів флюориту (див. рис. 6, 9). Галіт є головним, однак не єдиним компонентом включень, що однозначно свідчить про

утворення їх із сольового розплаву хлоридного складу. Для включень сольового розплаву характерна куляста, частіше дископодібна форма.

Найпростіші включення двофазові. Вони типові для флюориту з меланосієнітів. Включення складаються з галіту і рудної (непрозорої) фази, частка якої у включеннях гомогенного захвату коливається від 3 до 5, в окремих до 20 %. Рудна фаза найімовірніше представлена магнетитом, можливо, іноді гематитом. Ближче до лейкосієнітів трапляються чотирифазові включення, що містять також силікатне скло з низьким світлозаломленням (силікагель?) і сидерит (див. рис. 10), який легко прийняти за газову кульку. Збільшується частка рудної фази. Флюїдна фаза в усіх включеннях відсутня, хіба що плівка рідини чи газу по контуру включень, тобто сольовий розплав був досить “сухим” і його склад дещо змінювався — від суттєво хлоридно-натрієвого (97 % NaCl) до силікатно-хлоридно-натрієвого, збагаченого залізом і карбонат-іоном.

Під час нагрівання газова бульбашка у включеннях з'являється незадовго до плавлення галіту, яке розпочинається за температури від 400 до 500 °С, залежно від зерна флюориту. Кінець плавлення відповідно від 500 до 750 °С. Газова фаза спочатку зростає, а після розплавлення галіту зменшується і близько 800 °С газова бульбашка розчиняється у розплаві. Разом з нею розчиняється також рудна фаза, і включення повністю зливаються з мінералом-господарем. Якщо продовжити нагрівання, газова фаза може з'явитися знову, очевидно вже внаслідок утворення тріщин. Якщо є силікатна фаза, вона не зникає до температури 900 °С. Слід зазначити, що досягти гомогенізації вдалося лише у дуже “сухих” включеннях. Більшість включень вибухають задовго до температури гомогенізації.

Флюорит із включеннями “сухих” розплавів — силікатних, фосфатних, хлоридних, має одну особливість. Він не містить вторинних включень, але тріщини у ньому, здебільшого вздовж спайності, заповнені аморфною або частково розкристалізованою мінеральною речовиною. Плівки такого самого складу обгортають кристали флюориту зовні. Із продуктів розкристалізації плівок виявлено зародки альбіту, апатиту, сфероліти силікату заліза, сидерит, гематит, лепідокрокіт. Багатьом із них властива куляста форма. Майже всі ці мінерали відомі як компоненти первинних включень у флюориті.

Склад плівок, відповідно до продуктів розкристалізації, визначається парагенезисом флюориту і радикально відрізняється від подібних плівок, що заліковують тріщини, наприклад в анортоклазі. Якщо флюорит містить первинні включення амфіболу, то тріщини у ньому заліковані плівками зі сферолітами силікату заліза. Флюорит із рудної зони вкритий плівками, де виявлено апатит і рідкісноземельні карбонати. Склад плівок прямо пов'язаний зі складом домішок, що містилися у фторидному розплаві, з якого кристалізувалося саме це зерно флюориту. Очевидно, одна частина залишкового розплаву, збагаченого на певні домішки, була захоплена у вигляді первинних включень, тоді як інша витіснилася за межі кристалів і в тріщини. Місцями у складі плівок можна помітити флюорит, що разом із силікатною речовиною заліковує тріщини (рис. 12). Він відрізняється від основної маси зерна фіолетовим забарвленням, іноді кулястою формою. Наявність флюориту свідчить, що витиснений розплав мав силікатно-фторидний склад і вже у тріщинах відбулася його диференціація на силікатну і фторидну складові з утворенням нодулів тієї чи іншої фази. Якби витиснений розплав зразу закристалізувався, то це виглядало би як тріщина з вторинними твердими включеннями.

Інтерстиційні скупчення флюориту. Це безбарвні і бірюзові сантиметрові зерна та їхні зростки, що розміщені між кристалами анортоклазу, рідше амфіболу. У лейкократових сієнітах флюорит утворює скупчення і стає породотвір-

