

УДК 553.411.071 (477)

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

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, м. Київ-142, пр. Акад. Палладіна, 34  
E-mail: sbond@igmof.gov.ua; stepanyuk@igmof.gov.ua;  
syomka@igmof.gov.ua; donick\_gg@mail.ru

## **ХМІЛЬНИЦЬКИЙ РУДОПРОЯВ КАЛІЙ-УРАНОВОЇ ФОРМАЦІЇ: МІНЕРАЛОГІЯ, ГЕОХІМІЯ, ЧАС ФОРМУВАННЯ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)**

У десятки разів вищий від кларкового для кристалічних порід Українського щита (УЩ) вміст урану встановлений в апліт-пегматоїдних двопольовошпатових гранітах та в апопегматитових кремній-калієвих метасоматитах Хмельницького рудопрояву. В графітвмісних гранат-біотитових гнейсах вміст урану перевищує кларк УЩ майже удвічі, що характерно також для Заваллівського уранового рудопрояву. Виділено два основні типи рудних асоціацій. Перша — акцесорна мінералізація в апліт-пегматоїдних двопольовошпатових гранітах, представлена апатитом, цирконом, монацитом і уранінітом-I. Друга — накладена гідротермально-метасоматична мінералізація в зонах катаклазу пегматитів і аплітів, представлена рідкісноземельно-торій-урановою (циркон + монацит + уранініт + отеніт), оксидною (ільменіт + анатаз + рутил + гідроксиди заліза) та сульфідною (піротин + пірит + халькопірит + галеніт + молібденіт). Установлено, що ранній акцесорний уранініт-I характеризується підвищеним вмістом торію і трапляється в апліт-пегматоїдних гранітах. Більш пізній уранініт-II з пониженим вмістом торію є типовим мінералом кремній-калієвих метасоматитів. *TR-Th-U* мінералізація Хмельницького рудопрояву за мінералого-геохімічними особливостями належить до калій-уранового генетичного типу, значно поширеного в межах Дністровсько-Бузького й Інгульського мегаблоків УЩ та міжблокових шовних зон.

*Ключові слова:* Хмельницький рудопрояв, вік, мінералогія, геохімія, циркон, монацит, уранініт, отеніт.

**Вступ.** Постмагматичні рідкісноземельно-уран-торієві рудопрояви та родовища калій-уранової формації є характерними утвореннями західної частини Українського щита (УЩ). Найбільш відомими із них є Калинівське, Лозуватське, Южне та Балка Корабельна, які локалізовані у Голованівській шовній зоні. Спільною рисою цих родовищ є просторовий зв'язок із апліт-пегматоїдними гранітами палеопротерозойської тектоно-магматичної активізації та комплексний характер руд. Характерними рудними мінералами в них є бреггерит, циркон, монацит, торит, ксенотим, молібденіт, бісмутин та самородний бісмут. Промислове значення в цих родовищах мають уран, рідкісно-

земельні елементи, торій, молібден і бісмут. За останні десятиріччя в результаті робіт, виконаних виробничими організаціями КП "Кіровогеологія" у Волинському та Дністровсько-Бузькому мегаблоках, виявлено нові рудопрояви калій-уранової формації [1, 2, 7], локалізовані в екзоконтакті апліт-пегматоїдних гранітів. За мінералого-петрографічними та геохімічними особливостями ці рудопрояви подібні до згаданих вище відомих родовищ калій-уранової формації Голованівської шовної зони, хоча в деяких рудопроявах є суттєві відмінності, особливо в мінеральному складі рудоносних метасоматитів та вікових межах їхнього формування. У цій статті наведено результати рудно-мінералогічного, петрографічного, геохімічного та радіогеохронологічного досліджень Хмельницького рудопрояву калій-уранової формації.

© С.М. БОНДАРЕНКО, Л.М. СТЕПАНЮК,  
З.В. КАРЛИ, В.О. СЬОМКА, М.О. ДОНСЬКИЙ,  
Л.В. СЬОМКА, 2015

**Зразки та методи досліджень.** Дослідження базуються на оригінальному кам'яному матеріалі, зібраному авторами в процесі виконання бюджетної тематики Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) НАН України протягом останніх десяти років. Мікрозондові дослідження рудних мінералів проведено на приладі *JXA-5* (аналітик І.М. Бондаренко), електронно-мікроскопічні — на приладі *JSM-6700F* (аналітик О.А. Вишневецький) в ІГМР НАН України, спектральні дослідження порід — в ЦАЛ КП "Кіровгеологія" (аналітик К.В. Перебийніс).

**Радіогеохронологічні дані.** Для визначення віку процесів гранітоутворення датувались циркони і монацити із апліт-пегматоїдних біотит-гранатових гранітів, розкритих відкритим кар'єром у с. Широка Гребля (5 км на південний схід від м. Хмільник). Радіогеохронологічні дослідження виконано за цирконом і монацитом (пр. ВП-7) у відділі радіогеохронології ІГМР НАН України. Датування кристалів циркону і монациту, виділених вручну під бінокуляр, здійснено класичним U-Pb ізотопним методом. Хімічну підготовку наважок виконували за модифікованою методикою [10]. Для визначення вмісту урану та свинцю використали змішаний ( $U^{235} + Pb^{206}$ ) трасер для монациту та ( $U^{235} + Pb^{208}$ ) — для циркону. Ізотопний аналіз урану і свинцю проведено на восьмиколекторному мас-спектрометрі МІ-1201АТ в мультиколлекторному статичному режимі. Для зіставлення результатів датування використано стандарт циркону ІГМР-1. Математичні розрахунки виконано за допомогою програм *Pb DATE* та *ISOPLOT* [11, 12]. Наведені похибки віку відповідають 2 $\sigma$ .

