

УДК 550.93 (477)

Л.М. Степанюк¹, Т.І. Довбуш¹, С.М. Бондаренко¹,
В.О. Сьомка¹, О.В. Грінченко², С.Є. Скуратівський²

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: stepanyuk@igmof.gov.ua

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка
03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90

УРАН-СВИНЦЕВА ГЕОХРОНОЛОГІЯ ПОРІД КАЛІЙ-УРАНОВОЇ ФОРМАЦІЇ ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКУ УКРАЇНСЬКОГО ШИТА

У статті наведено результати уран-свинцевого ізотопного датування порід калій-уранової формації Інгульського мегаблоку Українського щита. На прикладі Калинівського родовища, розташованого в межах Братсько-Олексіївського рудного району (Братський синклінорій), приблизно в 18 км на північний схід від м. Первомайськ, показано, що вік гранітів Лисогірського масиву ($2029,1 \pm 2,5$ млн рр.), визначений уран-свинцевим ізотопним методом за аксесорним монацитом, практично співпадає з віком уранової мінералізації ($2029 \pm 6,2$ млн рр.), встановленим тим самим методом за уранінітом. Це, разом з геологічними спостереженнями, вказує на послідовний та одноактний характер розвитку процесу уран-рідкісноземельного зруденіння калій-уранової формації, який починається формуванням гранітоїдів, проходить через стадію метасоматичних змін вмісних порід під впливом флюїдів і завершується формуванням зруденіння.

Вступ. Виробничими організаціями КП "Кіровгеологія" в межах Українського щита (УЩ) відкрито і розвідано декілька родовищ та рудопроявів калій-уранової формації, представлених постмагматичним рідкісноземельно-торій-урановим (REE-Th-U) типом. Як правило, родовища характеризуються комплексним зруденінням і відносно невеликими запасами [2]. Найбільш вивченими та відомими є об'єкти, що знаходяться в межах Братсько-Олексіївського рудного району (Братський синклінорій), розташованого в південно-західній частині Інгульського мегаблоку) [2]. REE-Th-U-Mo мінералізація гідротермально-метасоматичного типу поширена в калієвих метасоматитах і пегматоїдних гранітах. У районі виявлено три рудні поля — Лозоватсько-Калинівське, Корабельне та Південне.

Вмісні породи рудного району переважно представлені гранітоїдами, мігматитами та різ-

номанітними за мінеральним складом гнейсами інгуло-інгулецької серії. Рудні зони мають, як правило, північно-західне простягання та утворені групою жилоподібних пегматоїдних тіл, що перемежуються з останцями графітвмісних гнейсів. Потужність зон досягає перших десятків метрів. Виділяється цілий рудний район, в межах якого виявлено родовища (рудопрояви): Лозоватське, Калинівське, Південне, Корабельне, Виноградівське, Миколаївське та ін.

Особливості локалізації низки родовищ та проявів з REE-Th-U мінералізацією в межах Братського синклінорію вказують на універсальний процес їх формування і передбачають єдиний механізм рудоутворення, який, в свою чергу, зумовив об'ємну мобілізацію та міграцію рудогенних елементів із осередків генерації гранітної магми в екзоконтактові зони. Масштабна та фронтальна міграція в багатьох випадках спричиняє розубожування металу, тому його концентрація часто не відповідає промисловим вимогам. Порівнюючи родови-

© Л.М. СТЕПАНЮК, Т.І. ДОВБУШ,
С.М. БОНДАРЕНКО, В.О. СЬОМКА,
О.В. ГРІНЧЕНКО, С.Є. СКУРАТІВСЬКИЙ, 2012

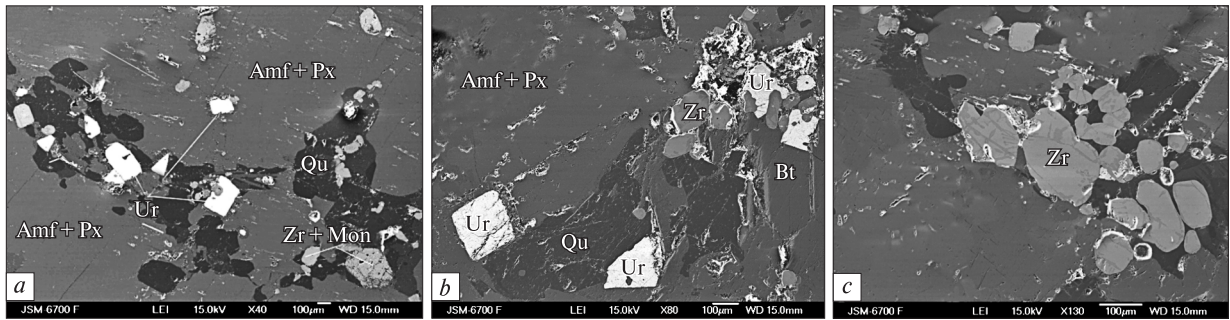


Рис. 1. Типові продуктивні асоціації в рудах Калинівського родовища: *a, b* — виділення уранініту серед кварцу в магнезійно-залізистих метасоматитах (Amf — амфібол, Bt — біотит, Mon — монацит, Px — піроксен, Qu — кварц, Ur — уранініт, Zr — циркон), *c* — скупчення циртоліту. Зображення в режимі BSE

Fig. 1. Typical productive associations in ores of Kalynivka deposit: *a, b* — segregations of uraninite among quartz in magnesian-ferrous metasomatites (Amf — amphibole, Bt — biotite, Mon — monazite, Px — pyroxene, Qu — quartz, Ur — uraninite, Zr — zircon), *c* — cyrtolite accumulations. The image in BSE mode

ща слід відзначити їх істотну взаємоподібність як за особливостями геологічної будови, так і за геофізичними характеристиками.