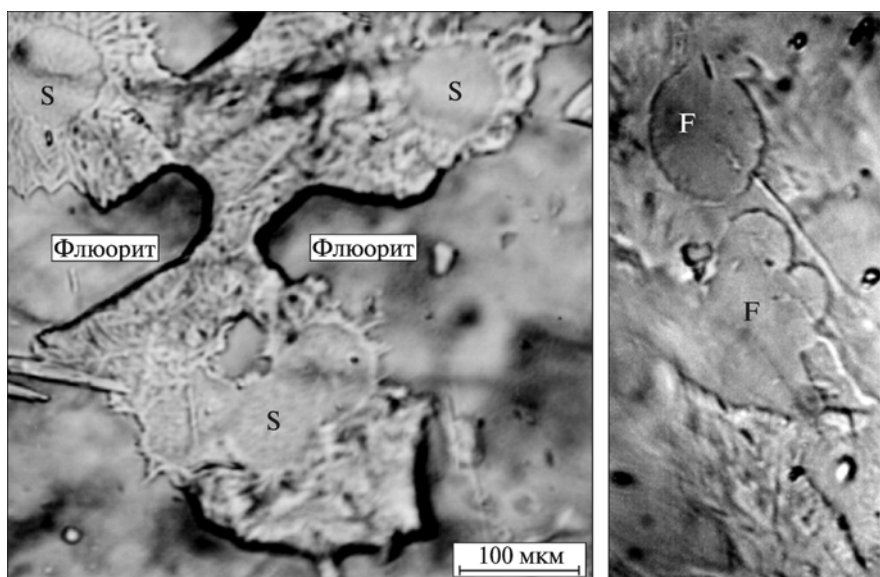


Рис. 12. Аморфні плівки у тріщинах кристалів флюориту з нодулями силікатів (S) і флюориту (F)

ним мінералом, місцями утворює псевдографічні зростки з польовим шпатом. Подібного типу зростки зафіксовані також для флюориту з кварцом, але частіше кварц розміщений навколо скупчень флюориту. Зерна флюориту слабо прозорі через велику кількість включень, які за складом поділяють на *силікатні* та *хлоридні*. Перші трапляються нерегулярно, другі наявні в усіх зернах у великій кількості. Склад включень змінюється залежно від різновидностей сіенітів. У рудній зоні спостерігаються включення *фосфатного* складу.

Форма *силікатних включень* глобулярна і пластинчаста. Силікатні глобули — це частки закристалізованого сіенітового розплаву у вигляді майже ідеальних кульок. У меланократових і такситових сіенітах силікатні глобули у флюориті збагачені на мафічні мінерали (залізисту слюду, магнетит) (рис. 13, а), у флюориті з лейкосіенітів подібні кульки містять багато калішпату, альбіту, трохи кварцу, зеленої слюди та гетиту (рис. 13, б). Силікатні глобули утворилися або раніше за флюорит, як нодулі силікатного розплаву в фторидному, або в процесі кристалізації флюориту. Нерідко у глобулах виявляється циркон у вигляді одноголових кристалів. Спрямований ріст кристалів у бік флюориту вказує на фторидний розплав як джерело цирконію, одночасно підтверджує сингенетичне формування флюориту і силікатних глобулів у ньому. Кристали циркону часто трапляються на зовнішньому контакті флюоритових скупчень. Приуроченість скупчень циркону до внутрішньої межі між силікатним і фторидним розплавами можна вважати типоморфною ознакою силікатних систем із фтором, оскільки подібне концентрування циркону навколо глобул фторидного розплаву зафіксовано експериментально [1].

Пластинчасті силікатні включення сформувалися явно пізніше. Одні з них складені альбітом, інші залізистим філосилікатом. Обидва типи трапляються і разом, і нарізно. Пластинчасті силікати закономірно орієнтовані у мінералі-господарі паралельно площинам октаедра, отже, їхня кристалізація відбувалась у структурованому фториді кальцію. Форма включень близька до сплюснених негативних кристалів флюориту, тобто засвідчує рідкий стан захопленої силікатної речовини. За розміщенням включення подібні до структур розпаду твердих

розчинів. Очевидно, що силікатні включення утворилися з розплаву всередині флюориту. Якщо це наслідок розпаду твердих розчинів, то виділення надлишкової фази відбувалося через фазу розплаву. Пластинчасті силікатні включення характерні переважно для флюориту з меланократових і такситових сієнітів.

Ще більше нагадують структури розпаду голчасті включення (див. рис. 6), головним компонентом яких є апатит. Розміщені на одній лінії сосископодібні індивіди апатиту як штрихами трасують у флюориті напрямки октаедричних ребер. Такі включення апатиту могли утворитися внаслідок ексолюційного виділення у площини спайності фосфатного розплаву. На розплавну природу вказують жовна дисперсного карбонату (можливо фтор-карбонату), які з певною регулярністю трапляються у торцях голчастих включень.

Термометричні спостереження велися за включеннями пластинчастого альбіту у флюориті. Під час нагрівання вони лише частково розплавляються з країв за температури між 600 і 800 °С. Утворений розплав взаємодіє з флюоритом, унаслідок чого після охолодження навколо включення виникає зазубрена облямівка. Вище за 800 °С флюорит стає непрозорим. Очевидно, що температура кристалізації альбіту в пластинчастих включеннях була не нижча за 600 °С.