**Геологічна будова.** Хмільницький рудопрояв розташований у північно-західному обрамленні Літинського граніт-гнейсового купола, а саме на перетині Хмільницького північно-західного і Літинського північно-східного розломів другого порядку (рис. 1). У геологічній будові кристалічного фундаменту наявні магматичні, ультра- та метаморфічні породи різних структурно-формаційних комплексів.

Рудопрояв безпосередньо пов'язаний із масивом апліт-пегматоїдних гранітів, що знаходиться поблизу м. Хмільник. У розрізі, розкритому свердловинами, переважають апліт-пегматоїдні двопольовошпатові граніти, апліти і пегматити мікроклінові. Останні в зонах катаклазу заміщені кремній-калієвими метасомати-

тами. За даними С.М. Цимбала та ін. [8], вміст урану в метасоматитах варіює від 0,073 до 0,087 %, подекуди до 0,26 %, а торію — до 0,01 %. За нашими даними, вміст урану в окремих штуфах у св. 56-166 змінюється від 0,03 до 0,2 %. Вік ураноносних метасоматитів, визначений U-Pb методом за сингенетичним цирконом і монацитом, становить 2008—2031 млн рр. [8].

У підпорядкованій кількості в розрізах свердловин відмічено плагіограніти та плагіо-апліти. Релікти палеоархейської дністровсько-бузької серії представлені графітвмісними гранат- і силіманіт-гранат-біотитовими гнейсами, амфібол-біотитовими плагіогнейсами та тремоліт-діопсидовими екзоскарнами.

Перетинається весь комплекс порід молодими дайками діабазових порфіритів. Вік дайок, визначений K-Ar методом по породі, змінюється від 1200 до 1440 млн рр. [5]. Більш надійні геохронологічні дані отримані Л.В. Шумлянським: вік діабазового порфіриту із кар'єру с. Широка Гребля, визначений U-Pb методом по баделеїту, становить  $1722 \pm 12$  млн рр. [9].

**Петрографічна характеристика порід.** Серед метаморфічних порід, що трапляються у вигляді реліктів серед гранітоїдів, виділяються гранат-, силіманіт-гранат-біотитові гнейси і амфібол-біотитові плагіогнейси.

**Гранат-біотитовий гнейс графітвмісний** макроскопічно представлений темно-сірою дрібно- та середньозернистою породою з бузковим відтінком, що зумовлений наявністю блідо-рожевого гранату, зерна якого (розміром 0,5—5,0 мм) рівномірно розсіяні по всій породі або утворюють порфіробластові скупчення до 10 мм в перетині. Часто навколо гранату формуються облямівки дрібнозернистого біотиту. Текстура сланцювата, структура гетеро- і лепідогранобластова. Мінеральний склад, %: біотит — 5—20, гранат — 10—30, калішпат — 1—10, плагіоклаз (№ 25—30) — 20—35, кварц — 20—40; другорядні мінерали — графіт, силіманіт; вторинні — хлорит, серицит, каолінит, кальцит, графіт, гідроксиди заліза.

**Силіманіт-гранат-біотитовий гнейс** макроскопічно представлений світло-сірою дрібно- та середньозернистою породою з лінзоподібно-смугастою та вузлуватою текстурою. Відрізняється від попередньої породи більшою кількістю силіманіту. Вузлувата текстура обумовлена наявністю порфіробластів гранату (1—5 мм), які плавно облямовані біотитовими лусками та снопоподібними агрегатами силіманіту.

