

ЗАВАЛЛІВСЬКИЙ РУДОПРОЯВ КАЛІЙ-УРАНОВОЇ ФОРМАЦІЇ: МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ, ЧАС ФОРМУВАННЯ

С.М. Бондаренко, З.В. Карли, Л.М. Степанюк, В.О. Сьомка, М.О. Донський, Л.В. Сьомка
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ–142, Україна, пр. акад. Палладіна, 34
E-mail: syomka@igmof.gov.ua

Вік рудоносних апліт-пегматоїдних гранітів Заваллівського рудопрояву, визначений за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в монациті, становить $1981,2 \pm 8,4$ млн років. Встановлено, що ураноносні гранат-біотит-силіманітові метасомати утворюються в результаті магнезійно-залізисто-глиноземистого метасоматозу в зонах катаклазу і тріщинуватості апліто-пегматоїдних гранітів. Для цих метасоматитів встановлений високий вміст ThO_2 (16,85 %), UO_2 (4,23 %) і низький Ce_2O_3 (18,86 %) в монациті і відсутність свинцю, а також присутність уранініту II з низьким вмістом ThO_2 (1,15–1,83 %), а також настурану і молоді уранової черні. Відсутність у складі уранової черні домішок радіогенного свинцю, слабкий ступінь розкristалізації та присутність каолініту вказує на дуже молодий вік урановочернієвої мінералізації. Всі ці факти свідчать, що TR-U-Th мінералізація в гранітоїдах Заваллівського рудопрояву носить полістадійний і регенераційний характер.

Ключові слова: мінералогія, геохімія, вік утворення.

Вступ. За останнє десятиріччя в результаті ефективних геолого-розвідувальних робіт виробничими установами КП “Кіровгеологія” у різних мегаблоках Українського щита (УЩ) відкрито десятки промислових родовищ урану різних рудно-формаційних генетичних типів. Найбільш характерними для УЩ є уранові родовища натрій-уранової формації, які протягом кількох десятків років інтенсивно експлуатуються. Рідкісноземельно-уран-торієві родовища найбільш поширені в Голованівській шовній зоні УЩ. Ці родовища мають комплексний склад та вкраплений характер відносно бідних руд. Дотепер вони ще не знайшли свого належного застосування через невеликі запаси корисних компонентів. Хоча, з часом, їхня роль у мінерально-сировинній базі України може значно зрости, особливо при розробці і експлуатації торієвих реакторів, які на сьогодні є більш ефективними в технічному та набагато безпечнішими в екологічному плані.

© Бондаренко С.М., Карли З.В., Степанюк Л.М., Сьомка В.О., Донський М.О., Сьомка Л.В., 2014

Останніми роками в межах Дністровсько-Бузького мегаблоку роботами КП “Кіровгеологія” було відкрито чотири рідкісноземельно-уран-торієвих рудопрояви калій-уранової формації, а саме на ділянках Завалля, Гайворон, Хмільник та Таужне [4]. На цих ділянках апліто-пегматоїдні граніти проривають метаморфічні породи бузької та дністровсько-бузької серій. У зонах дроблення та катаклазу цих гранітів і встановлена контрастна рідкісноземельно-уран-торієва мінералізація.

Мета роботи. Проведення рудно-мінералогічних, петрографічних, геохімічних та радіогеохронологічних досліджень нового для УЩ Заваллівського рудопрояву калій-уранової формації.

Зразки та методи досліджень. Дослідження базуються на оригінальному кам’яному матеріалі, зібраному авторами в процесі виконання бюджетної тематики ІГМР НАН України протягом останніх десяти років. Найбільш детально були вивчені розрізи свердловин 57-2, 57-3, 57-4, 57-6, розбурених ПЗЕ-46 КП “Кіровгеологія”.

Мікрозондові дослідження рудних мінералів проведені на приладі JXA-5 (аналітик І.М. Бонда-

ренко), електронно-мікроскопічні – на приладі *JSM-6700F* (аналітик О.А. Вишневський) в ІГМР НАН України, спектральні та хімічні дослідження порід – в ЦАЛ КП “Кіровгеологія” (аналітики К.В. Перебийніс та С.П. Модленко).

Радіогеохронологічні дослідження виконані за монацитом, виділеним із апліто-пегматоїдних гранітів (проба 57-2, св. 57–2, ін. 139,3 м) у відділі радіогеохронології ІГМР НАН України. Датування кристалів монацитів, виділених вручну під бінокляром, здійснено за класичним U-Pb ізотопним методом. Хімічну підготовку наважок виконано за модифікованою методикою [8]. Для визначення вмісту урану та свинцю використали змішаний (U²³⁵+Pb²⁰⁶) трасер. Ізотопний аналіз урану і свинцю проведено на восьмиколекторно-

му мас-спектрометрі МІ-1201АТ в мультиколекторному статичному режимі. Для зіставлення результатів датування використано стандарт циркону ІГМР-1. Математичні розрахунки виконано за допомогою програм Pb DATE та ISOPLOT [9, 10]. Наведені похибки віку відповідають 2σ.

Геологічна будова. За геолого-структурною позицією Заваллівський рудопрояв відноситься до ділянки вигину Одесько-Тальнівського регіонального розлому в місці сполучення Дністровсько-Бузького та Росинсько-Тікицького мегаблоків з Голованівською шовною зоною, що обумовлює її виключно складний геолого-тектонічний стан. Роботами ПЗЕ-46 КП “Кіровгеологія” розбурені два рудопрояви – Заваллівський-1 і Заваллівський-2, розташовані в межах одноймен-

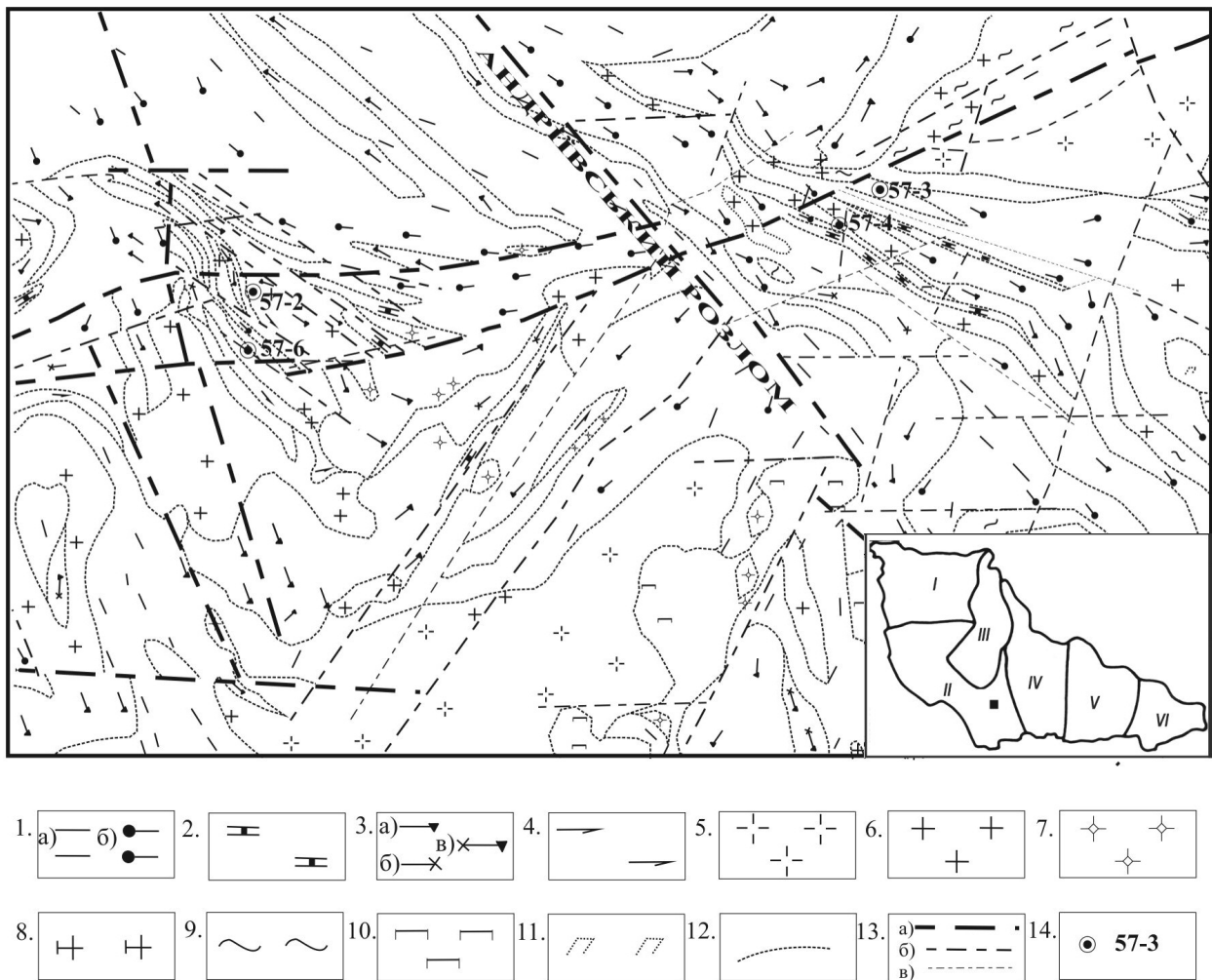


Рис. 1. Схематична геологічна карта кристалічного фундаменту північної частини Заваллівського рудопрояву (рудопрояв № 1 – св. 57-3, 57-4; рудопрояв № 2 – св. 57-2, 57-6) за матеріалами ПЗЕ-46 КП “Кіровгеологія”. М 1 : 25000: 1 – біотитові (а) і гранат-біотитові (б) гнейси та сланці; 2 – кальцифіри, мармури і скарни; 3 – піроксен-амфібол-біотитові (а) і графітовмісні (б) гнейси та сланці; 4 – амфіболіти; 5 – апліто-пегматоїдні граніти; 6 – пегматити; 7 – апліти; 8 – біотитові двопольовошпатові граніти; 9 – мігматити; 10 – піроксеніти; 11 – серпентиніти; 12 – геологічні межі; 13 – розривні порушення: а) головні, б) другорядні, в) локальні, оперяючі; 14 – свердловина та її номер. Праворуч внизу положення Заваллівського рудопрояву в межах УШ

ного глибоко еродованого антиклінального блоку. Останній обмежений Заваллівським розломом з півночі, розгалуженими гілками Одесько-Тальнівського регіонального розлому зі сходу та Бузьким розломом з півдня (рис. 1). Цей тектонічний вузол у північно-західному напрямку розділений Андріївським розломом, у зоні перетину якого із Заваллівським розломом північно-східного простягання і локалізуються два рудопрояви рідкісноземельно-уран-торієвої мінералізації. В зонах дроблення та катаклазу апліто-пегматоїдних гранітів, пегматитів та аплітів розвиваються магнезійно-залізо-глиноземисті метасоматити гранат-біотит-силіманітового складу, в яких виявлена рідкісноземельно-уран-торієва (TR-U-Th) мінералізація.