Хлоридні включення набагато дрібніші, численніші і виявляються майже в усіх зернах флюориту з різних різновидностей сієнітів. Характеризуються плоскою формою, узгодженою з площинами октаедричної спайності. В інтерстиційному флюориті з меланосієнітів це включення хлоридних розплавів і розсолів-розплавів, головними фазами яких є галіт і концентрований водний розчин (5—30 % об'єму). Кількість розчину у включеннях поступово зростає від центра кристала до периферійних зон — майже “сухі” сольові розплави плавно змінюються розсолами-розплавами. Крім галіту і водного розчину у включеннях виявлено інші тверді фази, що розподілені досить нерівномірно: рудний мінерал, силікатне скло (?), карбонат. Газова бульбашка або відсутня, або не більше 3 %. Навіть невелика частка флюїду зумовлює “вибухання” включень під час нагрівання, ще до початку плавлення галіту. Всі включення розтріскалися до 500 °С.

Кристали інтерстиційного флюориту з лейкосієнітів ще більше переповнені різноманітними включеннями, розміщеними у площині октаедра на кшталт структур розпаду. За складом включення формують безперервний ряд від розсолів-розплавів

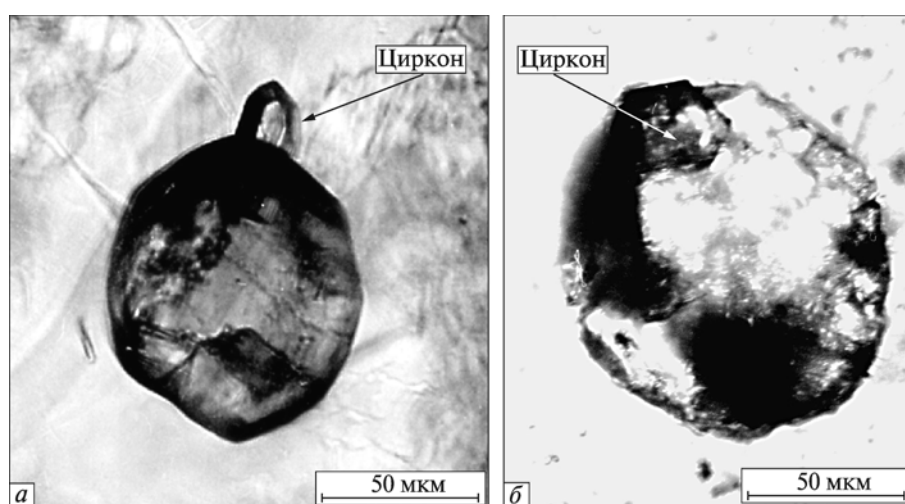


Рис. 13. Меланократові (а) та лейкократові (б) силікатні глобули з цирконом у флюориті з меланократових і лейкократових сієнітів відповідно

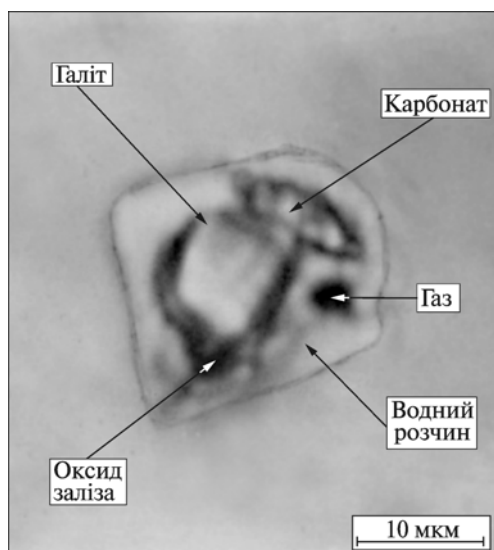


Рис. 14. Багатофазові включення з водним розчином у флюориті.

Через високу концентрацію солей показник заломлення водного розчину близький до світлозаломлення флюориту, що робить його непомітним

до пересичених NaCl водних розчинів, що супроводжується плавним зростанням кількості рідини у включеннях від 10 до 80 %. Зі збільшенням кількості водного розчину змінюється форма включень — від дископодібної до сплюснених кубів. Загалом зростає їхній розмір — від одиниць до десятків мікрметрів. Постійними фазами у включеннях є галіт (85—15 %) і газ (3—5 %). У багатьох включеннях виявлено ще слабоанізотропні таблички (альбіт?), у деяких — сильно анізотропну фазу (Са-карбонат?) або рудний мінерал (рис. 14).

