

УДК 553.495:549.514(477)

**ЛОКАЛІЗАЦІЯ І ГЕНЕЗИС
УРАНОВОГО ЗРУДЕНІННЯ В МЕЖАХ МИХАЙЛІВСЬКОЇ ПЛОЩІ
(ЗАХІДНОІНГУЛЕЦЬКА СМУГА УКРАЇНСЬКОГО ШИТА)**

О. Крамар¹, Д. Возняк², Ю. Галабурда²

¹*Інститут геохімії навколишнього середовища НАН і МНС України
03680 м. Київ-142, просп. акад. Палладіна, 34а*

²*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України
03680 м. Київ-142, просп. акад. Палладіна, 34
E-mail: Voznyak@igmr.relc.com*

На підставі вивчення геології й тектоніки рудного району, особливостей мінерального складу рудних тіл і включень мінералоутворювального середовища у кварці з рудних тіл та вмінних порід виявлено особливості локалізації, морфології і мінералогії уранового зруденіння та *PT*-умови його формування.

Ключові слова: уранове зруденіння, жильний кварц, включення CO₂, включення водного розчину, тектономагматична активізація, Український щит.

Михайлівська ділянка займає південно-західну частину Західноінгулецької смуги Кіровоградського мегаблока Українського щита (УЩ). Ця субмеридіональна смуга є великою структурно-формаційною зоною, яка має довготривалу історію розвитку і складну геологічну будову. Західноінгулецька смуга складена архейськими гранітоїдами дніпропетровського й інгулецького комплексів, а також осадово-метаморфічними породами інгуло-інгулецької серії і гранітоїдами кіровоградського й новоукраїнського комплексів палеопротерозойського віку. В зонах розломів розвинені дайки діабазів, діабазових порфіритів, пікритів, габро і габро-амфіболітів. Вік цих малих тріщинних інтрузій коливається в межах 1200–800 млн років [1]. Широкий віковий спектр дайок свідчить про кілька етапів тектономагматичної активізації.

На Михайлівській ділянці, що обмежена на заході Данилівським, а на сході Родіонівським розломами, гетерогенна товща метаморфічних порід представлена гнейсами біотитового, гранат-біотитового, рідше піроксен- і графіт-біотитового складу чечелівської світи, піроксен-біотитовими гнейсами спасівської світи, а на сході – гіперстен-діопсидовими, біотитовими і графіт-біотитовими гнейсами родіонівської світи інгуло-інгулецької серії. В зонах розломів широко виявлене окварцювання з утворенням метасоматичних кварцитів. Кварцом заліковані й численні тріщини відриву. Гетерогенність товщі порід, що формують Михайлівську площу (в межах якої локалізоване однойменне уранове родовище), і кількох рудопроявів “підсилюють” гранітоїди кіровоградського та новоукраїнського комплексів. Граніти утворюють невеликі масиви, куполи, а пегматити й апліт-пегматоїди – січні малопотужні тіла і прожилки.

Тектонічна будова рудоносної ділянки надзвичайно складна. Ділянка насичена численними розривними порушеннями різних рангів, а також складчастими структурами (синкліналями, антикліналями, флексурами). Серед тектонітів у розломних зонах переважають поліхронні катаклазити, брекчієподібні породи, підпорядковано виявлені мілоніти, бластомілоніти, брекчії та мікробрекчії.

У межах рудоносної площі є розломи ортогональної і діагональної систем. До ортогональних належать (з заходу на схід) субмеридіональні Данилівський, Годниківський і Східнохристофорівський розломи – складові елементи потужної Західно-інгулецької розломної зони другого рангу. Цю зону перерізає багатозонна Троїцько-Сафонівська субширотна розломна зона того ж рангу, а також багато структур північно-західного простягання, серед яких найбільшими є (з півдня на північ) Вольнянська, Новобузька і Войнівська. Названі розломи відрізняються великою протяжністю (до кількох десятків кілометрів) і трасовані роями дайкових тіл. Саме в структурах цього простягання й локалізована головна частина уранорудних зон. Розвиток зрудення по латералі та протяжність ешелонуваних куліс малопотужних рудних жил і зон обмежений ортогональними розломами.