Петрографічна характеристика порід. У розрізах свердловин, що розкрили найбільш контрастну рудну мінералізацію, виділяються такі петрографічні різновиди порід: метаморфічні, ультраметаморфічні, магматичні та метасоматичні. До найбільш давніх утворень належать породи хашувато-заваллівської світи, представлені метапелітами, метабазами та скарнованими доломітовими мармурами. Хашувато-заваллівська світа є складовою до неоархейської бузької серії [7], що формує вузькі синклінальні структури: Савранську, Заваллівську, Чемерпільську, Таужнянську, Хашуватську, Могильнянську та ін. Породи серії прогресивно метаморфізовані в умовах гранулітової фації та зазнали інтенсивного діафорезу під впливом палеопротерозойських гранітоїдів побузького комплексу.

Метабази представлені амфіболітами й актиноліт-плагіоклазовими кристалосланцями, для яких типовими акцесорними мінералами є апатит і ільменіт.

Аподоломітові метасоматити наявні у вигляді магнезійних скарнів, утворених у ході гранітизаційного заміщення доломітових мармурів у контакті з амфіболітами і актиноліт-плагіоклазовими кристалосланцями. Серед скарнів виділяються ендоскарни (апоалюмосилікатні утворення) і екзоскарни (аподоломітові). Ендоскарни представлені актиноліт-діопсид-плагіоклазовими, актиноліт-флогопіт-плагіоклазовими, актиноліт-флогопіт-діопсид-плагіоклазовими, актинолітовими, діопсид-плагіоклазовими і гранатовими відмінами. Екзоскарни складені діопсидовими, флогопіт-тремоліт-діопсидовими, форстерит-діопсид-кальцитовими, флогопіт-форстерит-кальцитовими, форстерит-кальцитовими відмінами. Харак-

терними акцесорними мінералами скарнів є апатит і сфен.

Монацит, циркон і ураніт є типовими акцесорними мінералами гранітоїдів Заваллівського рудопрояву, тому виникає необхідність у більш детальній петрографічній характеристиці цих порід. Серед гранітоїдів виділяються ультраметаморфічні (автохтонні) та магматичні (алохтонні) утворення.

Ультраметаморфічні породи утворюються внаслідок гранітизації гнейсів, амфіболітів та кристалосланців. Серед них виділяються апогнейсові мігматити, які розвиваються по метапелітах і плагіомігматити – відповідно по метабазах.

Апогнейсові мігматити представлені дрібнозернистою смугастою породою. Текстура сланцювата, структура гетерогранобластова і катакластична. Мінеральний склад, %: гранат – од. з., біотит – 10–40, кварц – 20, мікроклін – 5–25, плагіоклаз 30–40; вторинні: графіт – 1–5, серицит – 1–5, карбонат і хлорит – од. з.; акцесорні – монацит і циркон – од. з.

Плагіомігматити це світло-сірі дрібно- та середньозернисті породи, які часто чергуються з плагіоаплітами і плагіопегматитами. Просторово приурочені до основних кристалосланців та амфіболітів. Текстура породи масивна, смугаста, очкова з елементами катаклазу. Структура – порфіробластова, гломеробластова, гетерогранобластова і катакластична. Мінеральний склад, %: гранат – 1–10, біотит – 1–5, мусковіт – 1–2, мікроклін – од. з. – 5, плагіоклаз – 35–80, кварц – 15–60; вторинні – серицит 1–2, карбонат 1–2; акцесорні: апатит – од. з. – 2, монацит – од. з. – 2, ураніт – од. з.

Характерною особливістю плагіогранітів є низький вміст темноколірних мінералів і калішпату та високий (до 80 %) вміст олігоклазу (№ 22–28), а також підвищений вміст апатиту і монациту.

Магматичні породи представлені апліто-пегматоїдними гранітами, які в розрізах чергуються з пегматитами і аплітами.

Двопольовошпатовий апліто-пегматоїдний граніт – сіра дрібно- та середньозерниста лейкократова порода з масивною текстурою. Відзначаються локальні ділянки розсланцювання та катаклазу породи. Структура – порфіроподібна, а в зонах катаклазу – катакластична і гетеробластова. Мінеральний склад породи, %: гранат, біотит – 1–10, калішпат – 15–40, плагіоклаз – 15–60, кварц – 10–40; вторинні: мусковіт – од. з. – 2, серицит – 0,5–10, силіманіт – од. з. – 2, карбонат, каолініт, графіт і хлорит – од. з.; акцесорні: апатит –

од. з. – 2, циркон, монацит і ураніт – од. з.; рудні – пірит, молібденіт, галеніт і рутил.

Структурний малюнок породи зумовлений поєднанням дрібнозернистої (0,1–3,00 мм) кварц-мікроклін-олігоклазової основної маси та великих (2,0–10 мм) порфіроподібних виділень ортоклаз-пертиту та олігоклазу. В зонах дроблення і розсланцювання утворюються мусковіт-силіманіт-біотитові скупчення, до яких приурочені виділення монациту і ураніту. Силіманіт встановлений у вигляді ланцюжків, лінз і окремих зерен (0,05–0,5 мм завдовжки). Як правило, заміщує біотит, іноді – гранат, з утворенням структур “обтікання”.

Пегматити і апліти складають 80–90 % розрізу, розкритого свердловинами на Заваллівській ділянці. Від вищеописаних порід вони відрізняються переважно кремнієво-калієвим хімічним складом і уран-торієвою геохімічною спеціалізацією. Макроскопічно це світло-рожеві дрібно- і грубозернисті породи з червонувато-бурим відтінком, що зумовленим присутністю гідрооксидів заліза в польових шпатах. Для них характерна масивна текстура і порфіровидна, місцями катакlastична структура. Мінеральний склад, %: гранат, біотит – од. з. – 10, мусковіт – од. з. – 8, кварц – 10–50, плагіоклаз – 0–20, калішпат – 40–95; вторинні – силіманіт од. з. – 2, серицит од. з. – 1, кліноцоїзит, карбонат, хлорит, каолініт – од. з.; акцесорні: апатит, циркон, монацит, ураніт – од. з.; рудні – пірит, халькопірит, галеніт, мінерали вісмуту, рутил, ільменіт і лимоніт. Середній мінеральний склад (80 шліфів) пегматитів, %: гранат – 0,6, біотит – 3, мусковіт – 0,4, олігоклаз – 11, кварц – 25 і калішпат – 60.

Порода складається з великих (0,5–15 мм) порфіровидних включень ортоклаз-пертиту, олігоклазу та кварцу, що зцементовані більш дрібнозернистою кварц-польовошпатовою основною масою. В останній є поодинокі зерна біотиту, гранату та мусковіту.

Циркон (малакон) зафіксовано у вигляді діпірамідальних кристалів зональної будови в польових шпатах і біотиті. Ураніт спостережено у вигляді ідіоморфних (до 0,95 мм) зерен в калішпаті. Сульфідна мінералізація приурочена, в основному, до ділянок окварцювання породи.

Апогранітні метасоматити є найпізнішими утвореннями і представлені безрудними кварцитами та гранат-біотит-силіманітовими метасоматитами. Вони утворюються в зонах бластезу, катаклазу та тріщинуватості апліто-пегматоїдних гранітоїдів. Саме в останніх і наявна найбагатша уранова мінералізація.

Гранат-біотит-силіманітові метасоматити не є реліктами глиноземистих гнейсів (метапелітів), а належать до типових магнезійно-залізисто-глиноземистих метасоматитів, генетично пов'язаних з апліто-пегматоїдними гранітоїдами. В більшості випадків вони трапляються в зонах розгнейсування та катаклазу аплітів та пегматитів, хоча є й у двопольовошпатових гранітах та плагіомігматитах. Як правило, гранат-біотит-силіманітові метасоматити утворюють мікропрожилки (потужністю 0,1–0,5 мм), а також очкоподібні скупчення навколо порфіробластів ортоклаз-пертиту та гранату. В розгнейсованих гранітах містяться мікропрожилки силіманіту і зонки тріщинуватості (0,05–0,5 мм потужністю), що надає породі смугастий вигляд. Мікроскопічно структура цих порід катакlastична, лепідобластова та порфіробластова. Мінеральний склад залежить від складу порід, по яких розвиваються гранат-біотит-силіманітові метасоматити. Середній мінеральний склад магнезійно-залізисто-глиноземистих метасоматитів, що розвиваються по апліто-пегматоїдних двопольовошпатових гранітах, %: гранат – 1,5, біотит – 4, силіманіт – 9, калішпат – 22, плагіоклаз – 28, кварц – 35; вторинні: серицит – 0,5–3, графіт – од. з. – 5; акцесорні – монацит – од. з.; рудні – пірит, лимоніт. По аплітах і пегматитах – гранат – 4, біотит – 6, мусковіт, кордієрит, ставроліт – од. з., силіманіт – 9, плагіоклаз – 8, калішпат – 47, кварц – 25; вторинні – серицит – 0,5–5, хлорит – од. з., каолініт – од. з. – 3, графіт – од. з. – 10; акцесорні – апатит, циркон, монацит – од. з.; рудні – ураніт, настуран, уранова чернь, пірит, халькопірит, сфалерит, галеніт, молібденіт, самородний вісмут, вісмутин, оксиди вісмуту, анатаз-брукіт, арсенопірит, лимоніт.