У водному розчині включень крім очевидного хлориду натрію міститься хлорид кальцію. Його наявність виявляється через специфічну поведінку розчинів після заморожування, підтверджену експериментально на штучних включеннях: низьку температуру початку плавлення ($-52\text{ }^{\circ}\text{C}$), утворення низки кристалогідратів між -52 і $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$, розчинення галіту між -22 і $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та гістерезисну його кристалізацію вище $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ тощо. Відповідно до даних системи $\text{CaCl}_2\text{--NaCl--H}_2\text{O}$, за температурою розчинення твердих фаз визначено концентрацію солей у розчині [5]. Для включень у породотвірному флюориті, який утворює псевдографічні зростання з калішпатом, вона становить 20—25 % NaCl і 30—35 % CaCl_2 .

Під час нагрівання включень пересичених водних розчинів першим розчиняється газ, уже близько $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Фаза галіту повільно розчиняється до температури $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, яку взято за мінімальну температуру утворення породотвірного флюориту [5]. За цих умов залишаються ще дрібні мінеральні фази, у багатьох включеннях галіт розчиняється не повністю, так що повна гомогенізація включень і, відповідно, температура кристалізації флюориту дещо вищі. Вже з $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ кристали флюориту інтенсивно розтріскуються, а вище за $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ усі включення втрачають герметичність через зрослий внутрішній тиск флюїду. Можна лише стверджувати, що температура гомогенізації включень розсолів вища за $400\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$, а тиск у включеннях за цієї температури перевищував 45 МПа.

Тріщини в інтерстиційному флюориті заліковані включеннями з водними розчинами хлоридів. Температура їх гомогенізації змінюється від $230\text{--}170\text{ }^{\circ}\text{C}$ для флюориту з меланосієнітів до $120\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ для флюориту з лейкосієнітів. Склад водних розчинів у вторинних включеннях змінювався від пересичених хлоридом натрію (меланосієніти) до слабосолоних вод (лейкосієніти), тобто продовжував тренд гідротермальних розчинів у бік опріснення. Зрідка у тріщинах разом з включеннями водного розчину трапляються включення з CO_2 ($d = 0,45\text{--}0,75\text{ г/см}^3$) або з $\text{N}_2\text{--CO}_2$ -флюїдом. Це дає можливість оцінити порядок баричних умов заліковування тріщин на рівні 45—70 МПа. У флюориті з рудної зони серед вторинних трапляються включення нещільного газу, склад якого не вдалося уточнити. Його особливість полягає у тому, що він, як ніякий інший флюїд, добре розчиняє флюорит, на що вказує форма включень — майже досконалі негативні кристали.

Обговорення результатів. Виявлені у флюориті включення різноманітні за агрегатним станом, хімічним складом, морфологією і розмірами.

За агрегатним станом виділено дві групи включень: тверді і флюїдні. До останніх належать включення з водними розчинами і діоксидом вуглецю різної густини. Серед твердих включень є кристалічні (альбіт, галіт, апатит, амфібол, слюда, частково циркон) та аморфні (бритоліт, циркон), моно- і полімінеральні. Форма майже всіх твердих включень (кулясті та обтічні форми, негативні кристали) свідчить на користь того, що їхній вміст на момент захоплення флюоритом також мав флюїдні властивості у тому значенні цього терміна, як це прийнято в англійській літературі, був здатний текти або щонайменше був пластичним. Оскільки ніяких розчинників, які робили б вміст включення рідким, не виявлено, таким флюїдом слід вважати розплав, склад якого наближався до складу твердого включення. Отже, всі включення, що містяться у флюориті, за невеликими винятками, слід віднести до флюїдних. Одні з них змінили агрегатний стан зі зниженням температури, інші зберегли флюїдні властивості.

За морфологією виявлені включення можна розділити на три типи, що характеризуються різною формою і розмірами. Включення першого типу порівняно великі, часто менш ніж на порядок поступаються розмірами мінералу-господарю, характеризуються ізометричною формою. Це силікатні кульки або недеформовані “краплі”, що формувалися в ізометричному силовому полі. Вони утворилися раніше за флюорит і захоплені кристалами як *протогенетичні включення*. Кулясті включення мафічних і салічних силікатів (див. рис. 13), альбіту (див. рис. 1) можна розглядати як закристалізовані нодулі силікатного розплаву, що внаслідок ліквідації відокремився від фторидного. Нодулі захоплені кристалами флюориту в рідкому чи частково закристалізованому стані. Такими самими нодулями, але фторидного розплаву у силікатному, очевидно є кульки флюориту, виявлені в амфіболі, аніті, анортотлазі, що найпевніше є продуктом кристалізації відокремлених крапель галоїдного розплаву. Таким чином, отримуємо ознаки незмішуваності між сольовим і силікатним розплавом, яка час від часу виникала у середовищі мінералоутворення. Нодулі утворювала та фаза, якої було менше.

