

УДК. 550.93

<https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.5>

ВІК УРАНОВОЇ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ В ПОРОДАХ ПЕТРІВСЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО РОДОВИЩА

*Довбуш Т.І., Степанюк Л.М., Зюльцле О.В., Висоцький О.Б., Павлов Г.Г.,
Бондаренко С.М., Ковтун О.В., Коваленко Н.О.*

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, м. Київ,
Україна, tetyana.dovbush1@gmail.com

AGE OF URANIUM MINERALIZATION IN ROCKS OF THE PETRIVSK IRON ORE DEPOSIT

*Dovbush T.I., Stepaniuk L.M., Zyultsle O.V., Vysotskyi O.B., Pavlov H.G.,
Bondarenko S.M., Kovtun O.V., Kovalenko N.O.*

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, tetyana.dovbush1@gmail.com

Uranium mineralization was found in plagiopegmatite, which cuts rocks of the iron ore stratum of the Petrivskoye deposit. Zircon and monazite are present in accessory amounts. The time of pegmatite intrusion was determined by the TIMS method based on accessory monazite - 2028.5±5.6 million years ago. Uranium mineral, probably masuyite, is represented by small fragments of brownish-yellow, yellow and light yellow color. According to the results of uranium-lead isotope dating of the fragments (1-2 pieces), the mineral crystallized 1994.9±6.7 million years ago, which corresponds to the Kirovohrad stage of the geological development of the Ingul megablock.

Вступ. Петрівське залізорудне родовище розташоване на лівому березі р. Інгулець, південно-східніше с. Петрово (Кіровоградська область). Залізорудна товща складена залізистими кварцитами та кристалічними сланцями. В різко підпорядкованій кількості трапляються інтенсивно розсланцьовані гнейси, безрудні кварцити та карбонатні породи. В межах кар'єру кристалічні сланці частково мігматизовані, а пачки залізистих кварцитів в багатьох місцях розсічені жилами апліто-пегматоїдних гранітів і пегматитів. За характером розрізу залізорудна товща закартована як артемівська світа інгуло-інгулецької серії [2, 3].

Мета роботи. Уран-свинцевим ізотопним методом визначати вік монациту та масюїту, які в акцесорних кількостях присутні в жилі плагіопегматиту (проба 23/23).

Об'єкти та методи дослідження. Плагіопегматит (проба 23/23) прориває залізорудні породи північно-західного борту Петрівського кар'єра.

Монацити та масюїт датували класичним уран-свинцевим ізотопним методом (TIMS) у відділі радіогеохронології ІГМР НАН України. Методика хімічної підготовки, за якою готувалися мультизернові наважки монациту (масюїту за уламками (1-3 шт)) кристалів для мас-спектрометричного аналізу, описана в роботі [4]. Ізотопний аналіз урану і свинцю виконано на 8-колекторному мас-спектрометрі МІ-1201АТ в статичному режимі; математична обробка експериментальних даних – за програмами Pb Dat і ISOPLOT [5, 6]. Похибки визначення віку наведені за 2σ. Для визначення вмісту урану і свинцю в монацитах використали змішаний $^{235}\text{U}+^{206}\text{Pb}$ трасер, а масюїт - змішаний

$^{235}\text{U}+^{208}\text{Pb}$ трасер. Перевірка метрологічних характеристик здійснено за стандартом циркону [1].

Плагіопегматит, проба 23/23. Світло-сіра, майже біла порода з крупними чорними виокремленнями біотиту (рис. 1 а).

Структура пегматиту крупнозерниста, гранобластова, тектонобластова з мірмекітами заміщення. Структура ділянок з виокремленнями біотиту - лепідобластова з елементами деформації, перекристалізації, ділянками мусковітизації (рис.1 б, с).

Мінеральний склад (%) – плагіоклаз реліктовий та новоутворений - 79, біотит -11, кварц - 7, мікроклін – 2, мусковіт, хлорит. Акцесорні мінерали представлені цирконом, монацитом, масюїтом (masuyite), апатитом.

Біотит плеохроює в коричневих тонах, з темними плеохроїчними облямівками і поодинокими плямами у середині кристалів та уздовж площин спайності та тріщин розриву, що свідчить про підвищену радіоактивність метасоматичних розчинів, які супроводжували процеси тектогенезу та перекристалізації породи.