Характерна особливість цих метасоматитів – високий вміст урану. Уранова мінералізація є в мікропрожилках і гніздоподібних скупченнях феримусковіт-гранат-біотит-силіманітового складу. Вища магнезійність гранату та біотиту і натровість плагіоклазу, ніж у первинних гранітах, є типовою ознакою ураноносності цих метасоматитів. Таким чином, уранова мінералізація формується в дві стадії. Перша – акцесорна мінералізація, представлена цирконом, монацитом і уранітом, яка формується на магматичній стадії кристалізації гранітного розплаву. Друга стадія пов'язана з процесами кислотного вилуговування на постмагматичному етапі. У ході руйнування акцесорних мінералів у зонах тектонічних деформацій уран виноситься у вигляді оксидів і осідає в магне-

Таблиця 1. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із апліто-пегматоїдного граніту Заваллівського U-TR-Th рудопрояву

Фракція мінералу	Вміст (ppm)		Ізотопні відношення					Вік, млн років			Дискордантність
	U	Pb	$^{206}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{208}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} / ^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$	
1 2053	7247	11448	21200	8,1327	0,24677	0,35179	5,9396	1943	1967	1992,3	2,5
2 2054	6472	9949	20200	8,1334	0,25068	0,34654	5,8490	1918	1954	1991,7	3,7
3 2055	7365	11295	16130	8,1713	0,24871	0,34358	5,7642	1904	1941	1980,9	3,9
4 2056	6525	10267	7674	8,1334	0,25057	0,35413	5,9246	1954	1965	1976,0	1,1
3а 2065	6522	9531	10700	8,1314	0,25513	0,33378	5,6081	1857	1917	1983,6	6,4
4а 2066	6684	10635	40680	8,2305	0,24626	0,35397	5,9198	1954	1964	1975,3	1,1

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 1990 млн років. 1–4 – розмірні фракції монациту, отримані шляхом скочування по нахиленій площині, найбільша – 1, найдрібніша – 4.

зіально-залізисто-глиноземистих метасоматитах, які є геохімічним бар'єром для рудовідкладення.

Радіогеохронологічні дані. Для визначення віку TR-Th-U зруденіння в породах Заваллівської ділянки ми досліджували монацит із апліто-пегматоїдного граніту, відібраного з керну свердловини 57-2, гл. 139,3 м.

Монацити утворюють в основному пампушкподібні кристали з поодинокими гранями і майже повністю заокругленими контурами. Колір – світло-жовтий (прозорі зерна), жовті, бурувато-жовті (напівпрозорі). Після промивання в слабкому розчині соляної кислоти їхня поверхня вкрилася білими кірочками.

Результати вимірювання вмісту урану, свинцю та ізотопного складу свинцю в різних розмірних фракціях монациту, отриманих шляхом скочування по нахиленій площині, наведено в табл. 1.

Для різних фракцій монациту отримано дискордантні (від практично конкордантного 1,1 до дискордантного 6,4) значення віку (табл. 1). При цьому розходження числових значень віку, за відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ складає 17 млн років (від

1992 до 1975 млн років), що значно перевищує аналітичну похибку (менша за 2 млн років). Це, вірогідно, обумовлено досить тривалим часом кристалізації монациту, або декількома, незначно розірваними в часі, етапами монацитоутворення.

Вік монациту, за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованої за даними, наведеними в табл. 1, складає 1982 ± 23 млн років (рис. 2). Середнє зважене значення віку за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – $1981,2 \pm 8,4$ млн років, яке ми і приймаємо за час кристалізації монациту. Аналогічний вік ($1980 \pm 1,7$ млн років) мають циркони із будинованої жили пегматиту, що розсікає продуктивну товщу Заваллівського графітового родовища [5].

Петрогеохімічні особливості та генезис TR-Th-U мінералізації. В табл. 2 наведено середній вміст елементів-домішок у різноманітних породах Заваллівської ділянки. За генетичними особливостями цих порід нами виділено дві групи елементів: 1 – Th, U, Bi, Mo, Pb; 2 – Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc. Перша – це елементи-індикатори TR-U-Th родовищ калій-уранової формації. Друга є характерною для метабазитів, дуже поширених серед метаморфічних порід, з якими тісно асоціюють плагіограніти. Обидві групи елементів виразно демонструють генетичні особливості всього комплексу порід. Розглянемо детальніше характер розподілу середнього вмісту Th, U, Bi, Mo, Pb в різних породах.

Торій. Найбільший вміст торію, що перевищує кларк УЩ удвічі, мають апліти та пегматити (№ 3) та апогнейсові мігматити (№ 5). У метаморфічних породах підвищений вміст торію (15–21 г/т) встановлений у графіт-біотитових плагіогнейсах (№ 9) та графіт-гранат-біотитових кристалосланцях. Вміст торію на рівні кларку відзначається в двопольовошпатових гранітах (№ 2) та

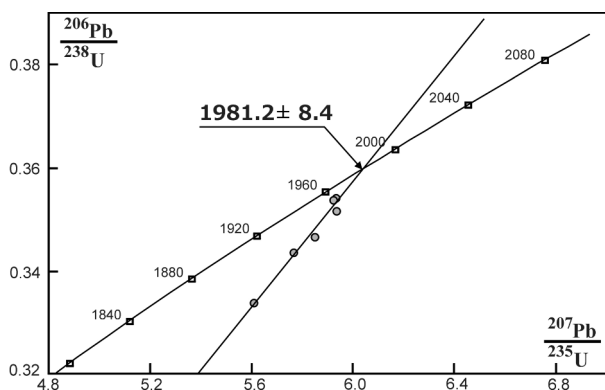


Рис. 2. Уран-свинцева діаграма з конкордією для монацитів із апліто-пегматоїдного граніту, проба 57-2

Таблиця 2. Середній вміст елементів-домішок у головних петротипах порід Заваллівського рудопрояву, г/т

Елемент	1	2 (30)	3 (61)	4 (42)	5 (4)	6 (7)	7 (2)	8 (6)	9 (7)	10 (5)	11 (5)	12 (16)	13 (13)	14 (2)	15 (4)
Th/U	5,6	2	2	0,3	5	3	1,3	0,9	2,7	6,4	1,6	0,9	1	0,7	1
Th	14	13	28	14	26	12	5	1	21	15	10	1	3	1	2
U	2,2	10,9	14,1	77	8	6,1	4	1,2	11,3	4,2	7,6	2,4	2,4	2	1,8
Ba	420	249	174	180	425	271	85	267	571	620	248	351	354	300	260
Sr	340	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Li	16	32	33	35	38	31	35	20	36	28	40	21	22	20	28
Ce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
La	27	33	36	37	30	33	30	30	36	30	30	30	30	30	30
Y	15	14	19	22	11	9	11	12	17	13	18	12	9	10	14
Yb	1,2	1,1	1,4	1,8	0,9	0,9	1	1,3	1,4	1,2	1,4	1,1	0,8	0,7	1,7
Ga	12	20	19	19	18	19	15	15	19	19	19	16	11	7	11
Ge	1,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	0,7	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	1,7
Cr	77	19	17	14	44	32	18	65	43	64	55	56	24	5	131
Ni	33	16	13	11	29	19	9	78	50	74	84	48	22	10	127
Co	13	7	5	5	18	14	15	48	33	38	24	39	12	3	61
Cu	28	32	30	24	46	33	25	32	46	46	68	40	24	1	16
Zn	44	41	29	32	48	43	175	92	109	58	102	64	34	20	70
V	34	18	13	10	43	39	34	103	46	68	96	111	43	9	96
Sc	8	4	5	6	5	8	6	25	8	10	9	19	6	3	5
P	490	580	613	590	400	529	700	333	529	460	500	369	362	300	400
Ti	1500	1317	1011	760	2025	1700	3000	2667	2643	2400	3600	2375	1569	350	1629
Mn	294	309	366	367	300	536	500	883	600	2340	660	1175	992	600	5525
Mo	0,8	1,3	1,5	1,3	1,2	1	0,9	0,7	2,1	1,6	0,8	0,9	0,8	0,7	1
Pb	20	34	29	29	31	27	8	6	14	23	12	5	7	3	9
Bi	0,009	2,81	3,88	4,19	2,6	7,69	4,35	0,7	1,34	9,8	2,62	1,11	0,82	0,7	0,7
Sn	1,5	1,4	1,5	1,3	1	1,4	3	1	1,5	1,3	2,9	1,5	1,6	0,7	1,4
As	1,7	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	78
Ag	0,07	0,08	0,11	0,09	0,07	0,07	0,14	0,07	0,1	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,1
Zr	70	122	126	165	158	96	105	125	190	210	150	146	93	55	220
Nb	20	9	9	10	9	8	9	8	9	9	17	7	7	7	8
Be	2	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3

Примітка: в дужках – кількість аналізів. 1 – кларк для порід УЩ [2, 3]; 2 – апліто-пегматоїдні двопольовошпатові граніти; 3 – пегматити і апліти мікроклінові; 4 – гранат-біотит-силіманітові метасоматити; 5 – мігматити апогнейсові; 6 – плагіограніти і плагіопегматити; 7 – кварцити апогранітні; 8 – амфіболіти і актиноліт-плагіоклазові кристалосланці; 9 – графіт-біотитові плагіогнейси; 10 – графіт-гранат-біотитові кристалосланці; 11 – гранат-біотитові плагіогнейси; 12 – актиноліт-діопсид-плагіоклазові ендоскарни; 13 – форстерит-діопсид-кальцитові екзоскарни; 14 – серпентин-доломітові мармури; 15 – залізисті магнетит-амфібол-гранатові скарни. Спектральні дослідження виконанов ЦАЛ КП "Кіровогеологія", аналітик К.В. Перебийніс.

плагіогранітах і плагіопегматитах (№ 6). В інших типах порід вміст торію значно нижче кларку.