Другий морфологічний тип представляють включення у формі рівносторонніх негативних кристалів флюориту, що поступаються розмірами силікатним кулькам. Ізометричність включень засвідчує ізотропне силове поле, однак форму негативних кристалів включення могли набути лише під впливом кристалізаційних сил флюориту. Ці включення *сингенетичні* кристалу-господарю і найімовірніше являють собою залишковий після кристалізації флюориту розплав. Найтипівіший представник — включення, склад яких близький до цирконового (див. рис. 3, 6). До цього типу слід віднести також ті включення, анізотропія форми яких зумовлена структурними особливостями мінеральної фази, що кристалізувалася всередині флюориту — бруски апатиту (див. рис. 5), слюди (див. рис. 7), амфіболу. Всі ці включення, як правило, формують чітко виражені зони у флюориті, що підтверджує їх сингенетичність до флюориту. Включення хлоридного розплаву, які утворюють такі самі зони, також належать до цього типу, хоча їхня форма ближча до кулі, ніж до негативного кристала (див. рис. 10, 11). Очевидно, у цьому випадку на морфологію включень сильніше вплинув поверхневий натяг хлоридного розплаву.

Включення третього морфологічного типу на два—чотири порядки менші, ніж зерна флюориту, в яких вони знаходяться. Подібні включення закономірно орієнтовані у тілі кристала-господаря, а їхня форма підпорядкована площинам спайності у флюориті. Кулясті включення стають дископодібними, негативні куби і октаедри перетворюються на шестикутні й трикутні пластинки. Такі включення формувалися у структурованому розплаві фториду кальцію. Проте це не *епігенетичні* включення, що заліковують тріщини у площині спайності флюориту. Як правило, тріщини заліковані рядом однотипних вторинних включень, а

включення цього типу розміщуються поодинокі на рівнях, що відповідають різним октаедричним сіткам. Очевидно, що такі включення утворилися на кінцевому етапі формування кристалів поблизу лінії солідуса. Вони відбивають етап ущільнення мінералу, очищення його від домішок, яким за даних умов не знайшлося місця у структурі флюориту.

Оскільки густина кристалів більша за таку розплаву і ця різниця зі зниженням температури зростає, то під час росту кристали захоплюють нерівноважні кількості дефектів. У процесі охолодження відбувається розпад пересичених твердих розчинів домішкових атомів і вакансій [13] з утворенням включень, які найліпше назвати *діагенетичними*. Представниками діагенетичних включень у флюориті є голчасті включення апатиту (див. рис. 5), пластинчасті альбіту, амфіболу, слюди, дисперсні виділення карбонатів і галіту (див. рис. 6, 9). Дуже багаті на такі включення кристали інтерстиційного флюориту. За формою і розміщенням включення з водним флюїдом також можна відносити до діагенетичного типу. Причому спостерігається “спеціалізація” октаедричних сіток: тверді й рідкі включення приурочені до сіток з різними кристалографічними індексами. Включення з водним розчином найчастіше пов’язані з однією з октаедричних площин, тим часом як інші три “окуповані” твердими включеннями. Спайність у кристалах флюориту проявлена найкраще паралельно першій з октаедричних площин. Тому флюорит з включеннями водних розчинів сколюється з утворенням плоскопаралельних пластинок, тоді як форма уламків флюориту без таких включень наближається до октаєдрів. “Спеціалізація” сіток існує і для твердих включень, в усякому разі в одних площинах більше фосфатних голок, в інших — силікатних пластинок. Розміщення залізо-силікатних і лужно-силікатних пластинок також нерівноцінне. Очевидно це пов’язано із закономірним розміщенням домішок на поверхні мікрочисталітів і переміщенням неструктурних компонентів у зону меншої щільності, якою є площина спайності. Оскільки під час кристалізації різні грані кристала поглинають різні домішки, то у прилегли до них площини мігрували різні компоненти, що утворили різні за складом включення. Цей процес аналогічний розпаду твердих розчинів, лише зі структури мінералу витісняються не ізоморфні, а домішкові атоми. Очищення від домішок відбулося через флюїдну фазу — через розплав відповідного складу в меланосієнтах, через водний розчин (гідратний розплав) в лейкосієнтах.

Поділ на морфологічні типи дещо умовний, оскільки провести межу досить складно — між крайніми морфологічними представниками існує ряд проміжних членів. Прослідковано закономірність — чим менший розмір включення, тим більшою мірою його форма підпорядкована кристалографічним елементам мінералу-господаря. Як правило, у кристалах флюориту переважає один із типів включень, хоча є випадки, коли прото-, син- і діагенетичні включення наявні в одному зерні. Найчастіше переважають останні. У деяких випадках вони настільки дрібні, що їх неможливо розглянути за допомогою оптичних інструментів.

Діагенетичні включення є не менш інформативними, ніж сингенетичні. Вони відображають еволюційні зміни у складі флюїду, що залишився після утворення флюориту. Наступний етап еволюції флюїду характеризують вторинні включення, що залікували утворені тріщини.