Структура Михайлівської площі ускладнена низкою синклінальних і антиклінальних складок, флексур та грабен-синкліналей. До антикліналей належать Нововолодимирівський масив, Казанківське підняття і декілька дрібних куполів, розмір яких у поперечнику не перевищує 1–3 км. Складені вони гранітоїдами.

Усі дослідники, які вивчали геологічну будову Михайлівського родовища та розташованих у межах рудного поля рудопроявів, зазначали про складну і довготривалу історію формування тектонічної структури, а також про поліхронність і полігенність уранового зрудення та супутньої мінералізації [3–5]. У зонах локалізації урану широко виявлені процеси діафорезу, гематитизації, окварцювання й карбонатизації. Уранове зрудення міститься переважно в породах, багатих на темноколірні мінерали (гнейси і кристалосланці), а в гранітоїдах зареєстроване в незначній кількості. Процес рудоутворення розтягнувся більш ніж на 1,5 млрд років. Найдавніша уранова мінералізація, представлена уранінітом, має вік понад 2 млрд років, наймолодші генерації уранових мінералів утворились 400–200 млн років тому. Процес формування зрудення триває і в наш час. Генетичний тип зрудення ендогенно-гіпергенний. Ендогенні процеси в часі були замінені гіпергенними. Це пов'язане з багаторазовою тектонічною активізацією, яка сприяла проникності рудоносних зон, трансформації давнього зрудення і надходженню нових порцій рудоносних розчинів. Налічують не менше п'яти стадій рудоутворення.

У зонах розломів виявлене як окварцювання з утворенням метасоматичних кварцитів, так і альбітизація (частково). Класичних безкварцових натрієвих метасоматитів з лужними темноколірними мінералами й урановим зруденням, які характерні для промислових родовищ урану Кіровоградського рудного району, тут немає. На Михайлівській площі нерівномірно поширені низькотемпературні (50–100°C) метасоматити – пропіліти хлорит-кальцит-альбіт-кварцового складу. Вони є продуктами лужного (Na, K) і сублужного (Fe, Ca, Mg) метасоматозу. Простежено ореоли хлоритизації, епідотизації, карбонатизації, які фіксують один з пізніх етапів тектонічної активізації.

Годниківський розлом зсувного типу розділяє Михайлівську площу на дві субмеридіональні урановорудні зони – східну й західну. В східній локалізовані кілька рудопроявів, у тім числі Миколаївський і Казанківський. Зрудення в них уміщу-

ють дві лінійні зони катаклазу і тріщинуватості в графіт-біотитових і біотитових гнейсах та кристалосланцях родіонівської світи і рідше в гранітах та мігматитах кіровоградського комплексу. Ці рудні зони мають північно-західне простягання і південно-західне падіння. Більші запаси руди є в західній рудоносній зоні, де розташоване велике Михайлівське родовище, а на північ від нього – Гранітний і Чабанівський рудопрояви.

Вмісними породами Михайлівського родовища є гнейси з купольними структурами гранітоїдів кіровоградського та новоукраїнського комплексів і валоподібними підняттями інгулецьких гранітів і мігматитів. У межах родовища виявлено також численні жильні тіла апліт-пегматоїдних гранітів і пегматитів. Уранове зруденіння Михайлівського родовища і рудопроявів того ж генетичного типу, які локалізовані в інших ділянках Західноінгулецької смуги, впродовж розвитку зазнали кілька епох активізації, про що свідчить ізотопний вік окремих генерацій рудної і супутньої мінералізації (1720, 1200–1100, 900, 700, 450, 290, 200 млн років) [3–5], а також стадій дайкоутворення в інтервалі 1200–800 млн років [1].

Рудоносна смуга гнейсів простяглась з півдня на північ на 3 км через усе Михайлівське родовище і містить усі рудні зони цього об'єкта, які простягаються впоперек цієї смуги. Зближені рудні інтервали об'єднано в п'ять великих рудних зон, що утворюють субмеридіональний ешелон: Південна, Данилівська і Північна (складаються з одного покладу) та Полога і Центральна (по два поклади в кожній). Ці рудні куліси, як і рудовмісні розривні структури, мають північно-західне простягання. Потужність покладів (куліс) змінюється і за простяганням, і за падінням: приблизно від 30 до 50–75 м з роздувами і стоншеннями. Кількість рудних жил у кожному з семи куліс-покладів коливається від 10 до 20.