Уран. У гранітоїдах, гранат-біотит-силіманітових метасоматитах та метапелітах встановлено високу концентрацію урану. В амфіболітах вміст урану значно нижчий від кларкового, а в скарнах – на рівні кларку. При цьому максимальний вміст урану, що перевищує кларк УЩ в 35 разів, встановлено в гранат-біотит-силіманітових метасоматитах, розвинутих по пегматитах та аплітах істотно мікроклінового складу. Високий вміст урану, що перевищує кларк УЩ в 2–5 разів, зафіксований у графітвмісних гнейсах та кристалослан-

цях, які первинно були вулканогенно-осадовими породами зі значним вмістом органіки.

Вісмут є характерним елементом для TR-U-Th родовищ калій-уранової формації. У всіх різновидах порід є в підвищеній кількості порівняно з кларком для земної кори, по А.П. Виноградову [1]. Найбільша концентрація вісмуту встановлена в гранітоїдах та апогранітних кварцитах, де його вміст коливається в межах від 2,6 до 7,69 г/т. Серед вмісних порід вісмутом збагачені метапеліти (1,34–9,8 г/т). Але найбільший вміст вісмуту встановлений у графіт-гранат-біотитових кристалосланцях (9,8 г/т). В амфіболітах, магнезальних і

Таблиця 3. Хімічний склад гранітоїдів Заваллівського рудопроєву

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	54,93	72,11	64,88	71,48	73,59	74,95	70,34	63,96	59,2	77,54	70,18	72,84	75,41	70,59
TiO ₂	1,31	0,03	0,25	0,1	0,14	0,01	0,17	0,37	0,13	0,03	0,11	0,09	0,05	0,05
Al ₂ O ₃	16,85	14,76	18,66	14,56	13,48	13,66	15,1	18,2	20,41	12,02	15,24	14,38	12,0	15,72
Fe ₂ O ₃	1,05	0,08	0,32	0,09	0,38	0,35	0,48	0,39	1,09	0,16	0,35	0,29	0,28	0,28
FeO	8,84	1,72	2,3	2,15	1,8	1,36	2,3	2,44	7,9	0,83	3,52	1,22	0,91	2,15
MnO	0,12	0,04	0,02	0,06	0,05	0,05	0,07	0,02	0,46	0,02	0,11	0,03	0,02	0,07
MgO	5,32	0,2	0,81	0,26	0,4	0,36	0,61	0,76	1,77	0,1	0,86	0,25	0,3	0,3
CaO	2,18	0,56	1,97	1,21	0,56	1,13	0,84	0,77	3,45	0,42	0,35	0,35	0,41	0,42
Na ₂ O	2,21	2,2	4,1	2,27	2,6	2,67	2,43	2,5	4,15	2,27	2,75	2,92	2,67	3,12
K ₂ O	4,87	7,5	5,88	6,88	6,26	4,58	7,2	9,62	0,71	5,72	5,34	6,9	6,85	6,36
P ₂ O ₅	0,04	0,08	0,1	0,05	0,09	0,04	0,06	0,06	0,08	0,09	0,09	0,11	0,08	0,12
CO ₂	0,05	0,11	0,05	0,14	0,05	<0,05	0,11	0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
S _{общ.}	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	<0,1	0,26	<0,1	<0,1
H ₂ O ⁻	0,11	0,11	0,1	0,14	0,02	0,1	0,12	0,09	0,09	0,1	0,02	0,1	0,1	0,1
П.п.п.	1,89	0,31	0,37	0,43	0,43	0,35	0,59	0,41	1,06	0,2	0,65	0,28	0,67	0,32
Сумма	99,87	99,91	99,91	99,92	99,95	99,76	100,52	99,74	100,65	99,68	99,72	100,07	99,9	99,75
U г/т	32	65	17	120	не виз.	72	20	54	50	285	337	196	290	27
Th г/т	185	8	208	26	не виз.	24	47	60	189	12	29	10	12	27

Примітка: 1 – гранат-біотитовий кристалосланець, що збагачений монацитом, св. 57-2, гл. 71,3 м; 2 – апліт, св. 57-2, гл. 119,4 м; 3 – апліто-пегматоїдний граніт двопольовошпатовий, св. 57-2, гл. 181,1 м; 4 – пегматит, св. 57-2, гл. 186,7 м; 5 – те ж саме, св. 57-2, гл. 188,5 м; 6 – те ж саме, св. 57-2, гл. 190,6 м; 7 – те ж саме, св. 57-2, гл. 191,4 м; 8 – апліт, св. 57-2, гл. 198,0 м; 9 – монацитоносний гранатвмісний плагіомігатит, св. 57-2, гл. 199,1 м; 10 – пегматит з урановою мінералізацією в мусковіт-біотит-силіманітових прожилках, св. 57-3, гл. 83,9 м; 11 – те ж саме, св. 57-3, гл. 93,7 м; 12 – катаклазований пегматит з урановою мінералізацією, св. 57-3, гл. 131,3 м; 13 – те ж саме, св. 57-3, гл. 138,9 м; 14 – пегматит з акцесорною Th-TR-U мінералізацією, св. 57-3, гл. 154,5 м. Аналізи № 1–14 виконані в ЦЛ КП "Кіровогеологія", аналітик С.П. Модленко.

залістих скарнах зафіксована найнижча концентрація вісмуту (0,7–1,11 г/т).

Молібден, як і вісмут, є елементом-індикатором TR-U-Th зруденіння в гранітоїдах. У кількості, що перевищує кларк УЩ, він є в гранітоїдах та метапелітах. В амфіболітах, магнезійних та залістих скарнах його кількість – на рівні кларку. Але найбільш вміст молібдену (1,5 г/т) встановлений у пегматитах та аплітах істотно мікроклінових. Необхідно відзначити, що найбільш високий вміст молібдену (1,6–2,1 г/т) встановлено в графітвмісних гнейсах та кристалосланцях. Як відомо [6], найбільш високий вміст молібдену характерний для осадових порід, які мають значну домішку органогенного матеріалу. В сучасних умовах молібден накопичується в листі різних дерев.

Свинець. У понадкларковій концентрації є в гранітоїдах та графіт-гранат-біотитових кристалосланцях. Вміст свинцю в породах тісно пов'язаний з вмістом торію і урану і, як правило, має радіогенну природу.

Апліто-пегматоїдні граніти характеризуються однаковим типом розподілу U, Th, Bi, Mo, Pb. Винятком є гранат-біотит-силіманітові метасомати

(№ 4). В останніх на фоні різкого підвищення концентрацій U, Bi, Mo, Pb спостерігається понижений вміст торію (до рівня кларку УЩ). Цей факт пояснюється тим, що уранова мінералізація в гранат-біотит-силіманітових метасоматитах утворюється за рахунок руйнування первинного акцесорного монациту пегматитів та аплітів та вилуговування з нього урану, що звичайно і призводить до зменшення в них кількості торію.

За петрохімічними особливостями (табл. 3) торієносні апліто-пегматоїдні двопольовошпатові граніти і плагіомігатити відрізняються від ураноносних аплітів і пегматитів нижчим вмістом SiO₂ і K₂O, і вищим – Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O. Для ураноносних гранат-біотит-силіманітових метасоматитів, що розвиваються по аплітах та пегматитах, виявлені такі мінералогічні закономірності (табл. 4–6): 1) збільшення анітового та істонітового компонентів у біотиті ($f_{\text{ср.}}=5,28\%$, $al_{\text{ср.}}=26,61\%$); 2) збільшення піропового та спескартинового компонентів в альмандині; 3) пониження основності плагіоклазу з № 20–23 (пегматити) до № 11 (в ураноносних метасоматитах); 4) присутність більш пізнього гратчастого мікрокліну,

Таблиця 4. Хімічний склад слюд

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	35,86	34,67	34,12	35,67	36,38	36,51	36,84	39,18	40,99	34,56	35,67	35,12	35,82	42,03	40,95
TiO ₂	2,78	1,98	3,08	3,92	3,56	1,62	1,24	1,69	1,05	2,67	2,89	3,11	3	—	—
Cr ₂ O ₃	—	—	0,04	0,01	0,02	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	16,81	17,24	19,29	17,87	18,72	18,47	18,16	20,17	30,64	20,01	18,43	18,76	18,57	18,86	19,18
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	4,41	—	—	—	—	—	—
FeO	20,16	19,26	17,28	17,9	19,31	17,78	17,4	16,97	—	17,65	18,8	17,72	19,4	1,83	1,81
MnO	0,19	0,07	0,04	0,08	0,12	0,07	0,05	0,08	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05	0,08	0,06
MgO	9,58	9,14	5,16	6,11	7,7	8,22	8,67	10,03	0,49	5,02	6,49	6,44	6,79	22,13	20,84
CaO	—	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,07	0,01	0,02	0,02	—	0,01	0,02	0,05
Na ₂ O	0,14	0,25	—	—	—	—	—	—	—	0,01	0,07	0,02	0,18	—	—
K ₂ O	9,46	9,28	9,1	9,4	9,95	9,69	9,7	10,19	10,7	9,09	9,43	9,38	9,4	11,05	10,74
Si	2,811	2,812	2,934	2,986	2,865	2,948	2,975	2,929	3	2,939	2,933	2,926	2,903	2,976	2,978
Al	1,189	1,188	1,066	1,014	1,135	1,052	1,025	1,071	1	1,061	1,067	1,074	1,097	1,024	1,022
Ti	0,164	0,121	0,199	0,246	0,211	0,098	0,075	0,097	0,058	0,171	0,179	0,195	0,183	—	—
Al	0,364	0,46	0,89	0,74	0,603	0,706	0,704	0,753	1,643	0,946	0,719	0,769	0,677	0,55	0,623
Fe ³⁺	—	—	—	—	—	—	—	—	0,243	—	—	—	—	—	—
Fe ²⁺	1,339	1,306	1,243	1,247	1,272	1,201	1,175	1,041	—	1,255	1,292	1,235	1,315	0,108	0,11
Mn	0,013	0,005	0,003	0,005	0,008	0,005	0,003	0,005	0,002	0,002	0,002	—	0,003	0,005	0,003
Mg	1,12	1,106	0,662	0,759	0,904	0,989	1,044	1,099	0,053	0,636	0,796	0,8	0,82	2,336	2,26
Ca	—	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	—	0,005	0,001	0,001	0,002	—	0,001	0,001	0,004
Na	0,021	0,039	—	—	—	—	—	—	—	0,001	0,011	0,003	0,028	—	—
K	0,997	0,959	0,998	0,998	1	0,998	0,999	0,997	0,998	0,986	0,989	0,997	0,972	0,998	0,997
f	54,45	54,14	65,25	62,16	58,45	54,84	52,95	48,64	—	66,37	61,88	60,69	61,59	4,42	4,64
a	22,76	23,98	28,78	26	25,64	25,49	24,97	26,46	—	29,35	26,24	27,09	26,04	22,5	23,52

Примітка: тире – не виявлено. 1, 2 – біотит з пегматиту, св. 57-2, гл. 127,5 м; 3–5 – біотит із розгнейсованого пегматиту, св. 57-3, гл. 93,7 м; 6–8 – біотит мусковіт-силіманіт-гранат-біотитових прожилків розгнейсов. пегматиту (із TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 93,7 м; 9 – феромусковіт із мусковіт-силіманіт-гранат-біотитового прожилку (із TR-Th-U мінералізацією) в розгнейсов. пегматиті, св. 57-3, гл. 93,7 м; 10–13 – біотит із катаклазованого пегматиту (із TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 131,3 м; 14–15 – флогопіт із діопсид-плагіоклаз. ендоскарну, св. 57-3, гл. 320,6 м. Аналізи в табл. 4–8 виконані на мікрорентгеноспектральному аналізаторі JСХА-5 в ІГМР ім. М.П. Семененко НАН України, аналітик І.М. Бондаренко.