Згідно з геологічними даними, уранове зруденіння калій-уранової формації пов'язане з процесами ультраметаморфічної переробки порід гранулітової та амфіболітової фацій (кам'яно-костовацька та рошаківська світи інгуло-інгулецької серії). У більшості випадків зруденіння даного типу локалізується в зонах метасоматичних змін на контакті гранітоїдів з графітвмісними гнейсами. Рудні зони проявлені на ділянках поширення гідротермальнометасоматичних процесів, що мали досить різні температурні режими, від піроксенізації й амфіболітизації до мікроклінізації, біотитизації та окварцювання.

Головні рудні мінерали: уранініт (брегерит), настуран, кофініт, циртоліт, монацит, ксенотим, ортит, торогуміт. В рудних зонах також встановлено молібденіт, ільменіт, піротин, арсенопірит, льолінгіт, графіт, самородний вісмут.

Методи і об'єкти дослідження. Основним об'єктом дослідження є породна асоціація Калинівського родовища. Для визначення віку використали уран-свинцевий ізотопний метод. Вік гранітів визначали за акцесорним монацитом, ураново-рудної мінералізації — за уранінітом.

Хімічна підготовка зразків для мас-спектрометричного аналізу виконана за модифікованою методикою Кроу [3, 4]. Ізотопні дослідження свинцю та урану проведені на восьми-колекторному мас-спектрометрі MI-1201 AT в мультиколекторному статичному режимі; математична обробка експериментальних даних — за програмами Pb Dat і ISOPLLOT [5, 6].

Похибки визначення віку наведені за 2σ . Як стандартний зразок для перевірки метрологічних характеристик методу використано стандарт циркону ІГМР-1 [1].

Геологічна ситуація. Калинівське родовище розміщене в Південнобузькій зоні розломів, приблизно в 18 км на північний схід від м. Первомайськ. Структурне положення родовища визначається приуроченістю його до Садовської тектоно-метасоматичної зони в межах Лисогірської брахіантикліналі. На родовищі виявлено дві рудні зони північно-західного простягання: Південно-Західна, що проходить по західному крилу брахіскладки, та Північно-Східна — вздовж східного [2]. Найбагатше зруденіння відзначено в мікроклінітах та метасоматитах, що контактують із графітовими гнейсами. Рудні мінерали представлені уранінітом, урановою черню, циртолітом, монацитом, ортитом, молібденітом.

Найбільш цікавими з точки зору рудоносності є магнезійно-залізисто-калієві метасоматити, які утворюються в приконтактних зонах внаслідок асиміляції гранітними розплавами графіт-піроксен-амфібол-біотитових плагіогнейсів. Метасоматити характеризуються надзвичайно мінливим кількісним складом пороудоутворювальних мінералів. З одного боку, це зумовлено зменшенням вмісту фемічних мінералів з віддаленням від контакту, а з другого — накладанням пізніших процесів мікроклінізації та окварцювання.

На ранніх стадіях акцесорна сингенетична уран-рідкісноземельна мінералізація утворюється в до- і навколорудних комплексах порід, представлених пегматоїдними гранітами. На пізніх стадіях утворюються гніздоподібно-про-

жилкові скупчення циртолиту (рис. 1, *c*), уранініту в асоціації з молібденітом (рис. 1, *a, b*).

Головні гіпогенні рудні мінерали урану та торію: уранініт (брегерит), настуран, кофініт, торит, торіаніт. В свою чергу, уран, окрім власних мінералів, фіксується в торогуміті (до 10 % UO_2), монациті (до 2 %), цирконі (до 0,5 %). Відповідно, торій концентрується в монациті, ортиті та бреггериті. В ореолах локалізації уран-торієвої мінералізації досить часто спостерігаються молібденіт, ільменіт, піротин, арсенопірит, льолінгіт, герсдорфіт, кобальтин, графіт, самородний вісмут.

Для визначення часу протікання процесів петро- та рудогенезису нами датовано монацити із трьох гранітів Лисогірського масиву, відібраних в кар'єрі, розташованому в правому борті долини р. Чорний Ташлик, на південний захід від с. Любомирка. Кар'єром розкриті мігматити, плагіограніти, порфіроподібні граніти біотитові, часто гранатвмісні та апліт-пегматоїдні граніти. Для ізотопного датування із кар'єру було відібрано дві проби: ЛС-1/11 — гранодіорит порфіробластичний і ЛС-2/11 — граніт апліт-пегматоїдний. У корінних виходах гранітів лівого борту балки на південно-західній околиці с. Лиса Гора, ліворуч від автодороги до м. Первомайськ був відібраний апліт-пегматоїдний граніт, пр. ЛС-3/11.

Вік уранового зруденіння на Калинівському родовищі визначали за окремими кристалами уранініту, вилученого із декількох зон рудоносних кварц-біотит-амфібол-піроксен-мікроклінових метасоматитів, св. 0424.