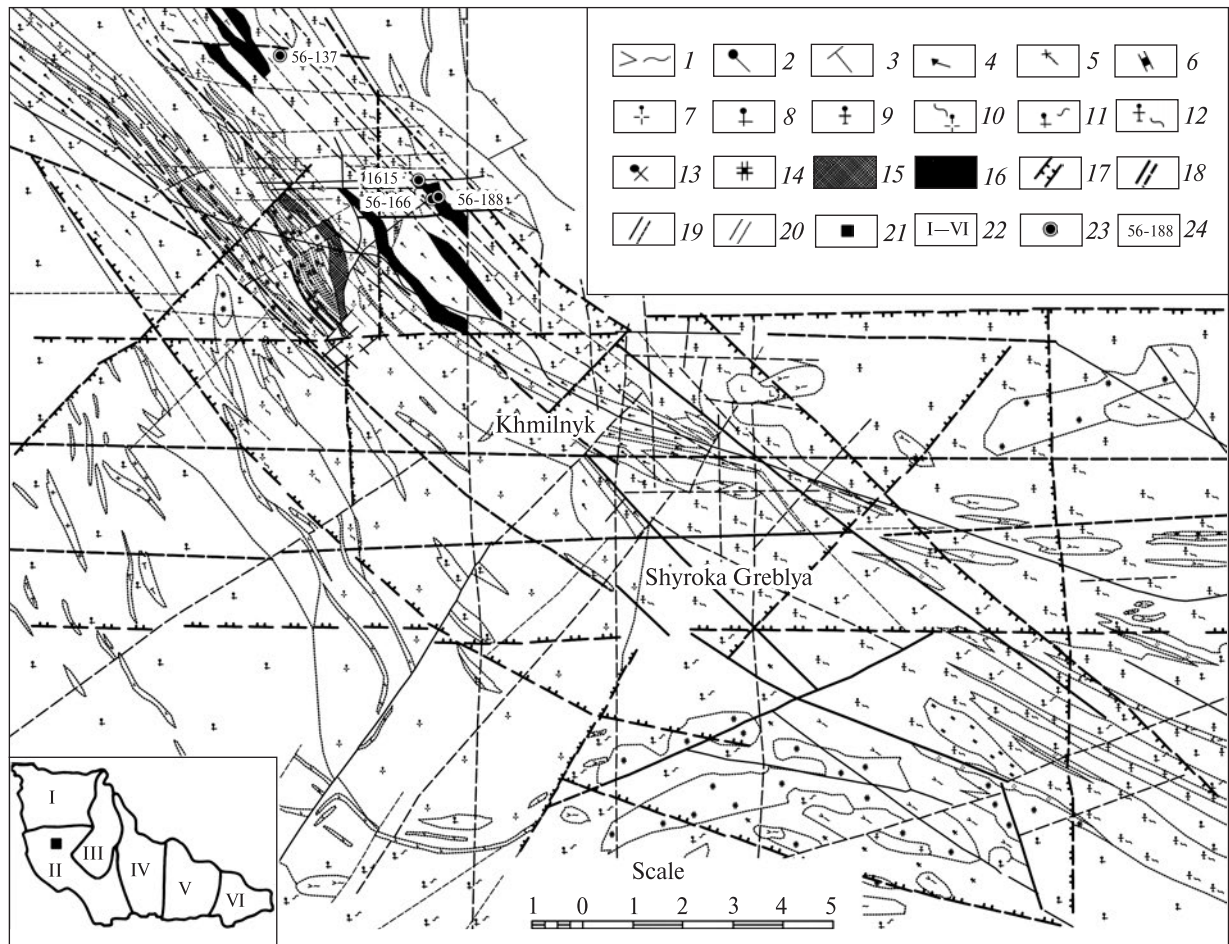


Рис. 1. Геологічна схема кристалічного фундаменту Хмільницького рудопояву за матеріалами ПЗЕ-46 КП "Кіровгеологія". Кристалосланці та гнейси: 1 — ортопіроксенові, 2 — гранат-біотитові, 3 — графіт-біотитові, 4 — роговообманково-двопіроксенові, 5 — гіперстеневі; 6 — кальцифіри; граніти: 7 — лейкократові, 8 — плагіограніти, 9 — двопольовошпатові; мігматити: 10 — лейкократові, 11 — плагіомігматити, 12 — двопольовошпатові, 13 — вінницити, 14 — ендербіти; площа локальних різновікових суміщених гідротермальних змінень: 15 — калішпатизація, апатитизація, карбонатизація, монтморилонізація, гематитизація, хлоритизація, окварцовання; 16 — площа розвитку кварц-калішпатових метасоматитів; розривні порушення: 17 — границі зон тектонічних порушень, достовірні та ймовірні; 18 — головні, 19 — другорядні, 20 — локальні та оперювальні; 21 — місце розташування Хмільницького рудопояву в межах УЩ; 22 — I-IV — номери мегаблоків; 23 — свердловини; 24 — номер свердловин

Fig. 1. Geological sketch of crystalline basement of the Khmilnyk ore occurrence based on materials of prospecting Expedition No 46 of the "Kirovgeologia" State Enterprise. Crystalline schists and gneisses: 1 — orthopyroxenic, 2 — garnet-biotite, 3 — graphite-biotitic, 4 — hornblende-two-pyroxene, 5 — hypersthene; 6 — calciphyres; granites: 7 — leucocratic, 8 — plagiogranites, 9 — two-feldspar; migmatites: 10 — leucocratic, 11 — plagiomigmatites, 12 — two-feldspar, 13 — garnetiferous, 14 — enderbites; the area of local joint hydrothermal alterations of different age: 15 — kalifeldsparization, apatitization, carbonatization, montmorillonitization, hematitization, chloritization, silicification; 16 — silica-potassium metasomatites' area; faults: 17 — boundaries of fault zones, confirmed and probable ones; 18 — main, 19 — minor, 20 — local and feathering; 21 — location of the Khmilnyk ore occurrence within the Ukrainian Shield; 22 — I-IV — megablock numbers; 23 — borehole location; 24 — borehole numbers

Структура породи лепідогранобластова та порфіробластова, місцями катакластична. Мінеральний склад, %: силіманіт — 1—10, гранат — 15—60, біотит — 15—45, плагіоклаз (№ 25—30) — 10—20, калішпат — 10—30, кварц — 10—40; вторинні мінерали — хлорит, серицит, лейкоксен; акцесорні — апатит, монацит, рутил.