Таблиця 5. Хімічний склад польових шпатів

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	64,86	65,22	64,77	65,95	65,4	65,61	65,29	65,05	62,83	62,02	64,99	46,59	46,98
Al ₂ O ₃	18,35	18,37	18,31	18,65	18,48	18,52	18,46	18,43	23,15	22,37	21,85	33,73	33,98
Na ₂ O	0,96	—	0,02	0,01	0,06	0,07	0,03	0,02	8,84	9,08	10,32	2,19	1,68
K ₂ O	15,48	17	16,86	17,22	16,99	17,05	17,01	16,95	0,16	0,05	0,03	—	0,01
CaO	0,06	—	0,04	—	—	0,01	—	0,06	4,85	4,12	2,41	16,18	17,26
FeO	0,02	—	0,01	—	—	—	—	0,01	—	0,07	—	—	—
Si	3	3,001	3	3	3	3	3	3	2,789	2,807	2,866	2,158	2,159
Al	1,001	0,997	1	1	1	0,998	1	1,002	1,211	1,193	1,136	1,842	1,841
Na	0,086	—	0,002	0,001	0,005	0,006	0,003	0,002	0,761	0,797	0,882	0,197	0,15
K	0,914	0,998	0,997	0,999	0,995	0,994	0,997	0,998	0,009	0,003	0,001	—	—
Ca	0,003	—	0,002	—	—	—	—	0,003	0,23	0,2	0,114	0,803	0,85
Fe	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,002	—	—	—

Примітка: тире – не виявлено. 1 – ортоклаз із пегматиту, св. 52-2, гл. 127,5 м; 2–4 – мікроклін із розгнейсованого пегматиту (із TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 93,7 м; 5–6 – мікроклін із катаклазованого пегматиту (із TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 131,3 м; 7 – мікроклін із катаклазованого пегматиту (із TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 155,5 м; 8 – мікроклін із ураноносної зони біотитизації у контакті граніту з діопсид-плагіоклазовим ендоскарном, св. 57-3, гл. 320,6 м; 9–10 – олігоклаз із пегматиту, св. 57-2, гл. 127,5 м; 11 – олігоклаз (№ 11) в безпосередньому контакті з урановою черню (розгнейсований пегматит із TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 93,7 м; 12–13 – бітовніт із діопсид-плагіоклазового ендоскарну, св. 57-3, гл. 320,6 м.

Таблиця 6. Хімічний склад гранатів

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	35,98	36,13	36,49	35,81	36,39	35,72	35,93	35,47	37,23	36,9	37,22	37,97	37,96	38,47
TiO ₂	—	0,01	0,02	0,01	—	0,01	—	—	0,02	0,01	—	0,03	0,01	0,04
Cr ₂ O ₃	0,01	0,04	0,01	0,01	—	—	0,04	—	—	—	—	0,03	0,03	—
Al ₂ O ₃	20,35	20,41	20,63	20,28	20,6	20,23	20,29	20,04	21,04	20,88	21,02	21,45	21,45	21,72
FeO	32,49	34,39	32,52	33	32,56	33	31,94	31,86	31,98	35,03	28,95	18,31	18,8	16,74
MnO	2,06	2,25	3,39	4,12	4,02	3,83	4,37	3,71	4,4	3,41	11,41	13,38	12,97	15,24
MgO	4,29	3,15	3,78	2,89	3,27	3,12	3,45	3,72	4,08	2,7	1,9	3,94	4,09	3,86
CaO	0,64	0,72	0,63	0,41	0,84	0,26	0,37	0,14	0,63	0,67	0,47	5,12	4,86	5,41
Si	3	3	3	2,998	2,998	2,997	2,998	2,998	3,001	2,998	3,001	2,998	2,997	3,001
Al	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	2	1,998	2	2,001	2,001	2,001	1,996	1,997	1,999	2	1,998	1,996	1,997	1,998
Ti	—	—	0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	0,002	—	0,002
Cr	—	0,001	—	—	—	—	0,002	—	—	—	—	0,002	0,002	—
Fe ²⁺	2,265	2,388	2,236	2,31	2,244	2,315	2,229	2,252	2,156	2,38	1,952	1,209	1,241	1,092
Mn	0,145	0,158	0,236	0,292	0,281	0,272	0,309	0,266	0,3	0,235	0,779	0,895	0,867	1,007
Mg	0,533	0,39	0,463	0,361	0,401	0,39	0,429	0,469	0,49	0,327	0,228	0,463	0,481	0,449
Ca	0,057	0,064	0,055	0,037	0,074	0,023	0,033	0,013	0,054	0,058	0,041	0,433	0,411	0,452
Пир	17,7	13	15,4	12	13,4	13	14,3	15,6	16,3	10,9	7,6	15,4	16	15
Алм	75,5	79,6	74,5	77	74,8	77,2	74,3	75,1	71,9	79,3	65,1	40,3	41,4	36,4
Гросс	1,9	2,1	1,8	1,3	2,5	0,7	10,3	0,4	1,8	1,9	1,4	14,4	13,7	15
Спес	4,8	5,3	7,9	9,7	9,4	9,1	1,1	8,9	10	7,8	26	29,8	28,9	33,6

Примітка: тире – не виявлено. 1–3 – альмандін із кордіерит-силіманіт-гранатового метасоматиту, св. 57-3/15; 4–7 – альмандін із розгнейсованого пегматиту з TR-Th-U мінералізацією, св. 57-3, гл. 93,7 м; 8, 9 – альмандін в безпосередньому контакті з урановою черню (розгнейсований пегматит з TR-Th-U мінералізацією), св. 57-3, гл. 93,7 м; 10 – альмандін із катаклазованого пегматиту з TR-Th-U мінералізацією, св. 57-3, гл. 131,3 м; 11 – альмандін із ураноносної зони біотитизації в контакті граніту з діопсид-плагіоклазовим ендоскарном, св. 57-3, гл. 320,6 м; 12–14 – піральспесартиновий гранат з високим вмістом гросулярового компоненту (гранатовий скарн), св. 57-6, гл. 175,2 м.

Таблиця 7. Хімічний склад монациту

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	1,43	0,95	0,98	0,48	1,62	2,71	0,92
TiO ₂						0,01	0,01
Al ₂ O ₃						0,08	0,04
MnO					0,03	0,04	0,05
FeO	—	0,62	0,07	0,31	0,28	0,25	0,61
PbO	0,56	0,49	0,71	1,04		0,24	0,4
UO ₂	0,89	0,93	1,09	1,57	4,23	0,73	0,65
ThO ₂	7,46	8,14	7,92	4,86	16,85	7,63	8,44
CaO	1,37	1,24	1,51	1,39	4,23	2,43	1,17
P ₂ O ₅	29,76	30,18	28,93	28,43	28,76	28,96	27,62
Ce ₂ O ₃	24,95	25,28	25	26,62	18,86	25,07	26,29
Y ₂ O ₃	1,47	1,21	1,35		3,95	1,86	1,32
La ₂ O ₃	11,23	11,48	12,16	15,11	5,74	11,56	11,84
Nd ₂ O ₃	11,04	10,83	11,12		8,59		
Pr ₂ O ₃	2,95	3,06	3,1				
Sm ₂ O ₃	2,32	2,45	2,19		2,7		
GdO					3,07	—	—
Сумма	95,43	96,86	96,13	79,81	98,91	81,57	79,36

Примітка: порожньо – не визначалося, тире – не виявлено. 1–3 – апліто-пегматоїдний двопольовошпатовий граніт, св. 57-2, гл. 235,4 м; 4 – те ж саме, св. 57-6, гл. 227,0 м; 5 – розгнейсований і катаклазований пегматит з TR-Th-U мінералізацією, св. 57-3, гл. 131,3 м; 6, 7 – те ж саме, св. 57-3, гл. 93,7 м.