Гранодіорит (пр. ЛС-1/11), складений (у об'ємних відсотках) плагіоклазом (~ 50) кварцом (~ 20), біотитом (>20), калішпатом (5—7), гранатом (4—5). Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом, монацитом. Хімічний склад наведено в табл. 1. Структура порфіроподібна, основна маса — рівномірно-дрібнозерниста з середнім розміром зерен 1,2—1,8 мм, лепідогранобластова. Текстура гнейсоподібна.

Плагіоклаз утворює ідіо- та субідіоморфні таблитчасті кристали, часто містить пойкиліти округлого та ксеноморфного кварцу. Переважна більшість зерен без полісинтетичних двійників, а якщо вони присутні, то погано виражені. Плагіоклаз слабосерицитизований.

Біотит ідіоморфної форми, розмір зерен 0,8—1,5 мм, часто утворює скупчення, через які порода набуває плямистої текстури. Біотит бурий по *Ng* і коричневий, світло-коричневий по *Np*.

Кварц головним чином ксеноморфний, утворює окремі кристали розміром 1—1,2 мм та дещо дрібніші пойкилітові вrostки у плагіоклазі.

Циркони представлені добре ограненими кристалами декількох морфологічних типів: призматичними та коротко-, видовжено-призматичними до голчастих. За кольором відмічаються коричневі (зазвичай понад 0,1 мм, близько 1 %), коричнево-рожеві (>98 %) та рожеві (дрібні поодинокі зерна). Переважно кристали мають складну будову, обумовлену наявністю в середині багатьох з них реліктив більш раннього світло-рожевого циркону. В

Таблиця 1. Хімічний склад гранітів Лисогірського масиву та метасоматитів Калинівського родовища

Table 1. Chemical composition of granites of the Lysa Gora massif and metasomatites of Kalynivka deposit

Номер з/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S _{зар}	H ₂ O ⁻	В. п. п.	Сума
1	64,95	0,47	16,72	0,06	5,67	0,03	1,49	2,99	3,66	2,10	0,27	0,02	0,40	0,72	99,55
2	70,99	0,27	13,91	0,09	3,09	0,02	0,94	1,38	2,64	5,28	0,21	0,02	0,35	0,42	99,61
3	72,42	0,21	13,61	0,58	2,15	0,02	0,62	1,15	2,72	5,58	0,21	0,02	0,31	0,35	99,95
4	61,27	0,66	8,45	0,78	13,65	0,52	4,64	2,76	1,30	3,60	0,25	0,39	0,28	1,22	99,77
5	57,89	0,24	7,35	0,05	19,18	0,81	6,45	1,73	1,00	2,40	0,27	0,50	0,27	2,40	100,54

Примітка. 1—3 — граніти Лисогірського масиву (1, 2 — кар'єр, розташований на південний захід від с. Любомирка, пр. ЛС-1/11 та ЛС-2/11 відповідно; 3 — відслонення в балці на південно-західній околиці с. Лиса Гора, пр. ЛС-3/11); 4, 5 — метасоматити Калинівського родовища, пр. К-1/12, св. 0424, інт. 174,0 та К-2/12, св. 0424, інт. 174,3 відповідно.

NOTE. 1—3 — granites of the Lysa Gora massif (1, 2 — open pit to the southwest of Lubomyrka village, samples ЛС-1/11 and ЛС-2/11 accordingly; 3 — outcrop in ravine on southwest margin of the Lysa Gora village, sample ЛС-3/11); 4, 5 — metasomatites of Kalynivka deposit, samples К-1/12, borehole 0424, depth 174.0 and К-2/12, borehole 0424, depth 174.3 accordingly.

електромагнітній фракції трапляються поодинокі кристали з наростанням на голівках та/чи окремих ребрах білого циркону.

У шліфах циркони відмічаються в зернах біотиту, на контакті біотиту і плагіоклазу та в середині зерен плагіоклазу, зрідка кварцу.

Монацити утворюють пампушкоподібні кристали жовтого, зеленкувато-, бурувато-жовтого та бурого кольору. Світлі кристали прозорі, бурі — напівпрозорі, окремі зерна містять включення породоутворювальних і рудних мінералів. У шліфах монацити трапляються переважно в кварці та інтерстиціях.

Граніт апліт-пегматоїдний (пр. ЛС-2/11), складений (у об'ємних відсотках) плагіоклазом (~30), кварцом (25—30), калішпатом (25—30), біотитом (8—10), гранатом (<1). Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом, монацитом. Хімічний склад наведено в табл. 1. Структура нерівномірнозерниста, дрібно-середньозерниста з середнім розміром зерен 1—3,5 мм, гранобластова, ділянками лепідогранобластова, пойкилітова, реліктова гіпідіоморфнозерниста. Деякі зерна до 4 мм. Структура неяснопорфіроподібна. Текстура гнейсоподібна.

Плагіоклаз представлений ксеноморфними, рідше таблитчастими зернами розміром 0,5—1,5 мм. Кристали сильно серицитизовані, особливо в центральній частині. На межі з мікрокліном інтенсивно розвиваються мірмекіти. Містить пойкилітові включення кварцу і зрідка біотиту. Двійники відсутні або слабо виражені.