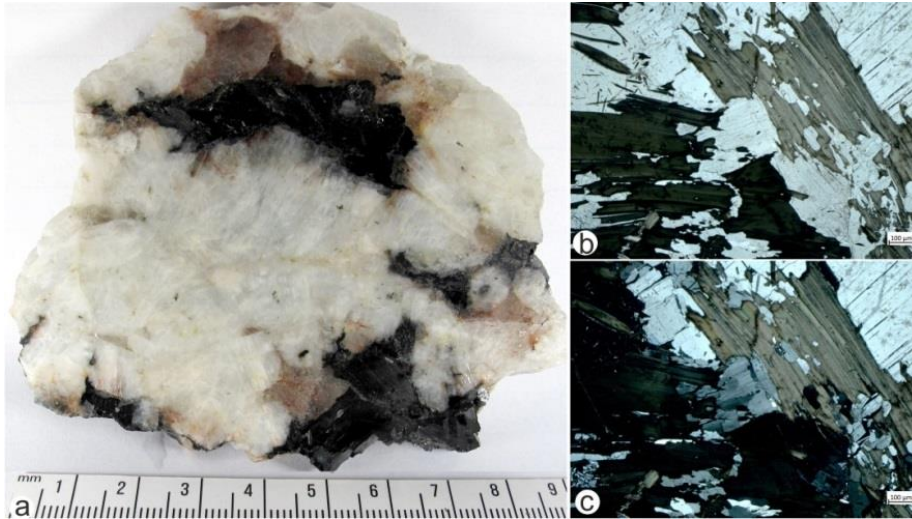


Рис. 1. Плагіопегматит, проба 23/23. а – загальний вигляд пегматиту, б - виокремлення біотиту в плагіопегматиті. Оптичний мікроскоп Carl Zeiss Axio Imager 2 for materials, без аналізатора, с – теж, аналізатор уведений.

Циркон утворює видовжено-призматичні (переважають) і призматичні кристали гіацинтового типу. Огранення обумовлене комбінацією граней призми $\{110\}$ та біпіраміди $\{111\}$, зрідка присутні відмічаються окремі грані більш гострих біпірамід. Поверхня більшості кристалів рівна гладенька, в деяких (біля 30%) шагренева, ділянками кавернозна. В останніх ребра призми та голівок кристалів заокруглені.

За кольором можна виділити три основні різновиди: світло-рожеві прозорі, світлі прозорі з золотистим відтінком (світло-жовті) та коричневі (від світло-коричневих до коричневих). В зламах коричневих кристалів центральні ділянки світліші, переважно світло-рожеві.

Монацит представлений декількома типами кристалів: 1 – світло-жовті водяно-прозорі та прозорі пампушкоподібні (за звичай дрібніші 0,05 мм, з заокругленими контурами) та зрідка дископодібні (переважно крупніші 0,07 мм,

з добре розвиненими гранями пінакоїду). 2 – жовтувато-бурі, червонувато-бурі напівпрозорі до бурих, практично не прозорі кристали. Розмір від дрібних (дрібніших 0,04 мм) до відносно крупних (0,1-0,07 мм, поодинокі крупніші 0,1 мм). В зламах окремих кристалів центральні ділянки є світлішими (світло-жовтими), при цьому зовнішні – червоно-бурі та бурі – не утворюють добре виокремлені наростання, а найчастіше мають не чіткі звивисті контакти.

Вік визначався за трьома мультизерновими наважками першого різновиду: одна наважка дрібних (<0.04) світло-жовтих водяно-прозорих кристалів і дві наважки світло-жовтих прозорих та трьома мультизерновими наважками другого: дві наважки жовтувато-бурих і червонувато-бурих напівпрозорих і одна наважка червонувато-бурих та бурих напівпрозорих кристалів. Результати аналітичних досліджень наведені в табл.1.

Таблиця 1. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із пегматиту, проба 23/23, Петрівський залізорудний кар'єр.