Таблиця 8. Хімічний склад уранініту (ан. 1–10), настурану (ан. 11, 12) та уранової черні (ан. 13–16)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	1,01	0,76	2,37	0,04	0,03	—	—	0,03	0,04	0,38	—	0,08	0,16	1,42	2,08	1,81
PbO	11,95	11,4	12,1	13,43	14,29	14,59	14,32	13,74	15,42	14,16	2,76	3,17	0,01	—	0,01	—
UO ₂	73,97	74,34	72,63	82,61	82,06	77,89	78,95	81,77	80,65	82,01	90,02	88,95	89,74	82,42	86,15	81,05
ThO ₂	7,6	8,52	8,07	1,83	1,15	4,36	3,26	2,83	3,52	3,39	0,49	0,93	0,23	0,46	0,38	0,32
ZrO ₂											0,87	1,11	1,86	0,29	0,21	0,4
CaO	1,42	2,76	2,55	1,25	0,47	1,3	1,61	1,23	1,64	1,08	2,86	0,3	2,76	1,64	1,97	2,08
P ₂ O ₅				0,49	0,24			0,03	0,24	0,42	0,19	0,3	1,75	2,45	2,19	1,83
Ce ₂ O ₃	0,69	2,76	2,55		0,2									—	—	—
Y ₂ O ₃	1,41	1,12	1,34		0,23									0,06	0,12	0,1
Al ₂ O ₃														0,01	0,01	—
BaO														—	—	—
MnO	0,3	0,23	0,52											0,36	0,29	0,33
FeO	0,64	0,53	0,68	0,35				0,26	0,05	0,06	0,64	0,78	1,23	0,72	0,96	0,27
SO ₃														0,08	—	0,05
Сума	98,99	102,42	102,81	100	98,67	98,14	98,14	99,89	101,56	101,5	97,83	97,74	97,74	89,91	94,37	88,24

Примітка: порожньо – не визначалося, тире – не виявлено. 1–3 – катаклазований пегматит з TR-Th-U мінералізацією, св. 57-3, гл. 131,3 м (релікти серед фосфатів); 4, 11–16 – розгнейсований пегматит з TR-Th-U мінералізацією, св. 57-3, гл. 93,7 м (уранініт заміщується настураном); 5 – катаклизит по пегматиту з хлорит-мусковіт-силіманіт-біотитовими прожилками, що містять уранову мінералізацію, св. 57-6, гл. 233,9 м; 6, 7 – розгнейсований пегматит, св. 57-2, гл. 127,5 м (уранініт з включеннями галеніту); 8–10 – кордієрит-силіманіт-гранатовий метасоматит (по пегматиту), св. 57-3/15.

що заміщує олігоклаз; 5) наявність феримусковіту в ураноносних гранат-біотит-силіманітових мікропрожилках; 6) високий вміст ThO₂ (16,85 %), UO₂ (4,23 %) і низький Ce₂O₃ (18,86 %) в монациті і відсутність свинцю; 7) присутність уранініту II з низьким вмістом ThO₂ (1,15–1,83 %), а також настурану і молоді уранової черні; 8) наявність піриту II та сфалериту.

Рудна мінералізація. Рудна мінералізація в породах Заваллівської ділянки представлена такими генетичними типами: 1) оксидна (ільменіт, рутил, сфен, лімоніт); 2) сульфідна (пірит, піро-

тин, пентландит, халькопірит, кубаніт, галеніт, сфалерит, молібденіт); 3) арсенідна (нікелін, герсдорфіт, арсенопірит); 4) вісмутова (самородний вісмут, вісмутин, оксиди вісмуту); 5) рідкісноземельно-торій-уранова (монацит, циркон, уранініт, настуран, уранова чернь).

Рідкісноземельно-уран-торієва мінералізація на Заваллівській ділянці формувалася як під впливом ендегенних процесів, пов'язаних з гранітизацією метаморфізованих вулканогенно-осадових товщ і утворення ранньої (акцесорної) рідкісноземельно-торієвої мінералізації, так і пізніших накладених

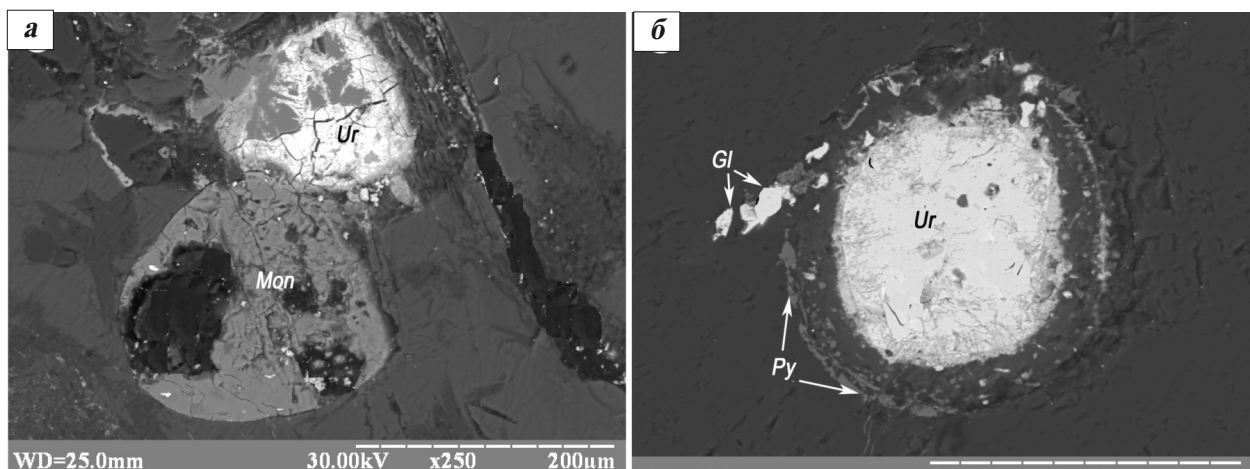


Рис. 3. Мікрофотографії уранініту 1 + монацит 2: а – зростки заокруглених тріщинуватих агрегатів монациту (Mon) та уранініту (Ur), св. 57-3, гл. 93,7 м. Електронний мікроскоп, режим відбитих електронів; б – уранініт 1 з характерними облямівками, в яких присутній галеніт (Gl) і пірит (Py), св. 57-3, гл. 93,7 м

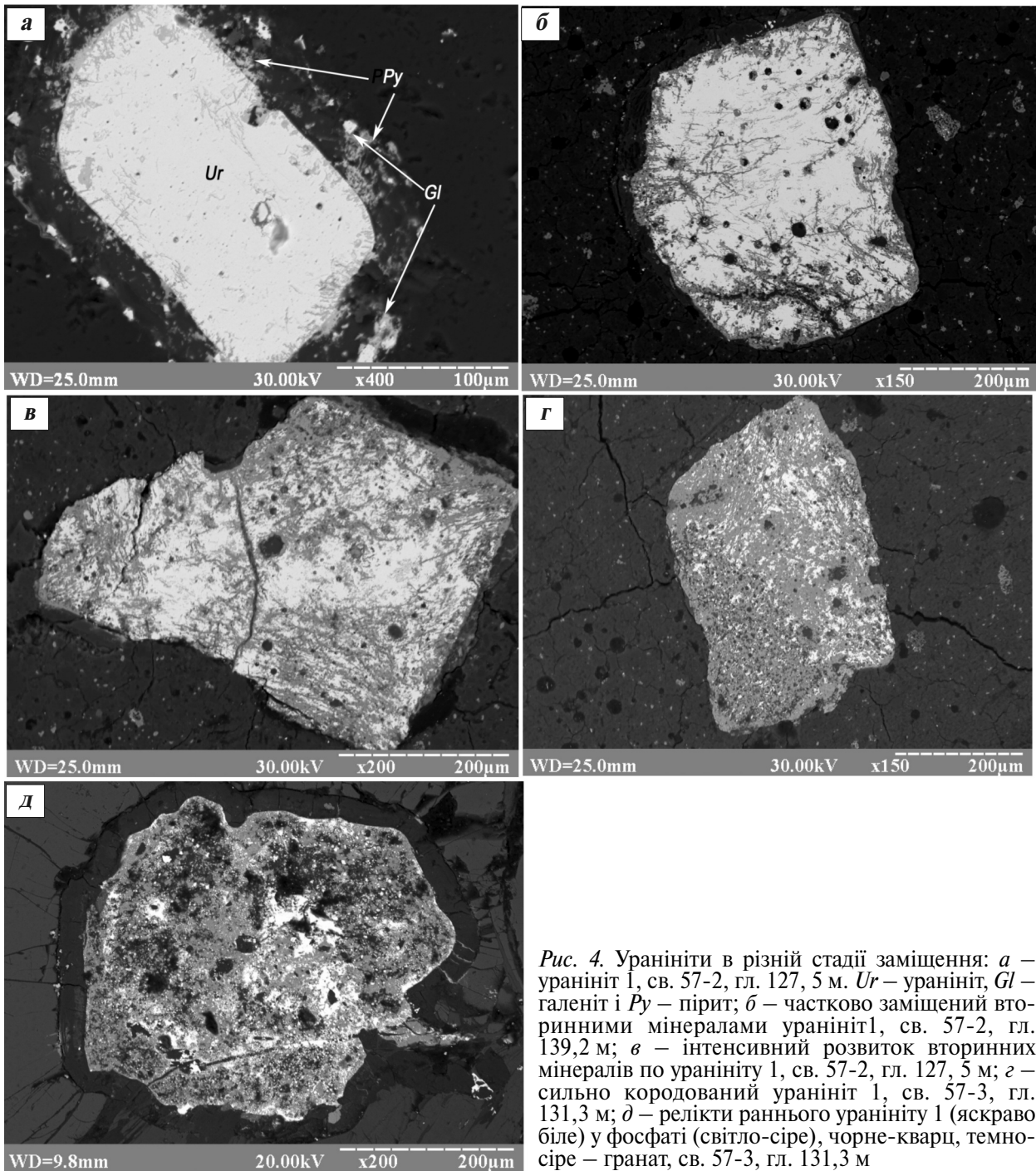


Рис. 4. Уранініти в різній стадії заміщення: а – уранініт 1, св. 57-2, гл. 127, 5 м. *Ur* – уранініт, *Gl* – галеніт і *Py* – пірит; б – частково заміщений вторинними мінералами уранініт1, св. 57-2, гл. 139,2 м; в – інтенсивний розвиток вторинних мінералів по уранініту 1, св. 57-2, гл. 127, 5 м; г – сильно кородований уранініт 1, св. 57-3, гл. 131,3 м; д – релікти раннього уранініту 1 (яскраво біле) у фосфаті (світло-сіре), чорне-кварц, темно-сіре – гранат, св. 57-3, гл. 131,3 м

процесів. Найбільш пізня уранова мінералізація відзначається в магнезійно-залізисто-глиноземистих метасоматитах, приурочених до зон тріщинуватості і катаклазу апліто-пегматоїдних двошовшпатових гранітів, пегматитів та аплітів.