Калішпат представлений таблитчастими зернами розміром від 0,5 до 4 мм, з недосконалою мікрокліновою ґраткою. Часто містить пертити округлого та таблитчастого сильно-серицитизованого плагіоклазу розміром 0,1—0,3 мм, інколи відмічаються включення кварцу округлої форми.

Кварц переважно ксеноморфний з хвилястим загасанням.

Біотит представлений лусками розміром 0,1—0,2 мм, що розміщені рівномірно або утворюють невеликі (до 10 мм) скупчення. Забарвлення: *Ng* — буро-коричневе; *Np* — коричневе, світло-коричневе. Деякі зерна сильно озалізнені. По краях розвивається дрібно-лускатий мусковіт. Значна частина біотиту слабохлоритизована. Такі хлоритизовані біотити утворюють стрічкоподібні скупчення, орієнтовані субпаралельно.

Циркони за морфологією та забарвленням подібні до циркону пр. гранодіориту ЛС-1/11, але кристали дещо дрібніші, менше трапляється коричневих, а рожевих виявлено лише декілька десятків. Як і кристали циркону з пр. ЛС-1/11, вони мають складну будову, обумовлену наявністю в середині багатьох з них реліктів більш раннього рожевого циркону. В електромагнітній фракції приблизно у 5 % кристалів відмічаються наростання білого циркону на голівках та окремих ребрах.

У шліфах циркони трапляються у плагіоклазі, кварці та інтерстиціях.

Монацити утворюють пампушкоподібні кристали зеленкувато-, бурувато-жовтого кольору, прозорі і напівпрозорі, окремі зерна містять включення породоутворювальних і рудних мінералів. У шліфах монацити трапляються переважно в інтерстиціях, зрідка в середині калішпату та кварцу.

Граніт апліт-пегматоїдний (пр. ЛС-3/11), складений (у об'ємних відсотках) плагіоклазом (~30), кварцом (24—28), калішпатом (30—32), біотитом (7—10), мусковітом (<1), гранатом (поодинокі зерна). Акцесорні мінерали представлені апатитом, цирконом, монацитом. Хімічний склад наведено в табл. 1. Структура гранобластова, реліктова гіпідіоморфнозерниста. Текстура гнейсоподібна.

Плагіоклаз ксеноморфний, зрідка відмічаються таблитчасті зерна. Кристали зазвичай сильно серицитизовані, особливо в центральній частині. На межі з мікрокліном розвиваються мірмекіти. Містить пойкилітові включення кварцу, зрідка біотиту.

Калішпат в основному не ґратчастий, а ксеноморфний, зрідка трапляються таблитчасті зерна.

Кварц ксеноморфний, хвилясто загасає. Відмічено дві генерації кварцу. Кварц першої генерації представлений ксеноморфними зернами з хвилястим загасанням, розмір яких 0,5—2 мм, другої — дрібні (0,1—0,2 мм) зерна, що утворюють шліри і лінзоподібні скупчення.

Біотит представлений лусками розміром 0,4—0,6 мм, що розміщені рівномірно або утворюють невеликі скупчення. Забарвлення: *Ng* — буро-коричневе; *Np* — коричневе, світло-коричневе. Зрідка в зростанні трапляється мусковіт, який, можливо, замістив біотит.

Циркони представлені добре ограненими кристалами декількох морфологічних типів: призматичними, коротко- та видовжено-приз-

матичними. Огранення кристалів добре розвинене, обумовлене поєднанням граней тупої та декількох гострих біпірамід та обох граней призматичного поясу, розвинених приблизно однаково. За кольором відмічаються (в неелектромагнітній фракції) коричневі (найбільш великі зерна, близько 60 %), коричнево-рожеві (близько 40 %) та рожеві (дрібні поодинокі зерна). В електромагнітній фракції переважають (понад 80 %) бурі, бурувато-білі непрозорі кристали, досить поширеними є зерна з наростаннями білого (бурувато-білого) циркону на голівках та/чи ребрах. На зламах окремих коричневих і коричнево-рожевих кристалів відмічаються ядра світло-рожевого циркону.

У шліфах циркони трапляються в плагіоклазах, кварці, калішпаті та інтерстиціях.

Монацити представлені пампушкоподібними та сплюсненими кристалами зеленувато-, бурувато-жовтого та бурого забарвлення, прозорі і напівпрозорі, зрідка зерна містять включення породоутворювальних і рудних мінералів. У шліфах монацити трапляються переважно в інтерстиціях, зрідка в середині калішпату та кварцу.

Кварц-біотит-амфібол-піроксен-мікроклінові метасоматити. Метасоматити на різних рівнях розрізу глибоких свердловин простежуються у напрямі від контакту пегматитових тіл з вмисними породами до їх осової частини на відстані від 0,1 до 1 м. Вони характеризуються надзвичайно мінливим хімічним складом, що, вірогідно, обумовлено значними варіаціями кількісних співвідношень між породоутворювальними мінералами. З одного боку, це зумовлено зменшенням вмісту фемічних мінералів по мірі віддалення від контакту, а з другого — накладанням більш пізніх процесів мікроклінізації та окварцювання. У шліфах, відібраних з різних ділянок приконтартових метасоматитів, вміст мінералів змінюється у дуже широких межах, %: Нур — 5—60, Сум — 5—60, Вт — 2—20, Мі — 5—80, Оlg — 2—70, Qu — 3—70. Хімічний склад наведено в табл. 1.