Амфібол-біотитовий плагіогнейс представлений дрібнозернистою (0,3—1,0 мм) зеленувато-сірою породою зі смугастою текстурою. Структура породи лепідо- і нематогранобластова. Мінеральний склад, %: кварц — 30—50, плагіоклаз — 20—30, амфібол — 5—10, біотит — 20—30; вторинні — карбонат, хлорит,

клиноцоїзит; акцесорні — апатит; рудні — пірит.

Магматичні породи в розрізі представлені апліт-пегматоїдними двопольовошпатовими гранітами, мікрокліновими пегматитами та аплітами, плагіогранітами та плагіопегматитами і діабазовими порфіритами.

*Двопольовошпатовий апліт-пегматоїдний граніт* — сіра дрібно- та середньозерниста лейкократова порода з масивною текстурою. Відмічені локальні ділянки розсланцювання та катаклазу породи. Структура порфіробластова, катакластична і гетеробластова. Мінеральний склад породи, %: гранат — 1–5, біотит — 1–5, калішпат — 15–40, плагіоклаз — 15–60, кварц — 10–40; вторинні — серицит, силіманіт, кальцит, каолініт; акцесорні — апатит, циркон, монацит, уранініт.

*Пегматити і апліти* складають 80–90 % розрізу і за своїм складом аналогічні пегматитам і аплітам, що зазнали кремній-калієвого метасоматозу. Такі породи описані на Заваллівському рудопрояві [2]. Істотною відмінністю їх від двопольовошпатових гранітів є підвищений вміст кремнію та калію і наявність у них рідкісноземельно-торій-уранової мінералізації. Уранова мінералізація значно переважає над торієвою.

Макроскопічно вони представлені світло-сірими лейкократовими середньозернистими породами з масивною текстурою, плямистим і струменеподібним розташуванням у них темноколірних мінералів. Структура породи гетерогранобластова, порфіробластова та катакластична. Мінеральний склад, %: кварц — 20–30, калішпат — 70–80; другорядні мінерали — гранат, кордієрит, біотит, силіманіт, шпінель; вторинні — хлорит, мусковіт, кальцит; рідкісноземельні — циркон, монацит; уранові мінерали — уранініт, отеніт; оксиди — ільменіт, рутил; сульфіди — пірит, халькопірит, галеніт і молібденіт.

*Плагіограніти і плагіоапліти* представлені світло-сірими дрібно- та середньозернистими породами і за своїм складом аналогічні плагіогранітам та плагіопегматитам Заваллівського рудопрояву [2]. Текстура породи масивна, смугаста, очкова з елементами катаклазу. Структура порфіро-, гломеробластова, гетерогранобластова і катакластична. Мінеральний склад, %: гранат — 1–10, біотит — 1–5, мусковіт — 1–2, мікроклін — од. зерна — 5, плагіоклаз — 35–80, кварц — 15–60; вторинні — серицит, каль-

цит; акцесорні — апатит, монацит, уранініт.

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.

Серед метасоматичних порід у розрізі зафіксовано релікти тремоліт-діопсидових екзокскарнів, які також поширені на Заваллівському рудопрояві і мають аналогічний петрографічний склад [2].

*Тремоліт-діопсидові екзокскарни* — світло-сірі породи з масивною текстурою. Структура породи нематограно- і порфіробластова. Розмір зерен мінералів у породі — від 0,2 до 5,0 мм. Мінеральний склад, %: флогопіт — 1–2, тремоліт — 5–10, діопсид — 85–90; вторинні — хлорит, графіт; акцесорні — апатит.

*Діабазові порфірити* є наймолодшими гіп-абісальними породами на Хмельницькій ділянці. Вони поширені на північний захід від м. Хмельник, де утворюють Хмельницьке дайкове поле.

Макроскопічно це чорні дрібнозернисті породи з масивною текстурою. Структура породи офітова. Мінеральний склад, %: плагіоклаз (андезин) — 60, піроксен (авгіт) — 40. Піроксен на 30 % заміщений біотитом. Останній заміщений магнетитом і гідрооксидами заліза. За даними спектрального аналізу, діабазові порфірити мають високий вміст хрому, нікелю та інших елементів, що характерні для основних магматичних порід.

**Радіогеохронологічні дані.** Для визначення віку процесів гранітоутворення датувались циркони і монацити із біотит-гранатового граніту, відкритого кар'єром с. Широка Гребля.

*Граніт апліт-пегматоїдний біотит-гранатовий (пр. ВП-7), лівий берег р. Пд. Буг, кар'єр с. Широка Гребля.* Граніт — жовтувато-, світло-сіра порфіроподібна сильно катаклазована порода. Структура граніту катакластична, з реліктовою гіпідіоморфнозернистою. Мінеральний склад, %: гранат — 0,8, біотит — 4,9, кварц — 25,4, плагіоклаз — 37,5, мікроклін — 30,4; акцесорні — апатит, циркон, монацит.

Хімічний склад граніту пр. ВП-7, ваг. %:  $\text{SiO}_2$  — 71,52,  $\text{TiO}_2$  — 0,11,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 15,40,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 0,47,  $\text{FeO}$  — 1,01,  $\text{MnO}$  — сл.,  $\text{MgO}$  — 0,58,  $\text{CaO}$  — 1,38,  $\text{Na}_2\text{O}$  — 3,70,  $\text{K}_2\text{O}$  — 5,50,  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0,15,  $\text{S}$  — сл.,  $\text{H}_2\text{O}$  — 0,09, В. п. п. — 0,40.