Уранове зруденіння Михайлівського родовища належить до прожилково-вкрапленого типу. Морфологія рудних тіл жильно-штокверкова, будова – телескопічно зональна. В центральній частині, зазвичай, міститься жилоподібний поклад з багатим вмістом урану (до 0,1 %, іноді й більше), у зальбандах – бідне чи рядове зруденіння або “забруднені” ураном вмісні породи. Потужність інтервалів з багатими рудами – до 20–60 см. Частина рудних тіл еродована, інша не виходить на сучасну поверхню фундаменту (так звані сліпі рудні тіла). Глибина виклинювання сліпих рудних тіл не визначена, отже, вертикальний розмах жильно-штокверкового зруденіння перевищує 500 м – максимальну глибину розшукового буріння на цій площі.

Уранова мінералізація представлена настураном, уранінітом, кофінітом і урановою черню. Якщо оксиди є в усіх рудних перерізах, то кофініту нерідко нема. За попередніми даними, простежується вертикальна мінералогічна зональність. Звичайно вміст уранової черні по падінню рудних тіл зменшується з одночасним збільшенням частки уранініту. Уранові мінерали утворюють дрібні і мікропрожилки, вкраплені скупчення, а також натічні плівки як у тріщинах серед уламків катаклязованих порід, так і в темноколірних мінералах (передусім у хлоритах), рідше в польових шпатах в асоціації з гідроксидами заліза, тонкодисперсним гематитом. Часто в зонах зруденіння є синрудний карбонат. Значна частина порід з рудною мінералізацією по-різному окварцьована (вміст кварцу 55–90 %, інколи й більше) з утворенням вторинних кварцитів, у яких широко представлені мусковіт і хромомусковіт (фуксит). В уранових рудах постійно трапляються радіоактивні акцесорні мінерали монацит, апатит, циркон, сфен.

Для визначення *PT*-умов формування уранової мінералізації вивчали включення

мінералоутворювального середовища в крупнозернистому кварці з потужної (близько 60 м) жили вторинних кварцитів Казанківського рудопояву, з гнізд дрібнозернистого кварцу і породоутворювального кварцу в гнейсі, кварцу з граніту з дрібним (до 2 мм) кварцовим прожилком та кварц-біотитової породи Михайлівського родовища. Жила вторинних кварцитів виповнює тектонічну тріщину, яка контролює розміщення уранового зрудення. У гнейсах, гранітах і кварц-біотитовій породі зафіксовано уранову мінералізацію.

У крупнозернистому жильному кварці є багато флюїдних включень розміром ≤ 10 мкм, проте трапляються й дещо більші. За генетичним типом включення належать до ранньовторинних, вторинних [2]. За складом і кількістю фаз виявлено такі типи включень: L_2 , L_2+G , L_1+G , L_1+L_2+G , G , де L_2 – рідкий CO_2 , L_1 – водний розчин, G – газова фаза. Порядок розміщення різних типів включень у цьому ряду відповідає їхній кількості у кварці.

Найчастіше простежуються (і вони є найбільш ранніми) високогустинні включення CO_2 . Кріометричне їх вивчення засвідчило, що потрійна точка CO_2 переважно має значення $-57,4$ та $-57,6^\circ\text{C}$ і є ознакою порівняно невеликих домішок більш низькокиплячих газів (потрійна точка чистого CO_2 становить $-56,6^\circ\text{C}$). Окремі її значення були $-58,3^\circ\text{C}$ і навіть $-59,0^\circ\text{C}$, що свідчить про локальні суттєві домішки цих газів (N_2 , CH_4 та ін.) у складі CO_2 . Температура гомогенізації включень рідкого CO_2 в цілому коливається в широких межах – від -10°C до $+30,5^\circ\text{C}$, що відповідає густині $0,978\text{--}0,574$ г/см³. Більшість включень гомогенізується в інтервалі від -10°C до $+10^\circ\text{C}$, що відповідає густині $0,978\text{--}0,854$ г/см³.

Дуже характерна деталь для цього кварцу – порівняно невелика кількість включень водного розчину та повна їх відсутність у зернах з високогустинними включеннями CO_2 . Включення водного розчину трапляються в зернах з газовими включеннями CO_2 або взагалі без них. Дослідження газових включень CO_2 кріометричним способом дало такі результати: температура потрійної точки дорівнює $-57,2^\circ\text{C}$, температури гомогенізації – від 16 до 20°C в газову фазу. Отже CO_2 -розчин цих включень містить найменше домішок, а його густина становить $0,190\text{--}0,160$ г/см³.