Темноколірні мінерали метасоматитів представлені ферогіперстеном, кумінгтонітом та біотитом.

Ферогіперстен у "свіжому вигляді" досить рідкісний. Він інтенсивно заміщується кумінгтонітом. Частіше за все зберігається тільки центральна частина порфіробластів ортопіроксену. Незмінні кристали спостерігають-

ся тільки у вузькій (0,1 м) приконтартовій зоні. Форма виділень ромбічного піроксену (найчастіше) — таблитчасті кристали. В одиначних випадках у шліфах трапляються чіткі гексагональні розрізи. Ферогіперстен у приконтартових зонах у гнейсах утворює ксеноморфні зерна та їх скупчення з пойкилобластами плагіоклазу. Ортопіроксену властивий помітний плеохроїзм від безбарвного, рідше слабо зеленкувато-голубуватого кольору по Ng до ніжно-рожевого по Np. За хімічним складом піроксен відноситься до ферогіперстену ($f = 63-65$).

Кумінгтоніт є найпоширенішим темноколірним мінералом у метасоматитах. Утворюється виключно за рахунок ферогіперстену і заміщує його, розпочинаючи з периферії кристалів. За часткового заміщення окремих порфіробластів кумінгтоніту він утворює вузькі (0,3—0,4 мм) периферичні облямівки з видовжено-призматичних кристалів. В округлих і еліпсоподібних виділеннях таке поєднання ферогіперстену та кумінгтоніту зовні нагадує оцелярову структуру. Для ділянок масового скупчення ферогіперстену характерний найінтенсивніший прояв процесу його заміщення, аж до утворення суцільних кумінгтонітових тонко-сплутановолокнистих агрегатів з більш рідкісними дрібними виділеннями у вигляді снопів і розеток. Здебільшого процес заміщення відбувається в межах одного зерна. По кумінгтоніту часто розвивається біотит, а в зонах катаклазу ортопіроксен піддається заміщенню дрібнозернистими агрегатами кварцу та карбонату.

Біотит представлений пластинками та лусочками розміром від 0,1 до 3,0 мм в довжину; більші індивіди часто інтенсивно деформовані. У лейкократових зонках біотит утворює мономінеральні гломеробластові скупчення до 8,0 мм в поперечнику. Вміст мінералу в середньому не перевищує 2—3 % об'єму породи. Біотит заміщує кумінгтоніт і розвивається у вигляді найтонших облямівок по периферії повністю кумінгтонізованих порфіробластів ферогіперстену.

За характером плеохроїзму можна виділити два різновиди біотитів. Перший з них плеохроює від світло-коричневого до чорно-бурого кольору і приурочений до ділянок породи, де світлі мінерали в основному представлені кварцом і плагіоклазом. Біотит другого різновиду плеохроює від блідо-солом'яного до тем-

Таблиця 2. Результати мікрзондового аналізу уранінітів Калинівського родовища, мас. %

Table 2. Results of microprobe analysis of uraninites from Kalynivka deposit, mas. %

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0,01	0,25	0,04	0,02	0,05	0,24
PbO	21,35	20,06	17,66	18,79	19,17	20,52
UO ₂	64,73	63,95	67,47	66,45	67,28	65,97
ThO ₂	8,30	8,75	7,92	8,08	8,03	9,28
CaO	0,02	0,27	0,13	0,05	0,53	0,31
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,02	0,00	0,05	0,00
Y ₂ O ₃	0,51	0,95	1,53	0,86	1,78	0,20
Ce ₂ O ₃	0,27	0,43	0,12	0,20	0,18	0,14
MnO	0,00	0,05	0,29	0,01	0,54	0,06
FeO	0,00	0,09	0,68	0,03	0,42	0,28
Σ	95,22	94,83	95,86	94,49	98,03	97,00

Примітка. Аналізи 1–6 виконані на приладі JXA-8200 в Технічному центрі НАН України (аналітик В.Б. Соколов).

Note. Analyses 1–6 are performed on JXA-8200 in Technical centre of NAS of Ukraine (V.B. Sobolev as analyst).

но-зеленого кольору. Він розвивається по кумінгтоніту, а також утворює облямівки навкруги його агрегатів у ділянках, де салічна складова метасоматитів представлена кварцом та мікрокліном.

В еволюційному ряду вмісні плагіогнейси → кристалосланці → приконтактові магнезаль-

но-залізисто-калієві метасоматити → пегматити послідовно збільшується коефіцієнт залізистості для біотитів: 47,2–47,8; 60,3–66,8; 67,6–71,1 відповідно.

Плагіоклаз представлений дрібно- та середньозернистими різновидами. Ізометричні зерна (розміром від 0,5 до 1,5 мм) складають основну масу метасоматитів безпосередньо в приконтактовій зоні і за складом відповідають олігоклазу (An = 26–30 %). З віддаленням від контакту зерна плагіоклазу збільшуються до 2,5–7,0 мм, а вміст анортитової складової знижується до 19 %. Форма кристалів стає короткотаблицастою з контурами, кородованими кварцом. Нерідко плагіоклаз руйнується під впливом катаклазу на дрібні уламки.

Мікроклін з приконтактових метасоматитів не відрізняється від такого з метасоматитів іншого типу — мікроклінових пегматитів.