Циркон утворює призматичні (від короткого ( $K_{\text{вид}} \approx 1$ ) до видовженопризматичних ( $K_{\text{вид}}$  до 5)) переважно дрібні (<0,1 мм) кристали

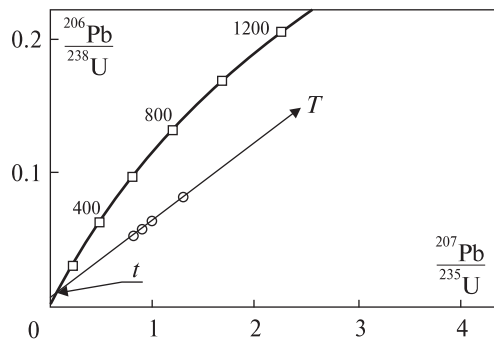


Рис. 2. U-Pb діаграма з конкордією для цирконів із біотит-гранатового граніту (пр. ВП-7), кар'єр с. Широка Гребля,  $T = 1978 \pm 24$  млн рр.,  $t = 50 \pm 11$  млн рр.

Fig. 2. U-Pb concordia diagram for zircons of biotite-garnet granite (sample ВП-7) from open pit next to Shyroka Greblya vil.,  $T = 1978 \pm 24$  Ma,  $t = 50 \pm 11$  Ma

брудно-, жовтувато-сірого, сіро-білого кольору. Кристали добре огранені, але вершинки та ребра заокруглені. Кристали непрозорі, переповнені чорними включеннями. Блиск тьмянний, жирний до скляного.

У зрізах багатьох кристалів виявляється концентрична зональність, яка підкреслюється концентричним (здебільшого по зонах росту) розміщенням чорних непрозорих включень. У тонких зрізах циркон прозорий. Очевидно, що цілі кристали не пропускають світло через велику кількість включень та внутрішню зональність, яка обумовлює розсіювання променів.

Результати ізотопних досліджень різних фракцій циркону наведені в табл. 1. Лінія регресії (рівняння  $Y = (0,058885 \pm 0,00095)X + 0,00486 \pm 0,0011$ ), розрахована для фракцій циркону в координатах графіка Аренса-Везеріла (рис. 2), перетинає дискордію в точці, що відповідає віку —  $1978 \pm 24$  млн рр. Відмітимо,

що циркони граніту кар'єру с. Широка Гребля (пр. ВП-7) надзвичайно дискордантні. Це, на наш погляд, обумовлено захопленням цирконами урану, ймовірно, в ході катаклазу та вкоріненням дайок діабазів. Якщо останнє припущення справедливе, то процес катаклазу мав місце не пізніше  $50 \pm 11$  млн рр. тому — нижній перетин дискордії з конкордією.

Враховуючи, що уран-свинцеві ізотопні системи цирконів сильно порушені і, незважаючи на добру лінійність в розміщенні фігуративних точок на діаграмі з конкордією, вони лежать досить купно, існує велика ймовірність заниження значення ізотопного віку, розрахованого за верхнім перетином дискордії з конкордією. У випадку, коли закритість уран-свинцевої ізотопної системи цирконів була порушена декілька разів або була відкритою протягом тривалого часу, отримані значення віку є мінімальним часом кристалізації циркону. Для того, щоб більш точно визначити час формування гранітів, датували розмірні фракції монациту.

**Монацит** трапляється переважно у вигляді чорних непрозорих зерен, переповнених чорними включеннями. В меншій кількості (близько 10 % кристалів) монацит представлений однорідними прозорими зеленкувато-жовтими кристалами. Форма кристалів округло-сплюснена і лише в деяких присутні окремі грані, але ребра заокруглені. Багато кристалів розбиті паралельними тріщинами, які, можливо, є наслідком катаклазу гранітів.

Зважаючи на незначне розтягування фігуративних точок на діаграмі з конкордією (рис. 3) та практично конкордантні значення віку (за винятком фракції 4, дискордантність якої до-

Таблиця 1. Вміст урану та свинцю, ізотопний склад свинцю в цирконах із біотит-гранатових гранітів (пр. ВП-7), кар'єр с. Широка Гребля

Table 1. Uranium and lead concentrations, isotopic composition of lead for zircons of biotite-garnet granites (sample ВП-7), open pit next to Shyroka Greblya vil.

Фракція циркону, мм	Вміст, ppm		Ізотопні співвідношення					Вік, млн рр.		
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{206}\text{Pb}_r}$
I, <0,040	1059	89,28	552	7,2522	2,5222	0,06191	0,97016	387	689	1859
Голчасті	920,3	82,21	618	7,2793	9,4306	0,0814	1,29974	504	846	1892
I, 0,056—0,063	1622	109,6	325	6,5107	5,7606	0,05627	0,87123	353	636	1837
I, 0,040—0,056	1774	111,2	447	7,0520	6,0616	0,05376	0,82869	338	613	1829

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 1980 млн рр. I — ізометричні.  
Note. The correction for common lead is entered according to Stacey and Kramers for the age of 1980 Ma. I — stands for isometric.