Температура гомогенізації включень водного розчину із зерен з газовими включеннями CO_2 становить $225\text{--}200^\circ\text{C}$. Включення CO_2 густиною $0,190\text{--}0,160$ г/см³ за такої температури перебувають під тиском $12\text{--}15$ МПа, а з урахуванням парціального тиску води – $14\text{--}17$ МПа. Окремі включення водного розчину мають температуру гомогенізації $250\text{--}230^\circ\text{C}$, проте в таких зернах кварцу сингенетичних до них включень CO_2 не виявлено. Всі включення водного розчину досліджували кріометричним способом. Температура евтектики становить $-21\pm 0,2^\circ\text{C}$; вона, з урахуванням точності заміру температури в кріокамері $\pm 0,2^\circ\text{C}$, повністю збігається з температурою евтектики водного розчину NaCl $-21,1^\circ\text{C}$. Температура плавлення льоду водних включень дорівнює від $-4,5$ до -1°C . З використанням наведених значень температури за діаграмою системи $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{NaCl}$ [6] отримуємо концентрацію від $7,2$ до $1,5\%$ NaCl .

Загалом, вивчення включень у крупнозернистому кварці з жили вторинних кварцитів засвідчує, що його кристалізація відбувалась на тлі поступового зниження тиску й температури. Не знаючи температури, за якої консервувались включення CO_2 найбільшої густини, можна лише впевнено припускати, що вона перевищувала 250°C – найбільше значення температури гомогенізації водних включень. Отже,

включення CO_2 густиною $0,978\text{--}0,864\text{ г/см}^3$ у кварці за температури 250°C перебуватиме під тиском, який перевищує $150\text{--}200\text{ МПа}$ [7].

Кварц інших взірців є дрібнозернистим і містить включення незначних розмірів, переважно $1\text{--}2\text{ мкм}$. Зрідка траплялись включення розміром 5 мкм або дещо більше, що головню стосується включень кварцу граніту і гнейсу, які вдалося дослідити і кріометричним, і термометричним способами. Включення двох інших взірців досліджено лише кріометричним способом. Включення CO_2 виявлено лише у кварці гранітів, і вони переважають над включеннями водного розчину. Температура потрійної точки становить від $-58,2$ до $-57,8^\circ\text{C}$ (розчин CO_2 містить домішки більш низькокиплячих газів N_2 , CH_4 та ін.), температура гомогенізації – від 7 до 19°C , гомогенізуються в рідку фазу. Цим значенням температури відповідає густина $0,876\text{--}0,776\text{ г/см}^3$. У включеннях водного розчину температура евтектики дорівнює -33°C , що майже збігається з кріогідратною точкою системи $\text{H}_2\text{O}\text{--}\text{MgCl}_2$ ($-33,5^\circ\text{C}$), отже, в ньому переважає сіль MgCl_2 . Температура плавлення льоду -14°C свідчить, що водний розчин включень має високу сольову концентрацію.

Гомогенізувати включення водного розчину з кварцу гранітів і гнейсів не вдалося через їхні малі розміри. Температура гомогенізації включення з наповненням (об'єм рідкої фази) водою близько 85% буде не нижчою 250°C . Включення L_1+G такого ж наповнення, але дещо більших розмірів у кварці з кварц-біотитової породи гомогенізувались за температури $260\text{--}230^\circ\text{C}$. Тиск, під яким перебував CO_2 густиною $0,876\text{--}0,776\text{ г/см}^3$ у включеннях кварцу з граніту, при 250°C становив орієнтовно $150\text{--}100\text{ МПа}$.