Фракція	Вміст, ppm		Ізотопні відношення					Вік, Ма			D (%)
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{206}\text{Pb}_r}$	
1	6035	12911	6570	7,8833	0,17175	0,35400	6,0992	1954	1990	2028,2	3,7
2a	5367	11795	4240	7,8168	0,15406	0,33119	5,7049	1844	1932	2027,8	9,1
2б	5128	11143	3200	7,7555	0,16266	0,34254	5,9001	1899	1961	2027,7	6,4
3a	5529	11877	3420	7,8247	0,17400	0,35858	6,1330	1975	1995	2015,2	2,0
3б	5487	9750	2920	7,7876	0,19272	0,32258	5,5147	1802	1903	2014,4	10,5
4	5692	10731	2390	7,7316	0,19533	0,34559	5,9045	1914	1962	2013,3	4,9

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2030 млн. років. 1 – світло-жовті водяно-прозорі, <0,04, 2a – світло-жовті, прозорі, 0,04-0,05 мм, 2б – теж, <0,04 мм. 3a – жовтувато-бурі, червонувато-бурі напівпрозорі, >0,05 мм, 3б – теж, >0,07 мм. 4 – червонувато-бурі та бурі напівпрозорі, >0,05 мм. $^{206}\text{Pb}_r$ і $^{207}\text{Pb}_r$ – радіогенні ізотопи свинцю 206 і 207, відповідно. D – дискордантність.

Вік, розрахований за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованої для монацитів першого різновиду (фракції 1, 2a і 2б, див.табл.1), складає 2028.5 ± 5.6 млн. років і 17 ± 162 млн. років, за нижнім. СКЗВ = 0,018. Отриманий вік 2028.5 ± 5.6 млн. років, на нашу думку є часом проникнення плагіопегматиту.

Вік, розрахований за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованої для монацитів другого різновиду (фракції 3a і 3б та 4, див. табл.1), становить 2014 ± 20 млн. років та 1 ± 394 млн. років, за нижнім СКЗВ = 2,3. Зважаючи, що в деяких коричневих кристалах монациту присутні більш світлі (світло-жовті) ділянки, вірогідно монациту першого різновиду, отримане значення віку 2014 ± 20 млн. років, на наш погляд, характеризує мінімально можливий час кристалізації монациту другого різновиду.

Урановий мінерал представлений уламками буровано-жовтих, жовтих і світло-жовтих кристалів (рис.2), як поодинокі присутні уламки темно-бурих. Методом рентгено-спектрального аналізу (растровий електронний мікроскоп РЕМ-106 і) визначено вміст UO_2 близько 80%, PbO – близько 20% та FeO – 1-2%.

При зануренні уламків в соляну та азотну кислоту пухирці газу (CO₂) не спостерігалися, вірогідно мінерал є гідроксидом урану, вірогідно масюїт. Характерно, що при додавання соляної кислоти уламки знебарвлювалися практично миттєво. Тоді як в азотній кислоті знебарвлення тривало біля 1 хвилини, починалося з країв, поступово переміщувалося до центру уламків.



Рис.2. Мікрофотографія уламків жовтих і світло-жовтих кристалів уранового мінералу (масюїт), стереомікроскоп SZM-45T2.

Табл.2. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в уламках масюїту із пегматиту, проба 23/23, Петрівський залізорудний кар'єр

Фракція	Вміст (µgr)		Ізотопні відношення					Вік, млн. років			D (%)
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{206}\text{Pb}_r}$	
1	2,030	0,1872	3880	8,0212	28,475	0,092131	1,5416	568	947	1976	71
2	2,009	0,1188	2090	7,9529	19,192	0,058019	0,95574	364	681	1948	81
3	2,446	0,2585	6250	8,1840	30,957	0,10626	1,7607	651	1031	1959	67
4	6,313	1,662	15300	8,0652	38,004	0,26590	4,5185	1520	1734	2004	24
5	5,083	1,594	30400	8,1713	42,112	0,31811	5,3539	1781	1878	1987	10
6	6,859	1,994	20000	8,1539	40,952	0,29458	4,9593	1664	1812	1987	16
7	5,646	1,620	21740	8,1307	41,137	0,29063	4,9088	1645	1804	1993	18
8	5,975	2,546	36500	8,0919	41,820	0,43176	7,3425	2314	2154	2005	-15
9	5,518	1,738	20500	8,0939	44,354	0,31932	5,4165	1786	1887	2001	11
10	4,009	1,104	20200	8,1018	40,530	0,27883	4,7247	1585	1772	1999	21
11	2,857	0,6992	17300	8,1294	37,817	0,24741	4,1742	1425	1669	1991	28

Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2000 млн. років. 1-11 – уламки (1-2) уранового мінералу: 1-5 та 10-11 – бурувато-жовті, 6-8 – світло-жовті, 9 – жовті. $^{206}\text{Pb}_r$ і $^{207}\text{Pb}_r$ – радіогенні ізотопи свинцю 206 і 207, відповідно. D – дискордантність.