Пегматити найбільш інтенсивно проявлені у контакті з рудоносними магнезально-залізистими метасоматитами. Макроскопічно це грубозернисті порфіробластові породи біотит-плагіоклаз-кварц-мікроклінового складу з пегматоїдною структурою, місцями катакlastичною. Дроблені уламки плагіоклазу і кварцу в основному виповнюють інтерстиції між порфіробластами мікрокліну. Серед відібраних нами зразків пегматитів майже немає таких, де б в тій чи іншій мірі не спостерігалася на-

Таблиця 3. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із гранітів Лисогірського масиву

Table 3. Contents of uranium, lead and isotopic composition of lead in monazites from granites of the Lysa Gora massif

Фракція мінералу	Вміст, ppm		Ізотопні співвідношення					Вік, млн рр.		
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$
<i>Пр. ЛС-1/11, кар'єр, на північний схід від с. Лиса Гора</i>										
1. Зел.-Ж.	14561	13825	62500	7,9828	1,4672	0,60860	10,505	3064	2480	2031,4
2. Зел.-Ж.	15167	9878	99900	7,9917	1,4479	0,41545	7,1672	2240	2132	2030,5
<i>Пр. ЛС-2/11, кар'єр, на північний схід від с. Лиса Гора</i>										
1. Зел.-Ж.	12802	11506	31550	7,9700	1,2018	0,53133	9,1703	2747	2355	2031,3
2. Зел.-Ж.	7322	6112	30300	7,9707	1,2368	0,49950	8,6190	2612	2299	2030,9
<i>Пр. ЛС-3/11, південно-західна околиця с. Лиса Гора</i>										
Св.-С., блискучі	10648	10725	10030	7,9258	0,93406	0,52971	9,1277	2740	2351	2028,4
Зел.-Ж., ямчасті	12067	10935	17240	7,9548	0,89063	0,46582	8,0328	2465	2235	2029,7
Зел.-Ж., <0,05	8067	8190	57100	7,9949	0,90942	0,52783	9,0951	2732	2348	2028,4
Зел.-Ж., <0,02	9827	7172	9440	7,9202	0,87897	0,37233	6,4162	2040	2034	2028,5

Примітка. 1, 2 — розмірні фракції, отримані шляхом скочування кристалів по похилій площині. Зел.-Ж. — зеленкувато-жовтий, Св.-С. — світло-салатовий. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2030 млн рр.

Note. 1, 2 — size fractions separated by moving of crystals on inclined plane. Зел.-Ж. — green-yellow; Св.-С. — light-green. The correction for common lead is entered according to Stasy and Krammers for the age of 2030 Ma.

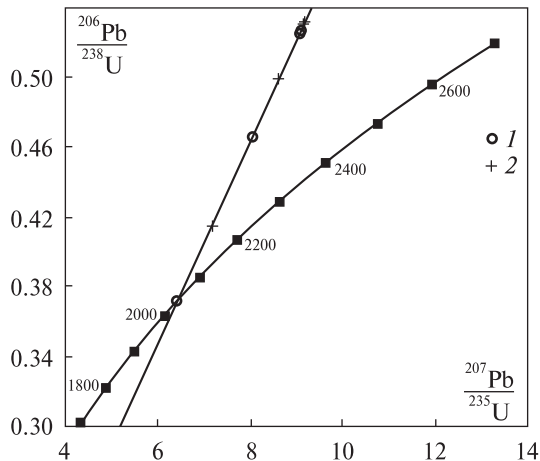


Рис. 2. Уран-свинцева діаграма з конкордією для монациту із гранітів Лисогірського масиву: 1 — пр. ЛС-3/11, південно-західна околиця с. Лиса Гора; 2 — пр. ЛС-1/11 та ЛС-2/11, кар'єр, на північний схід від с. Лиса Гора. Вік монациту, млн рр.: 1 — 2028.8 ± 3.3, 2 — 2030.2 ± 0.8. Вік, розрахований за усіма наведеними в табл. 2 даними, — 2029,1 ± 2,5 млн рр.

Fig. 2. Uranium-lead diagram with concordia for monazite from granites of the Lysa Gora massif: 1 — sample ЛС-3/11, southwest margin of the Lysa Gora village; 2 — samples ЛС-1/11 and ЛС-2/11, open pit in the northeast margin of the Lysa Gora village. Monazite age dating, Ma: 1 — 2028.8 ± 3.3; 2 — 2030.2 ± 0.8. Age values are calculated on the basis of results summarized in Table 2 and equal to 2029.1 ± 2.5 Ma

кладена мікроклінізація. В інтенсивно калішпатизованих ділянках вміст мікрокліну досягає 60—90 % об'єму породи.