рівнює 1,4), за вік монациту взяли середньозважене значення за ізотопним співвідношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , яке становить  $2038,8 \pm 8,2$  млн рр. для фракцій 1–4 та  $2039 \pm 4,8$  — для усіх наведених у табл. 2 даних, що в межах похибки добре співпадає з часом формування бердичівських гранітів, поширених в районі с. Жежелів [6]. З огляду на те, що на відміну від ізотопної системи цирконів монацити (див. табл. 2) переважно характеризуються конкордантними значеннями віку, причому значно вищими, ніж отримані для цирконів, часом становлення гранітів слід вважати вік, значення якого отримано для монацитів —  $2039 \pm 4,8$  млн рр.

**Геохімічна характеристика порід.** Для геохімічної характеристики порід Хмільницької ділянки нами розглянуто два типи елементів-індикаторів формаційної належності порід. Перший — Th, U, Bi, Mo, Pb, що характерний для уранових родовищ калій-уранової формації, другий — Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc, характерний для метабазитів. У табл. 3 наведено середній вміст елементів-домішок у породах, а на рис. 4, 5 показаний характер їх розподілу в різних петротипах. Розглянемо детальніше характеристику вмісту першого типу елементів-індикаторів.

**Торій.** Вміст торію у всіх петротипах порід значно нижчий від кларку УЩ. Виняток складають пегматити і апліти, де вміст (13 г/т) наближається до кларку УЩ. Це зумовлено при-

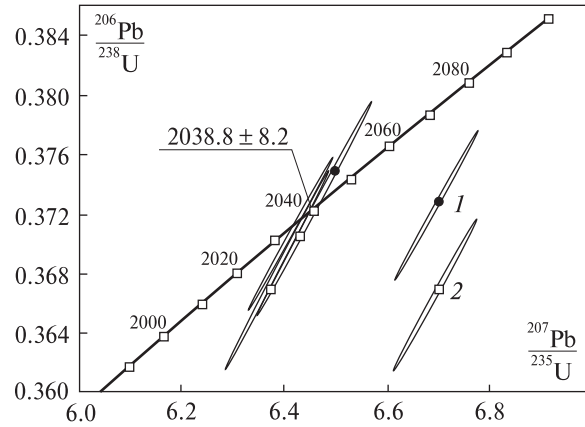


Рис. 3. U-Pb діаграма з конкордією для монацитів із біотит-гранатового граніту (пр. ВП-7), кар'єр с. Широка Гребля: 1 — фігуративна точка загальної фракції, 2 — фігуративні точки розмірних фракцій 1–4 (див. табл. 2)

Fig. 3. U-Pb concordia diagram for monazites of biotite-garnet granite (sample ВП-7) from open pit next to Shyroka Greblya vil.: 1 — imaging point of general fraction, 2 — imaging points for the fractions 1–4 (see Table 2)

сутністю в пегматитах та аплітах акцесорного монациту.

**Уран.** У десятки разів вищий від кларкового для УЩ вміст урану встановлено в апліт-пегматоїдних двопольовошпатових гранітах (12,2 г/т) та пегматитах і аплітах (82,4 г/т). На рис. 4 відображений характерний пік U, Bi, Mo, Pb, хоча вміст торію знаходиться на рівні

Таблиця 2. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із біотит-гранатових гранітів (пр. ВП-7), кар'єр с. Широка Гребля

Table 2. Uranium, lead concentrations and isotopic composition for monazites of biotite-garnet granites (sample ВП-7), open pit next to Shyroka Greblya vil.

Фракція монациту	Вміст, ppm		Ізотопні співвідношення				Вік, млн рр.			
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{206}\text{Pb}_r}$		
Mnz*	11666	10915	30030	7,9254	0,57077	0,37544	6,5152	2055	2048	2041,0
1	10200	9929	14200	7,8958	0,52364	0,36997	6,4194	2029	2035	2040,7
2	10778	9774	32150	7,9409	0,58782	0,37053	6,4190	2032	2035	2037,9
3	11408	10343	53200	7,9618	0,58641	0,36998	6,4009	2029	2032	2035,5
4	10272	9491	40650	7,9252	0,56095	0,36686	6,3724	2015	2028	2042,6

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2050 млн рр., Mnz\* — загальна, не поділена фракція для визначення вмісту урану і свинцю, на відміну від фракцій 1–4, використали змішаний ( $\text{U}^{235} + \text{Pb}^{208}$ ) трасер. 1–4 — розмірні фракції монациту, отримані шляхом скочування по похилій площині. Для визначення вмісту урану і свинцю в монацитах фракцій 1–4 використали змішаний ( $\text{U}^{235} + \text{Pb}^{206}$ ) трасер.

Note. The correction for common lead is entered according to Stacey and Kramers for the age of 2050 Ma, Mnz\* — general, not selected one for defining uranium and lead concentrations; in contrast to the fractions 1–4, mixed ( $\text{U}^{235} + \text{Pb}^{208}$ ) tracer agent was applied. 1–4 — the size fractions of monazite that were obtained by means of rolling down the inclined surface. The mixed ( $\text{U}^{235} + \text{Pb}^{206}$ ) tracer agent was used to analyze uranium and lead concentrations in monazite fractions 1–4.