Рання рідкісноземельно-торієва мінералізація (монацит 1 + циркон 1) характерна для гранатбіотитових гнейсів, апліто-пегматоїдних двошовшпатових гранітів та плагіогранітів. Більш пізня TR-U-Th мінералізація (монацит 2 + циркон 2 + уранініт 1) приурочена до пегматитів та

аплітів. Наймолодша TR-Th-U мінералізація (монацит 3 + уранініт 2 + настуран + уранова чернь) утворюється в зонах розгнейсування та тріщинуватості апліто-пегматоїдних гранітоїдів, пегматитів і аплітів.

Монацит є характерним рідкоземельним мінералом як гранітоїдних, так і метаморфічних утворень. Виділяються три генерації монациту. Монацит 1 (табл. 7, ан. 1–4) трапляється в метапелітах і ультраметаморфічних двошовшпатових гранітах як акцесорний мінерал. Середній вміст

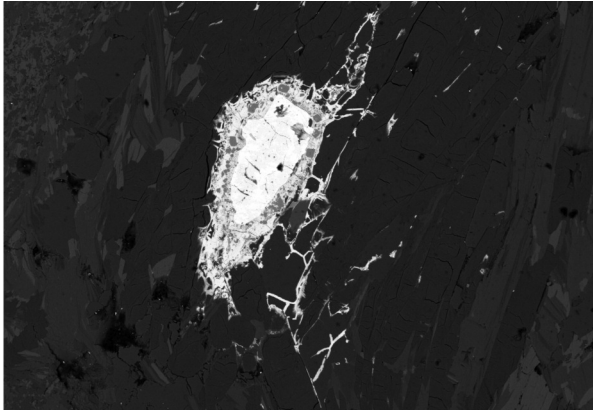


Рис. 5. Сітчато-прожилкове виділення уранової черні навколо уранініт 2 – настуранових агрегатів (світла центральна частина), св. 57-3, гл. 93,7 м

(з чотирьох аналізів) в ньому ThO_2 складає 7,09 %, а UO_2 відповідно 1,12 %. Монацит 1 відзначається в асоціації з цирконом 1. Монацит 2 (табл. 7, ан. 6, 7) є в аплітах та пегматитах, які характеризуються суттєво калієвим складом (рис. 3). Тут він відзначається в асоціації з цирконом 2 і уранінітом 1. За хімічним складом він відрізняється від ранньої генерації (монацит 1) вищим вмістом (середнє з двох визначень) ThO_2 (8,03 %) і низьким вмістом UO_2 (0,69 %).

Наймолодша генерація – монацит 3 (табл. 7, ан. 5) характеризується найвищим вмістом ThO_2 (16,85 %), UO_2 (4,23%) і низьким Ce_2O_3 (18,86 %). Монацит 3 асоціює з уранінітом 2, настураном та урановими чернями і наявний в зонах катаклазу і тріщинуватості аплітів і пегматитів. Монацит спостерігається у вигляді округлих та ідіоморфних зерен, приурочених до виділень біотиту, рідше зафіксований у польових шпатах. Розміри найбільших зерен монациту досягають 0,8–1,5 мм в поперечнику.

Циркон як акцесорний мінерал, присутній у всіх різновидах порід – метаморфічних, ультраметаморфічних, магматичних та метасоматичних. Залежно від типу породи, циркони в них різні за морфологічними особливостями та внутрішньою будовою окремих зерен. За хімічним складом виділяється циркон 1 і циркон 2. Ранній циркон характерний для ультраметаморфічних аплітопегматоїдних двопольовошпатових гранітів, а пізній – для січних тіл аплітів та пегматитів.

Уранініт (табл. 8) наявний у вигляді двох генерацій. Уранініт 1 є характерним акцесорним мінералом аплітів та пегматитів, де асоціює з цирконом 2 і монацитом 2. Уранініт 2 утворюється в зонах розгнейсування та катаклазу гранітів в асоціації з монацитом 3, настураном і урановою черню.

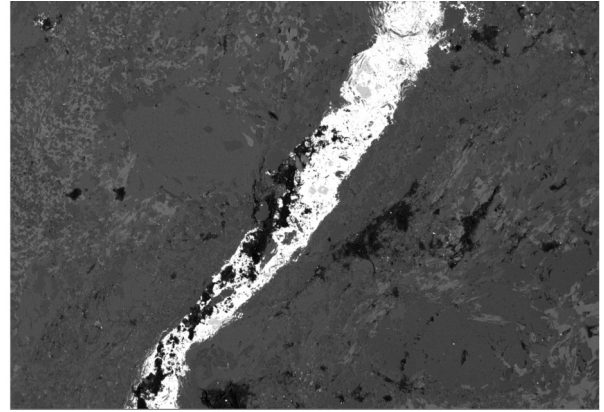


Рис. 6. Прожилкове виділення уранової черні в зоні біотитизації. Електронний знімок. св. 57-3, гл. 93,7 м

Уранініт 1 найбільш рання генерація, має вигляд реліктів (рис. 3, 4). Спостерігається у вигляді дрібних (0,04–0,1 мм) округлих зерен, оточених характерними плеохроїчними дворічками. В безпосередньому контакті з уранінітом змінюється забарвлення породоутворювальних мінералів і спостерігаються структури радіального розтріскування. В ореолах радіоактивної дії інтенсивно розвивається пірит. У хімічному складі уранініту 1 (табл. 8, ан. 1–3, 6, 7) підвищений вміст ThO_2 (6,36 %, середнє із п'яти аналізів).

Уранініт 2 пов'язаний з більш пізніми процесами магнезійно-залізисто-глиноземистого метасоматозу гранітоїдів. У зонах катаклазу та тріщинуватості гранітів утворюються хлорит-мусковіт-силіманіт-біотитові та кордієрит-силіманіт-гранатові метасоматити з контрастною Th-TR-U мінералізацією. Уранініт утворює тут субідіоморфні зерна, що містять дрібну вкрапленість галеніту.

Уранініт 2 (рис. 5), вірогідно, утворився у ході перекристалізації більш раннього уранініту 1, з якого деяка частина винесеного радіогенного свинцю зафіксувалася у вигляді галеніту. Встановлено чисельні факти заміщення уранініту 2 не ідентифікованими фосфатами торію і рідкісноземельних елементів типу рабдофаніту. На рис. 4 проілюстрована динаміка прогресивної інтенсивності заміщення уранініту в різних ситуаціях. У деяких зернах кількість фосфатів може досягати 30–40 % від уранової матриці. Причому є великі (30–55 мкм в поперечнику) і дрібні, до субмікроскопічних, включення. Зазначимо, що уранініт 2 містить значно менше ThO_2 (2,54 %, середнє із п'яти аналізів).

Настуран (табл. 8) встановлений у складних зростках з уранінітом 2 та урановою черню

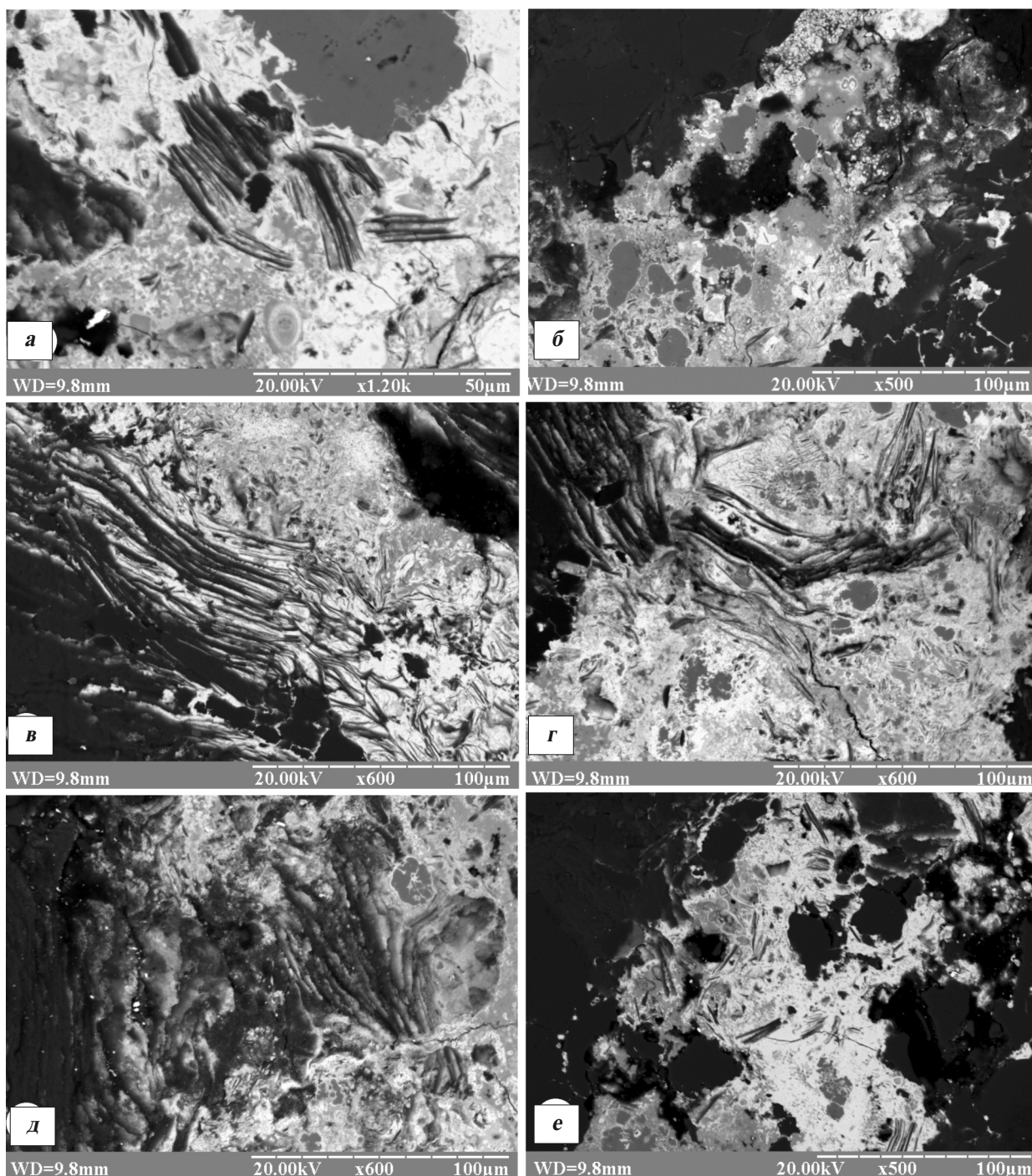


Рис. 7. Уранова чернь (яскраво біле) складні проростання із сульфідно-гідрослюдястими агрегатами. Електронний знімок. Св. 57-3, гл. 93,7 м

(рис. 5). За інтенсивності забарвлення настуран у відбитому світлі займає проміжне положення між уранінітом і урановою черню. В мінералі спостерігається характерний елемент внутрішньої будови – тріщинуватість усихання. В хімічному складі мінералу встановлені характерні для нього елементи-домішки PbO (2,76–3,17 %), ThO₂ (0,49–0,93 %), CaO (2,42–2,86 %), P₂O₅ (0,19–0,30 %), ZrO₂ (0,87–1,11 %) і FeO (0,64–0,78 %).