Мікроклін представлений як самостійними виділеннями розміром до 1,5 см, так і у вигляді антипертитових включень (розміром 0,08—0,3 мм) у плагіоклазі. Самостійні кристали мікрокліну наповнені тонкими та короткими черв'якоподібними пертитовими включеннями

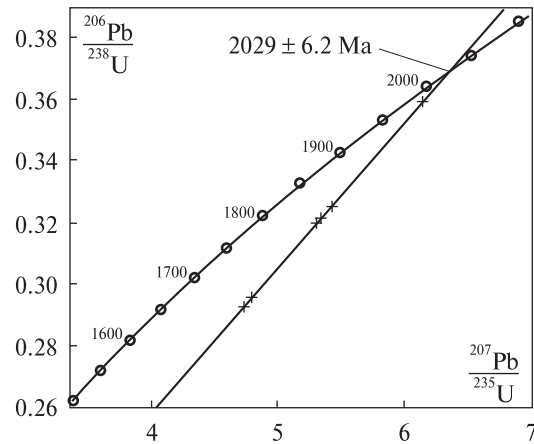


Рис. 3. Уран-свинцева діаграма з конкордією для кристалів уранініту із рудних зон Калинівського родовища

Fig. 3. Uranium-lead diagram with concordia for uraninite crystals from ore zones of the Kalynivka deposit

альбіту і часто містять округлі порфіробластичні включення олігоклазу (розміром 0,1—0,5 мм) з тонкою облямівкою альбіту по периферії зерен.

Плагіоклаз має склад олігоклазу (№ 21-22). Представлений олігоклаз кородованими табличками, співрозмірними з виділеннями мікрокліну, але переважають дрібні (0,6—1,3 мм) ксеноморфні зерна в інтерстиціях великих виділень калішпату. Зустрічаються також агрегати до 1,0 см у поперечнику, в яких дрібний плагіоклаз асоціює з співрозмірними табличками біотиту та кварцу. На контакті з мікрокліном в олігоклазі утворюються мірмекітові виділення кварцу.

Біотит іноді фіксується у вигляді окремих дрібних резорбованих лусок. Як правило, утворює пластинчасті агрегати до 2,0 см в попе-

Таблиця 4. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в уранінітах Калинівського рудопроюву, пр. UO2-11

Table 4. Contents of uranium, lead and isotopic composition of lead in uraninites of the Kalynivka deposit, sample UO2-11

Вміст, мг		Ізотопні співвідношення					Вік, млн рр.		
U	Pb	$\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{207\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{208\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{238\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{235\text{U}}$	$\frac{206\text{Pb}}{238\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{235\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}}{206\text{Pb}}$
47,7	17,2	1000000	8,0652	23,213	0,358944	6,14188	1977	1996	2016,0
102,3	30,1	12940	8,4517	20,377	0,293003	4,74303	1657	1775	1917,1
67,6	22,0	136990	8,2522	22,688	0,324273	5,41912	1811	1888	1974,0
31,0	9,1	1000000	8,5128	23,009	0,295089	4,78372	1667	1782	1919,7
79,3	25,5	1000000	8,3167	22,589	0,320858	5,32414	1794	1873	1961,4
84,3	27,0	117650	8,3202	23,474	0,32001	5,30343	1790	1869	1959,1

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі і Крамерсом на вік 2030 млн рр.

Note. The correction for common lead is entered according to Staisy and Krammers for the age of 2030 Ma.

речнику, в яких окремі індивіди часто пластично деформовані. Із усіх проаналізованих біотитів він є найбільш залізистим (f до 71 %).

Уранініт ($U, Th, REE, Pb Ca$) O_{2+x} є головним гіпогенним урановим мінералом в уранових рудах Калинівського родовища. Просторово він тяжіє до зон локального кремній-кварцового метасоматозу, де утворює стійкі парагенезиси з монацитом, цирконом інколи з ксенотимом. У пегматоїдних гранітах асоціації згаданих вище мінералів досить рівномірно розподілені в породі, що свідчить про їх акцесорний характер. Не виключено існування декількох генерацій оксиду урану. Переважають головним чином субідоморфні виділення уранініту. В залежності від зрізу спостерігаються: прямокутники (видовжені, ізометричні), трикутники, складні за формою агрегати, грані в яких заокруглені (рис. 1). Розміри їх мають практично сталі значення від 0,02 до 0,3 мм в поперечнику, зрідка до 1,5 мм. У безпосередній близькості від зерен уранініту разом зі зміною кольору вмісних мінералів спостерігаються також структури радіального розтріскування. В ореолах дії радіоактивного опромінення інтенсивно розвиваються пірит та галеніт. Мінерал часто насичений емульсійною вкрапленістю галеніту, що дозволяє припускати його часткову перекристалізацію, внаслідок чого частина винесеного в процесі метасоматозу радіогенного свинцю випала у вигляді сульфїду свинцю.

Встановлені окремі факти заміщення уранініту неідентифікованими мінералами, серед яких зустрічаються фази, близькі за хімічним складом до вторинних гідроксидів та силікатів урану.

За даними мікрозондового аналізу, уранініт належить до Th-вмісного різновиду — бреггериту (табл. 2). Вміст торію в ньому змінюється від 7,92 до 9,28 мас. %, діоксиду урану — від 63,95 до 67,47, оксиду свинцю — від 17,66 до 21,35. Типовими елементами-домішками в уранініті є рідкісноземельні елементи (до 0,3—2 мас. %) з переважанням елементів ітрієвої групи. Серед інших елементів-домішок присутні кальцій, залізо, марганець, кремній.

Результати датування та їх обговорення. Результати визначення вмісту урану, свинцю та ізотопного складу свинцю в монацитах наведені в табл. 3.