кларку УЩ. В обох цих петротипах характерним акцесорним мінералом є уранініт, а в зонах катаклазу порід з'являються й інші більш низькотемпературні уранові мінерали. Варто відзначити, що в графітвмісних гранат-біотитових гнейсах вміст урану перевищує кларковий УЩ майже удвічі. Аналогічний розподіл нами зафіксовано в графітвмісних гнейсах і кристалосланцях Заваллівського рудопояву [2]. В інших петротипах порід концентрація урану — на рівні кларку УЩ.

*Бісмут.* Вміст бісмуту в породах коливається слабо і становить близько 0,7 г/т. Виняток знову ж таки складають графітвмісні гранат-біотитові гнейси, в яких концентрація бісмуту досягає 1 г/т.

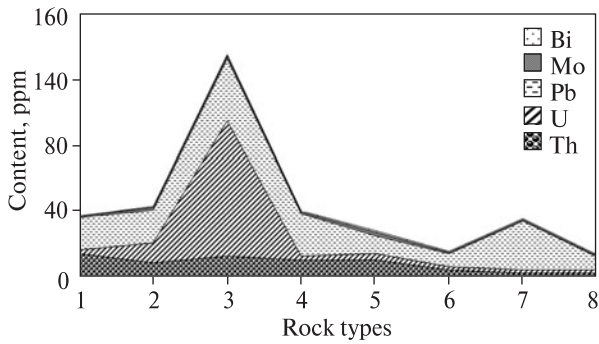
*Молібден.* У підвищеній кількості молібден наявний у двопольовошпатових гранітах (1,5 г/т), пегматитах і аплітах (1,6 г/т), плагіопегматитах (0,9 г/т). Найвищий вміст молібдену зафіксований у графітвмісних гранат-біотитових гнейсах (2 г/т).

Таблиця 3. Середній вміст елементів-домішок у головних петротипах порід Хмельницького рудопояву, г/т  
Table 3. Average content of trace elements in main rock types of the Khmilnyk ore occurrence, ppm

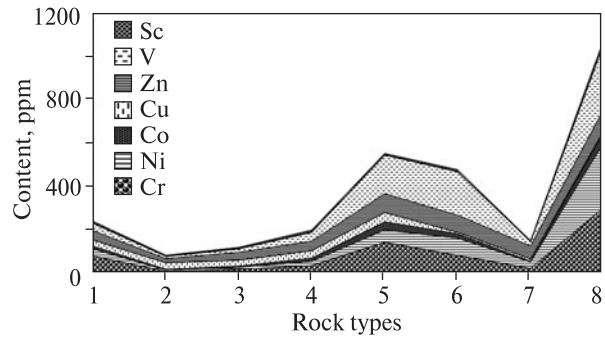
Елемент	1	2 (16)	3 (60)	4 (2)	5 (21)	6 (3)	7 (2)	8 (2)
Th/U	5,6	1,5	0,5	4,2	2,9	2	1	1
Th	14	8	13	10	10	4	2	2
U	2,2	12,2	82,4	2,5	3,9	2	2	2
Ba	420	500	202	270	508	100	200	100
Sr	340	300	212	200	283	200	200	200
Li	16	30	37	30	35	100	50	40
Ce	50	100	100	100	100	100	100	20
La	27	30	30	32	30	30	30	10
Y	15	10	22	8	8	7	7	3
Yb	1,2	1	2,2	0,8	1	1,5	0,7	0,5
Ga	12	15	18	19	22	20	15	10
Ge	1,4	0,7	0,7	0,7	1	1	0,7	0,7
Cr	77	6	15	33	141	80	20	300
Ni	33	6	10	20	57	80	30	300
Co	13	4	5	15	37	20	4	50
Cu	28	30	28	34	43	7	10	80
Zn	44	20	37	45	88	80	60	50
V	34	10	16	40	178	200	20	300
Sc	8	3	5	9	6	8	3	20
P	490	800	788	530	650	600	500	500
Ti	1500	1000	1247	1750	4500	3000	1000	3000
Mn	294	80	120	540	458	600	200	800
Mo	0,8	1,5	1,6	0,9	2	0,7	0,7	0,7
Pb	20	20	38	26	11	8	30	8
Bi	0,009	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,7	0,7
Sn	1,5	1	1	1,3	1	4	1	1
As	1,7	70	70	70	70	70	70	70
Ag	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Zr	70	100	99	96	180	200	100	50
Nb	20	15	14	8	13	10	10	3
Be	2	3	3	3	4	3	3	1

П р и м і т к а. В дужках — кількість аналізів; 1 — кларк для кристалічних порід УЩ [3, 4]; 2 — апліт-пегматоїдні двопольовошпатові граніти; 3 — пегматити і апліти мікроклінові; 4 — плагіограніти і плагіопегматити; 5 — гранат-біотитові гнейси графітвмісні; 6 — амфібол-біотитові плагіогнейси; 7 — тремоліт-діопсидові екзокскарни; 8 — діабазові порфірити. Аналізи виконано в ЦАЛ КП "Кіровгеологія".