Отже, вивчене уранове зруденіння Михайлівської площі є поліхронно-полігенним утворенням. За генезисом воно належить до ендегенно-гіпергенного типу. Морфологічний тип зруденіння – прожилково-вкраплений, прожилковий; морфологія рудних тіл жильно-штокверкового типу. Зруденіння формувалось у широкому інтервалі геологічного часу – від $1,7$ млрд до $290\text{--}220$ млн років, тобто впродовж приблизно $1,5$ млрд років. Процес гіпергенного рудоутворення триває і в наш час, що призводить до суттєвої трансформації руди. Вертикальний розмах зруденіння перевищує 500 м (до цієї глибини виконано буріння). Глибина виклинювання рудних тіл не визначена. Зруденіння локалізоване в гетерогенній гранітогнейсовій товщі нижнього протерозою. Найчастіше руда міститься в дрібнозернистих біотитових, граніт-біотитових, амфібол-біотитових, графіт-біотитових гнейсах і кристалосланцях інгуло-інгулецької серії. Багате зруденіння ($U \geq 0,1\%$) представлене в жилах потужністю від 20 до 60 см , які облямовані бідним і рядовим зруденінням ($U \approx 0,0n\%$). Потужна зона вторинних кварцитів формувалась за участю потоків рідкого CO_2 -флюїду глибинного походження за тиску, який перевищував 200 МПа , і температури понад 250°C . Надходження CO_2 -флюїду пов'язане з дегазацією основної/ультраосновної магми. Вода потрапляла в систему мінералоутворення на завершальному етапі формування жильного кварцу і мала, швидше за все, поверхневе походження. Від великої тектонічної структури, на місці якої утворилась зона вторинних кварцитів, у вмісні породи (гнейси, рідше граніти й інші породи) відгалужувались дрібніші тріщини, по яких також мігрував рідкий CO_2 -флюїд, змішуючись з водним розчином, напевне, полігенним. Поява у водному розчині Mg і Cl_2 пов'язана, ймовірно, з процесами заміщення Mg -вмісних мінералів, зокрема, біотиту. Поєднання дії CO_2 -флюїду з водним розчином зумовило процеси мобілізації, транспортування й осадження уранової мінералізації.

1. *Гречини́ков М.П., Коржне́ва К.П., Крамар О.О., Щербак Д.М.* Про вік дайкових порід Суботсько-Мошоринської зони розломів // Геол. журнал. 1980. № 5. С. 139–143.
2. *Калюжний В.А.* Методи вивчення багатофазових включень у мінералах. К., 1960.
3. *Макаренко Н.Н.* Расшифровка структуры рудного поля Михайловского уранового месторождения // Тектоника, минерагения, минеральные ресурсы. К., 2005. Т. 2. С. 55–68.
4. *Щёточкин В.Н., Дмитриев В.Н., Лейбман М.Г., Ткаченко Н.Н.* Эволюция тектонических структур и условий минералообразования на Михайловском полигенном месторождении урана // Материалы по геологии урановых месторождений. 1986. Вып. 103. С. 36–46.
5. *Щёточкин В.Н., Ткаченко Н.Н., Шмариович Е.М.* Условия образования трещинно-инфильтрационного коффинит-черниевового оруденения в гранито-гнейсах Украинского щита // Материалы по геологии урановых месторождений. 1986. Вып. 104 С. 5–16.
6. *Roedder E.* Studies of fluid inclusions 1: Low temperature application of a dual-purpose freezing and heating stage // Econ. Geol. 1962. Vol. 57. N 7. P. 1045–1051.
7. *Swanenberg H.E.C.* Phase equilibria in carbonic systems and their application to freezing // Contrib. Mineral. Petrol. 1979. Vol. 68. N 3. P. 303–307.

**LOCALIZATION AND GENESIS
OF URANIUM MINERALIZATION OF MYKHAJLIVKA AREA
(WESTERN-INHULETS BAND OF THE UKRAINIAN SHIELD)**

O. Kramar¹, D. Voznyak², Yu. Galaburda²

¹*Institute of Geochemistry of Environment of NASU
Acad. Palladin Av. 34a, UA – 03680 Kyiv, Ukraine*

²*Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NASU
Acad. Palladin Av. 34, UA – 03680 Kyiv, Ukraine
E-mail: Voznyak@igmr.relc.com*

Localization, morphology and mineralogy of uranium ore formation and *PT*-conditions of its formation according to the study of geology and tectonics of ore region, features of mineralogical composition of ore bodies and inclusions of mineral-forming environment in quartz from ore bodies and containing rocks are determined.

Key words: uranium mineralization, vein quartz, CO₂ inclusions, water solution inclusions, tectono-magmatic activation, Ukrainian Shield.

Стаття надійшла до редколегії 22.12.2005

Прийнята до друку 01.11.2006