Вік уран-свинцевим ізотопним методом визначали за 1-3 уламками бурувато-жовтих, жовтих та світло-жовтих кристалів. Уламки під біноклем змоченим кінцем голки переносили в фторопластові тиглі, в які поміщали краплю води, що полегшувало знімання уламків із кінчика голки. Уламки кристалів розчиняли в цих же тиглях сумішшю (3 до 1) соляною та азотної кислоти (царська горілка). Подальша процедура хімічної підготовки не відрізнялася від такої для цирконів, за винятком того, що проби не зважувалися,

а кількість урану і свинцю в них розрахована в мікрограмах. Результати аналітичних досліджень наведено в табл.2.

Вік уранового мінералу за верхнім перетином конкордії дискордією, розрахованої за даними, наведеними в табл.2, складає 1994.9 ± 6.7 млн. років (рис.3), що відповідає часу його кристалізації. За нижнім перетином отримано вік 23 ± 12 млн. років, який на нашу думку обумовлений втратою свинцю в недалекому минулому. СКЗВ=76.

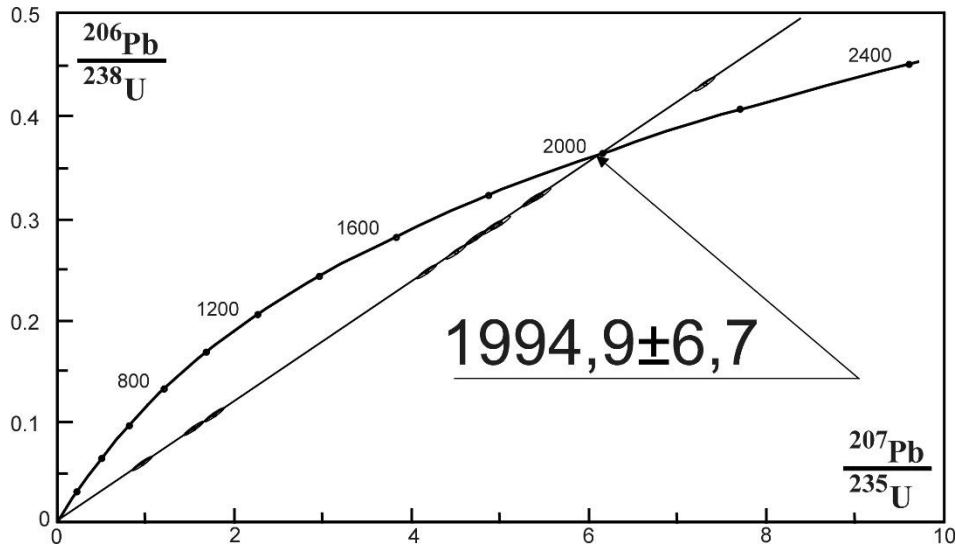


Рис. 3. Уран-свинцева діаграма з конкордією для уламків кристалів масюїту із плагіопегматиту, проба 23/23.

Висновки.

1. Плагіопегматит укорінився в залізорудну товщу Петрівського родовища в палеопротерозої, 2028.5 ± 5.6 млн. років тому.
2. Уранова мінералізація в плагіопегматиті сформувалася 1994.9 ± 6.7 млн. років тому, що дозволяє віднести її формування до кіровоградського етапу геологічного розвитку Інгульського мегаблоку.

Література

1. Бартницький, Е.Н., Бибикова, Е.В., Верхогляд, В.М., Легкова, Г.В., Скобелев, В.М., Терец, Г.Я. Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований. *Геохимия и рудообразование*. Вып. 21. 1995. С. 164—167.
2. Державна геологічна карта України. Центральноукраїнська серія: М-36-XXXIY, Жовті Води). Київ, 2002.
3. Єсипчук К.Ю., Бобров О.Б., Степанюк Л.М., Щербак М.П., Глеваський Є.Б., Скобелев В.М., Гейченко М.В. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка). Київ, УкрДГРІ, 2004. 29 с.
4. Krough T.E. A low contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 37, №3. 1973. p.485-494.
5. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06. U.S. Geol. Survey Open-File Rept. №88 – 542. 1989. p. 40.
6. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. Geol. Survey Open-File Rept. №88 – 557. 1990. p. 38.