Монацити із гранітоїдів, відкритих кар'єром, за верхнім перетином лінії регресії, роз-

рахованої для монацитів обох проб гранітоїдів (ЛС-1/11 і ЛС-2/11), мають вік $2030,2 \pm 0,8$ млн рр. (рис. 2). Практично аналогічний вік отримано і для монацитів, вилучених із апліт-пегматоїдних гранітів (пр. ЛС-3/11), поширених на південно-західній околиці с. Лиса Гора — $2028,8 \pm 3,3$ млн рр. (рис. 2). Вік монацитів, розрахований за усіма наведеними у табл. 3 результатами, становить $2029,1 \pm 2,5$ млн рр. (рис. 2).

Враховуючи, що монацити містять включення породоутворювальних мінералів, а в протолоці зрідка спостерігаються їх зростання з польовими шпатами та переважне знаходження зерен монациту в інтерстиціях, можна з великою долею вірогідності припустити, що монацит кристалізувався на завершальному етапі гранітоутворення і його вік відображає вік граніту.

Згідно з результатами проведених нами ізотопно-геохімічних досліджень окремих кристалів уранініту із рудоносних кварц-біотит-амфібол-піроксен-мікроклінових метасоматитів, вік уранового зруденіння на Калинівському родовищі, за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованою за усіма зернами уранініту (табл. 4), складає $2029 \pm 6,2$ млн рр. (рис. 3).

Таким чином, результати геологічних спостережень та уран-свинцевого ізотопного датування свідчать про послідовний та одноактний характер розвитку процесу уран-рідкісноземельного зруденіння калій-уранової формації, який починається формуванням гранітоїдів, проходить через стадію метасоматичних змін вмісних порід під впливом флюїдів і завершується формуванням зруденіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бартницький Е.Н., Бибилова Е.Н., Верхогляд В.М. и др. ИГМР-1. Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований // Геохимия и рудообразование. — 1995. — № 21. — С. 164—167.
2. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б., Бакаржиев А.Х. и др. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений. — Киев : Наук. думка, 1995. — С. 134—136.
3. Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита / Н.П. Шербак, Г.В. Артеменко, Е.Н. Бартницький и др. — Киев : Наук. думка, 1989. — 144 с.
4. Krough T.E. A law contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination // Geochim.

et cosmochim. acta. — 1973. — 37, No 3. — P. 485—494.

5. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 88-542. — 1989. — P. 40.
6. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 88-557. — 1990. — P. 38.

Надійшла 18.06.2012

*Л.М. Степанюк, Т.І. Довбуш, С.Н. Бондаренко,
В.А. Семка, А.В. Гринченко, С.Е. Скуратовский*

**УРАН-СВИНЦОВАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ
ПОРОД КАЛІЙ-УРАНОВОЇ ФОРМАЦІЇ
ИНГУЛЬСКОГО МЕГАБЛОКА
УКРАИНСКОГО ШИТА**

В статье приведены результаты уран-свинцового изотопного датирования пород калий-урановой формации Ингульского мегаблока Украинского щита. На примере Калиновского месторождения, расположенного в Братско-Алексеевском рудном районе (Братский синклиорий), приблизительно в 18 км на северо-восток от г. Первомайск, показано, что возраст гранитов Лысогорского массива ($2029,1 \pm 2,5$ млн лет), определенный уран-свинцовым изотопным методом по акцессорному монациту, практически совпадает с возрастом урановой минерализации ($2029 \pm 6,2$ млн лет), установленным тем же методом по ураниниту. Это, вместе с геологическими наблюдениями, указывает на последовательный и одноактный характер развития процесса уран-редкоземельного оруденения калий-урановой формации, который начинается формированием гранитоидов, проходит через стадию метасоматических изменений вмещающих пород под влиянием флюидов и завершается формированием оруденения.

*L.M. Stepanyuk, T.I. Dovbush, S.M. Bondarenko,
V.O. Syomka, O.V. Grinchenko, S.E. Skyrativsky*

**URANIUM-LEAD GEOCHRONOLOGY
POTASSIUM-URANIUM FORMATION
ROCKS OF THE INGUL MEGABLOCK,
THE UKRAINIAN SHIELD**

Some deposits and ore manifestations of potassium-uranium formation have been discovered on the Ukrainian Shield. These deposits are related to postmagmatic rare-earth-thorium-uranium (TR-Th-U) type. As a rule, deposits are characterized by complex mineralization and rather small reserves. The deposits and ore manifestation of Bratske-Oleksiivka mining region (Bratske synclinorium) that is located in the southwest part of Ingul megablock are among the most investigated ones. TR-U-Th-Mo mineralization of hydrothermal-metasomatic type occurred in potassic metasomatites and pegmatitic granites. Three ore fields — Lozuvatka-Kalynivka, Korabelne and Yuzhne — have been outlined in this region. This paper represents uranium-lead isotopic dating of rocks of potassium-uranium formation of the Ingul megablock, the Ukrainian Shield. On an example of Kalynivka deposit, that is located in Bratske-Oleksiivka ore region (Bratske synclinorium), about 18 km northeastwards of Pervomaiske, it is shown, that the age of granite formation of the Lysa Gora massif (2029.1 ± 2.5 Ma established by uranium-lead isotopic method on accessory monazite), practically coincides with the age of uranium mineralisation (2029 ± 6.2 Ma by uranium-lead isotopic method on uraninite). This fact, taken together with geological observations, indicates to successive and single-stage character of uranium-rare-earth mineralization in potassium-uranium formation, which starts form formation of granitoids with following stage of country rocks metasomatic alterations under the effect of fluids and is completed by mineralization stage.