Генетичний підхід до включень дає змогу частково звузити коло флюїдів, які одночасно брали участь у кристалізації флюориту. Прото-, син- і діагенетичні включення, хоча і пов’язані переходами, зміщені у часі. Виділенням діагенетичних включень, як продуктів розпаду твердих розчинів, можна пояснити наявність в одному зерні включень різного складу. Не поступаються їм різноманітністю сингенетичні включення. Зафіксовано випадки співіснування в од-

ному зерні різних сингенетичних включень: силікатних з сольовими, водних з силікатними, хлоридних з фосфатними тощо. Догматичний підхід до такого розмаїття привів нас спочатку до висновку про надзвичайну гетерогенізацію мінералоутворювального середовища [11]. Цьому можна знайти інше пояснення.

Сингенетичні включення циркону й апатиту у флюориті (див. рис. 5) зафіксували факт диференціації галоїдного розплаву за складом домішок. Зона з включеннями цирконій-силікатного розплаву в центрі кристала флюориту плавно змінюється зоною з включеннями кальцій-фосфатного розплаву, до якої примикає периферійна зона з включеннями галоїдного розплаву. Малоймовірно, щоб флюорит кристалізувався спочатку у силікатному середовищі, захопивши цирконій-силікатний розплав, потім у фосфатному, захопивши фосфат кальцію, і зрештою у галоїдному, де утворилися включення з галітом. Утворення такої зональності логічніше пояснити розшаруванням розплаву за густиною, без порушення фазової гомогенності. Фторидний розплав, що був збагачений на домішки (цирконій, кальцій, натрій, силікатні, фосфатні і хлоридні іони), розшарувався на три розплави: важкий з силікатом цирконію, легший з фосфатом кальцію і найлегший з хлоридом натрію. Кристалізація прихованорозшарованого фторидного розплаву привела до утворення різних залишкових розплавів і, як наслідок, до зональної будови кристалів флюориту, вираженої через включення залишкових розплавів. Залежно від складу домішок сформувалися різні зони — одна з включеннями циркону, друга з включеннями апатиту, третя з включеннями галіту. Прихована розшарованість інтрузивних тіл — явище загальновідоме. Воно виражається і через утворення різних мінералів (мінералогічна розшарованість), і через зміну складу мінералів. Типова риса прихованорозшарованих порід — відсутність чітких меж між шарами. Флюорит Азовського родовища зафіксував приховане розшарування розплаву через включення. І не тільки флюорит. Подібне розшарування фіксується також за включеннями в анортоклаз-пертиті.

Виявлені факти розмежування розплавів фосфатного і цирконій-силікатного складу на прикладі включень у флюориті, очевидно, можуть слугувати ключем до розуміння причин просторового розмежування цирконієвих (силікатних) і рідкісноземельних (фосфатних) руд у межах Азовського родовища. Втім це не єдиний спосіб розмежування руд. Якщо силікат цирконію кристалізувався раніше за флюорит (див. рис. 4), то на перший план висувається кристалізаційна диференціація силікатної і фосфатної речовини, як передбачалося [8].

Розшарування з порушенням фазової гомогенності також відбувалося, але достовірно явище незмішуваності зафіксовано лише між галоїдним і силікатним розплавами. Наслідком ліквідації є кульки самого флюориту в породотвірних мінералах (див. рис. 1), силікатні кульки у флюориті, що були захоплені як протогенетичні включення (див. рис. 13), та “емульсійні” структури у флюорит-альбітових включеннях в анортоклазі (див. рис. 8). Процеси ліквідації породили первинну неоднорідність галоїдного розплаву, збагачення його різними домішками залежно від того, де і на якому етапі формування сієнітів фторидний розплав відщепився від силікатного. В міру того, як змінювався склад материнського розплаву внаслідок гравітаційного розшарування і кристалізаційної диференціації, зниження температури і зміни тиску, змінювався склад фторидного ліквату. Подальші процеси: прихована розшарованість фторидного ліквату за густиною, кристалізаційна диференціація та розпад твердих розчинів домішкових атомів, зумовили розмаїття первинних флюїдних включень у флюориті, яке спостерігається.

Наявність серед сингенетичних включень таких мінералів, як циркон, брітолліт, апатит, гастингсит є ознакою високотемпературного генезису цього флюориту, що кристалізувався з “сухого” галоїдного розплаву, збагаченого різними

домішковими компонентами. В міру послідовної кристалізації мінералів склад галоїдного розплаву зазнавав суттєвих змін, серед яких найпомітнішим є поступове насичення розплаву водою (гідроксилами), що спричинило утворення включень з водою: від розсолів-розплавів до пересичених сольових розчинів і слабосолоних вод. Ступінь гідратації розплаву зростає від мелано- до лейкосієнітів. “Сухий” сольовий розплав змінюється типовими гідротермальними розчинами. Перший являє собою різноманітні сольові деривати (ліквати) від силікатної магми, другий — залишковий сольовий розплав в інтерстиціях після кристалізації породотвірних силікатних мінералів. За даними нагрівання включень, температура першого була не нижча за 500, можливо 800 °С, температура другого — 450 °С і нижче.