Уранова чернь (табл. 8) утворюється в зонах катаклазу і тріщинуватості апліто-пегматоїдних гранітів у гіпергенних умовах. Епігенетична ураново-чернієва мінералізація має форму прожилково-тріщинних виділень – тонкі прожилкові-сітчасті утворення і мікропрожилки (рис. 6, 7). Часто наявні складні виповнення міжзернового простору, цемент уламків кварцу та польових шпатів та півки в дзеркалах ковзання. Уранова чернь є у

вигляді складних зрощень із мусковітом, хлоритом, силіманітом, гідрослюдами, сульфідами та каолінітом. Рідше спостерігається гніздоподібний характер виділень у пустотах вилуговування породи. Довжина прожилків уранової черні досягає декількох сантиметрів (рис. 6) при товщині не більше 1 мм. Часто встановлюється просторовий зв'язок уранової черні з піритом, рідше зі сфалеритом. Співвідношення між оксидами урану і дисульфідом заліза, що спостерігаються у відбитому світлі, найрізноманітніші – від переважання тіїї або іншої фази до їх кількісної рівності. Сфалерит фіксується рідко, ще рідше – галеніт і халькопірит. У полірованих шліфах колір оксиду урану сірий, часто неоднорідний з низькою відбивною здатністю (5–10 %), що робить його практично невиразним на фоні породоутворювальних мінералів.

Розсіяна тонкодисперсна мінералізація урану не завжди точно діагностується навіть за допомогою мікрозондового аналізу. Найбільш ефективним є застосування електронної мікроскопії, що дозволяє одержувати найбільш достовірну інформацію.

Висновки. 1. Вік рудоносних апліт-пегматоїдних гранітів Заваллівського рудопрояву, що визначений за ізотопним відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в монациті, становить $1981,2 \pm 8,4$ млн років. Аналогічний вік ($1980 \pm 1,7$ млн років) мають циркони із будинованої жили пегматиту, що перетинає продуктивну товщу Заваллівського графітового родовища.

2. За петрохімічними особливостями торієносні апліто-пегматоїдні двопольовошпатові граніти відрізняються від ураноносних аплітів і пегматитів нижчим вмістом SiO_2 і K_2O , і вищим – Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O .

3. Встановлено, що ураноносні гранат-біотит-силіманітові метасоматити не є метапелітами, а утворюються в результаті магнезійно-залізо-сто-глиноземистого метасоматозу в зонах катаклазу і тріщинуватості апліто-пегматоїдних гранітів, аплітів та пегматитів. Для цих метасоматитів характерний високий вміст ThO_2 (16,85 %), UO_2 (4,23 %) і низький Ce_2O_3 (18,86 %) в монациті, відсутність свинцю і присутність уранініту II з низь-

ким вмістом ThO_2 (1,15–1,83 %), а також настурану і молодій урановій черні.

4. Мінералого-петрографічні та рудно-геохімічні результати досліджень TR-U-Th мінералізації вказують на полістадійний характер її формування. Перша стадія – утворення ультраметаморфічних порід (плагіомігматитів та двопольовошпатових гранітів), збагачених монацитом за рахунок гранітизації торієносних метапелітів. Встановлено підвищений вміст торію в метапелітах (10–21 г/т), в двопольовошпатових гранітах (13 г/т) та апогнейсових мігматитах (26 г/т). Друга стадія – утворення січних тіл аплітів та пегматитів кремнієво-калієвої формації, для яких характерними акцесорними мінералами є циркон, монацит і уранініт, з підвищеним вмістом у них торію (28 г/т) та урану (14 г/т). Третя стадія, власне уранова, утворюється в зонах розгнейсування, катаклазу та тріщинуватості аплітів та пегматитів і довколишніх їх двопольовошпатових гранітів. У цих зонах відбувається руйнування акцесорних мінералів під впливом постмагматичних розчинів, що виділяються у ході охолодження інтрузивних аплітів та пегматитів і винесення з них урану, який фіксується в гранат-біотит-силіманітових метасоматитах, що мають високий окисно-відновний потенціал. Уранова мінералізація тут представлена уранінітом 2, настураном і урановою черню. Останні характерні для зон катаклазу та тріщинуватості апліт-пегматоїдних гранітів і є найпізнішими утвореннями, пов'язаними з процесами гіпергенних змін у приповерхневих умовах. Відсутність у складі уранової черні домішок радіогенного свинцю, слабкий ступінь їх розкристалізації та присутність каолініту вказує на дуже молодший вік уранової черні мінералізації. Всі ці факти свідчать, що TR-U-Th мінералізація в гранітоїдах Заваллівського рудопрояву має полістадійний і регенераційний характер.

Автори вдячні В.М. Сергієнку, В.І. Погукаю, Б.Н. Іванову, Т.Ю. Платоновій за надання геологічного та кам'яного матеріалу; І.М. Бондаренку – за мікрозондові, О.А. Вишневіському – за електронно-мікроскопічні, К.В. Перебийніс – за спектральні, О.Б. Висоцькому та Т.І. Довбуш – за ізотопно-геохронологічні дослідження.

Література

1. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
2. Геологическая карта кристаллического основания Украинского щита. М-б 1 : 500000. – Киев, 1983. – 101 с.

3. Егоров Ю.П., Тихоненко В.А. Химические составы пород, региональные кларки и геохимические фоны элементов Украинского щита. – Киев, 1981. – 2 с.
4. Карли З.В., Карли В.Е., Сьомка В.О. Нові рудопрояви калій-уранової формації у Дністровсько-Бузькому мегаблоці УШ // Сборник научных трудов *SWorld*. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – 32, № 1. – С. 10–17.
5. Степанюк Л.М. Последовательность проявления геологических процессов в породах бугской серии (Среднее Побужье) // Минерал. журн. – 1999. – 21, № 5/6. – С. 86–92.
6. Студенникова З.В. Молибден и вольфрам в осадочных и метаморфических породах // Геохимия молибдена и вольфрама. – М.: Изд-во Наука, 1971. – С. 97–116.
7. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей / отв. ред. Н. П. Щербак. – К.: Наук. думка, 2005. – 243 с.
8. Krough T.E. A law contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1973. – 37, № 3. – P. 485–494.
9. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06 // U.S. Geol. Survey Open-File Rept. – 1989. – № 88–542. – P. 40.
10. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0 // *Ibid.* – 1990. – № 88–557. – P. 38.

Bondarenko Sergei M., Karly Zakhar V., Stepanyuk Leonid M., Syomka Vodymyr O., Donskoy Nikolai A., Syomka Liudmyla V.
Zavallya ore occurrence of potassium-uranium rock association: mineralogy, geochemistry, age of formation.

The studied $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of monazite in aplite-pegmatoid granites of Zavallya ore occurrence is $1981,2 \pm 8,4$ Ma. It is determined that uranium-bearing garnet-biotite-sillimanite metasomatites are not gneisses but formed as a result of magnesian-ferruginous-aluminium metasomatism in cataclastic and fractured zones of aplite-pegmatoid granites and pegmatites. The metasomatites are characterized with the high values of ThO_2 (16,85 %), UO_2 (4,23 %), the low ones of Ce_2O_3 (18,83 %) and an absence of lead in monazite, presence of uraninite II with low ThO_2 (1,15–1,83 %), as well as uranatennite and noncrystalline uranatennite of “young” age. An absence of radiogenic lead trace in noncrystalline uranatennite, its low grade recrystallization and presence of caolinite indicate “young” age of noncrystalline uranatennite mineralization. All these facts prove multistage and regenerative nature of TR-U-Th mineralization in granitoids of Zavallya ore occurrence.

Key words: mineralogy, geochemistry, age of formation.

Бондаренко С.Н., Карлы З.В., Степанюк Л.М., Сьомка В.А., Донской Н.А., Сьомка Л.В.

Завальевское рудопоявление калий-урановой формации: минералогия, геохимия, время формирования.

Возраст рудоносных аплит-пегматоидных гранитов Завальевского рудопоявления, определенный по изотопному отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ в монаците, составляет $1981,2 \pm 8,4$ млн лет. Установлено, что ураноносные гранат-биотит-силлиманитовые метасоматиты образуются в результате магниезильно-железисто-глиноземистого метасоматоза в зонах катаклаза и трещиноватости аплит-пегматоидных гранитов. Для этих метасоматитов установлено высокое содержание ThO_2 (16,85 %), UO_2 (4,23 %) и низкое Ce_2O_3 (18,86 %) в монаците и отсутствие свинца, а также присутствие уранинита II с низким содержанием ThO_2 (1,15–1,83 %), а также настурана и молодой урановой черни. Отсутствие в составе урановой черни примесей радиогенного свинца, слабая степень раскристаллизации и наличие каолинита указывает на очень молодой возраст урановочерниевой минерализации. Все эти факты свидетельствуют о том, что TR-U-Th минерализация в гранитоидах Завальевского рудопоявления имеет полистадийный и регенерационный характер.

Ключевые слова: минералогия, геохимия, возраст образования.

Надійшла 06.09.2014