Зіставлення здобутих даних показує, що флюорит з Азовського родовища принципово не вирізняється температурними умовами кристалізації серед собі подібних [12], в усякому разі у нас немає даних щодо його кристалізації вище за 800 °С. Проте він належить до високобаричних утворень. Якщо скупчення гідротермального флюориту традиційно формуються на малих глибинах [3] і навіть магматичний флюорит пов'язаний з розплавно-пневматолітовими процесами, то утворення флюориту в лейкократових сієнітах Азовського масиву врівноважувалося зовнішнім тиском, не нижчим за 45 МПа, який продовжував зростати в міру консолідації порід унаслідок автоклавного ефекту. Оцінка тиску за вторинними включеннями H_2O і CO_2 у флюориті вказує на дещо більші значення — 40–70 МПа.

Про утворення флюориту з розплаву є небагато свідчень [4, 11, 12] та й ті сприймаються неоднозначно. Температура плавлення флюориту близько 1400 °С, однак наявність фтору не підвищує, а знижує температуру гранітної евтектики (до 630 °С для 4 % F [14]), зміщуючи котектичну рівновагу в багату на луги зону. Отримані для Азовського штоку свідчення про температурні умови існування лужно-силікатно-фторидного ліквату вписуються в рамки експериментальних даних. Сумніви спричиняють інші факти. Чи могли за цих умов існувати розплави флюоритового складу в альбіті, цирконового, бритолітового, амфіболового — у флюориті? Адже температура плавлення мінералів-включень набагато більша за температуру кристалізації мінералів-господарів. Тим не менше включення вказують на рідкий стан законсервованої мінеральної речовини, а отже на наявність розплаву.

Можна скористатися різними гіпотезами, щоб пояснити цей суперечливий факт. Одна з них ґрунтується на існуванні псевдозріджених систем [7]. Мова йде про гетерофазні системи як поєднання твердих наночастинок і рідкої фази у вигляді плівки навколо них. Рідка фаза може бути представлена або силікатним розплавом, або водним розчином (гідророзплавом), а товщина плівки — нескінченно малою аж до одного моношару. Існування аморфної речовини у тріщинах і на поверхні кристалів флюориту, розкристалізація якої відбувалася фактично у твердому середовищі, показує можливість утворення структур, аналогічних кристалізації розплаву (див. рис. 12). Існування плівки рідини є необхідною умовою утворення псевдозріджених систем, тому температура утворення мінералу зі псевдорідкими включеннями буде не нижчою за евтектичну температуру в такій системі, але температура гомогенізації псевдорозплавних включень може відрізнятись від температури утворення мінералу в бік завищення. У такому аспекті температура утворення флюориту мафічних парагенезисів не обов'язково досягала 800, але не була нижчою за 600–500 °С — температуру початку плавлення включень альбіту і галіту у флюориті.

У загальному плані силікатні розплави також є неоднорідними системами. Відповідно до моделей будови силікатних розплавів, що існують [2], розплав розглядається як неоднорідна система, у якій поліаніони на основі кілець з тет-

раєдрів кремнезему або “айсберги” тривимірного каркасу кремнезему розділені плівками з дискретних аніонів. Розмір поліаніонів і товщина плівки між ними змінюються залежно від співвідношення у розплаві кремнезему та оксидів-модифікаторів.

Слід також взяти до уваги, що сієніти Азовського штоку формувалися в умовах відновного середовища [8]. Експериментальні роботи такого плану нам не відомі. Висока фугітивність водню могла бути одним із чинників суттєвого зниження температури плавлення мінералів-включень. До того ж, склад законсервованих мінералів вивчений не достатньо детально, щоб виключити вплив домішок на зміну температури плавлення.

Висновки. Розмаїття включень мінералоутворювального середовища — головна особливість флюориту з сієнітів Азовського штоку. Включення різняться за агрегатним станом (тверді, рідкі і газоподібні), складом (силікатні, сольові, водні, вуглекислотні тощо), морфологією (кульки, краплі, ізометричні та сплюснені негативні кристали) і розміром (від співрозмірних кристалу-господарю до невидимих оптичними приладами). Форма майже всіх твердих включень вказує на їх рідкий стан на момент консервації у флюориті, тобто всі виявлені включення належать до флюїдних, як таких, що мають або мали плинні властивості.

Три чинники визначають розмаїття включень у флюориті: а) незмішувальність між силікатним і фторидним розплавами; б) прихована розшарованість відокремленого фторидного розплаву за густиною; в) механізм захоплення включень. За генезисом установлені прото-, син-, діа- та епігенетичні включення, які послідовно змінюють одні одних.

Одні кристали флюориту утворилися з “сухого” фторидного розплаву, що відділявся від силікатного на різних етапах кристалізації сієнітів і був збагачений на різні домішки — цирконій, рідкісноземельні елементи, фосфор, залізо та луги, інші — з фторидного розплаву, що залишився після кристалізації породотвірних мінералів і поступово збагачувався водою аж до типових гідротермальних розчинів.

Унаслідок вивчення включень у флюориті з Азовського масиву виявлено багато незрозумілих фактів. Оскільки будь-які геологічні реконструкції носять імовірнісний характер, ми обираємо і розробляємо ту гіпотезу, яка охоплює найширше коло фактів, є внутрішньо несуперечливою і вписується у загальну картину розвитку геологічного масиву, прояснюючи і уточнюючи її.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Граменицкий Е.И., Шекина Т.И. К геохимии тантала, ниобия, циркония и гафния в гранитах и щелочных породах фтористого профиля по экспериментальным данным // Геохимия. — 2001. — № 6. — С. 621—635.
2. Когарко Л.Н., Кригман Л.Д. Фтор в силикатных расплавах и магмах. — М.: Наука, 1981. — 126 с.
3. Коллус А.В. Тектоническая позиция и структурные условия формирования флюоритового оруденения // Геология и генезис флюоритовых месторождений. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. — С. 12—27.
4. Куликов И.В., Боярская Р.В. Водно-солевые расплавы во включениях флюорита Тырнаузского месторождения // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1989. — № 9. — С. 81—98.
5. Кульчицька Г.О., Мельников В.С. Генетичні типи флюориту в Азовському родовищі // Мінерал. зб. — 2002. — № 52, вип. 1. — С. 61—67.
6. Кульчицька А.А., Мельников В.С. Включения магматических (?) расплавов в минералах Азовского редкометального месторождения (Украинский щит) // Тр. XI Междунар. конф. по термобарогеохимии, Александров, 8—12 сент. 2003 г. — Александров: ВНИИСИМС, 2003. — С. 141—156.
7. Махлаев Л.В., Голубева И.И. Магматогенные флюидизированные (псевдоожигенные) системы и их роль в порообразовании и сопутствующей минералогении // Проблемы геологии и минералогии. — Сыктывкар: Геопринт, 2006. — С. 143—159.

8. Мельников В.С., Возняк Д.К., Гречановская Е.Е. и др. Азовское цирконий-редкоземельное месторождение: минералогические и генетические особенности // Минерал. журн. — 2000. — 22, № 1. — С. 42—61.
9. Мельников В.С., Возняк Д.К., Кульчицкая А.А. и др. Сиенит-пегматиты Приазовья с цирконий-редкоземельной минерализацией // Там же. — 1996. — 18, № 3. — С. 3—11.
10. Мельников В.С., Кульчицька Г.О., Кривдік С.Г., Стрекозов С.М. Склад породоутворювальних мінералів гіперсольвусних сіенітів — індикатор ступеня кристалізаційної диференціації // Там же. — 2001. — 23, № 4. — С. 19—33.
11. Прокофьев В.Ю., Борисенко А.С., Боровиков А.А., Кононов О.В. Состав высокотемпературных хлоридных рассолов: исследование флюидных включений во флюорите месторождения Тырныауз (Северный Кавказ) // Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита: Материалы междунар. петрогр. совещ. “Петрография XXI века”, г. Апатиты, 20—22 июня 2005 г. — Апатиты, 2005. — Т. 3. — С. 229—231.
12. Пузанов Л.С. О магматическом флюоритообразовании // Осадочные породы и руды. — Киев: Наук. думка. — 1980. — С. 57—69.
13. Современная кристаллография: В 4 т. Образование кристаллов. Т. 3 / А.А. Чернов, Е.Н. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. — М.: Наука, 1980. — 407 с.
14. Manning D.A.C. The effect of fluorine on liquidus phase relationship in the system Qz-Ab-Or with water at 1 kb // Contrib. Mineral. Petrol. — 1981. — 76. — P. 206—215.

Various inclusions were identified in the crystals of fluorite from syenite of Azov massif. They have different dimension, form, chemical composition and physical state. All inclusions originated from fluid phase, though a part of them is solid-phase at the moment. One fluorite crystallized from “dry” haloid melt, another — from haloid melt-brine. The latter was smoothly modified to hydrothermal solution with chloride Na and Ca. Liquation, layering of melt without phase homogeneity change and genesis of inclusions — are the three causes for the observed variety of inclusions in fluorite.

Надійшла 05.06.2007