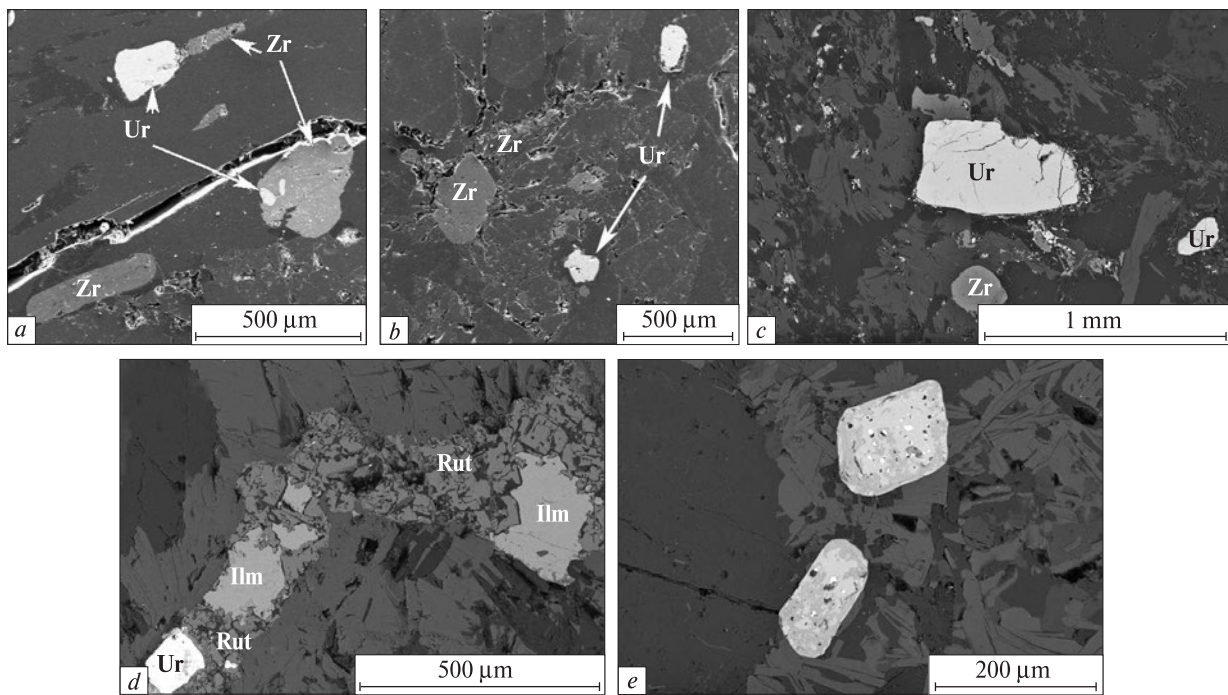
N o t e. In brackets — the numbers of analyses; 1 — abundance for crystalline rocks of the Ukrainian Shield [3, 4]; 2 — aplite-pegmatoid two-feldspar granites; 3 — microcline pegmatites and aplites; 4 — plagiogranites and plagiopegmatites; 5 — graphiteferous garnet-biotite gneisses; 6 — amphibole-biotite plagiogneisses; 7 — tremolite-diopside exoscarn; 8 — diabase porphyrites. The study has been carried out by the Central laboratory of "Kirovgeologia" State Enterprise.



*Рис. 4.* Діаграма розподілу значень середнього вмісту Th, U, Pb, Mo, Bi у породах Хмільницького рудопрояву. Типи порід (тут і на рис. 5) див. у примітці до табл. 3  
*Fig. 4.* Value distribution of average contents of Th, U, Pb, Mo, Bi in the rocks of the Khmilnyk ore occurrence. Rock types (here and on Fig. 5) see in the note for Table 3



*Рис. 5.* Діаграма розподілу значень середнього вмісту Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc у породах Хмільницького рудопрояву  
*Fig. 5.* Distribution of average concentrations of Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc in the Khmilnyk ore occurrence



*Рис. 6.* Електронні знімки уранових та акцесорних мінералів у рудних зонах Хмільницького рудопрояву: *a – d* – фрагменти типових рудних асоціацій (Ur – уранініт, Zr – циркон, Ilm – ільменіт, Rut – рутил), св. 56-166, гл. 51,3 м, св. 1615, гл. 78 м; *e* – включення уранініту у цирконі, св. 56-166, гл. 51,3 м  
*Fig. 6.* BSE images of uranium accessory minerals from ore zones of the Khmilnyk ore occurrence: *a – d* – fragments of common ore associations (Ur – uraninite, Zr – zircon, Ilm – ilmenite, Rut – rutile), borehole No 56-166, depth 51.3 m, borehole No 1615, depth 78 m; *e* – inclusion of uraninite in zircon, borehole No 56-166, depth 51.3 m

*Свинець.* Свинцю властива радіогенна природа, про що свідчить його тісний кореляційний зв'язок з ураном, максимальний вміст U і Pb зафіксований у пегматитах та аплітах. Підвищений вміст Pb відмічено також у плагіопегматитах (26 г/т) та тремоліт-діопсидових екзоскарнах (30 г/т). В останніх він має метасоматичну природу (утворення галеніту), що

пов'язано з процесами грейзенізації скарнів під впливом постмагматичних гідротермальних розчинів.

Характер розподілу Cr, Ni, Co, Cu, Zn, V, Sc у породах має однозначну інтерпретацію (рис. 5). Тут спостерігаються два піки. Перший характерний для графітвмісних гранат- та амфібол-біотитових гнейсів, які утворились за



рахунок ерозії древніх метабазитів. Другий характеризує мезопротерозойські дайки діабазових порфіритів.

Таким чином, за геохімічними даними у розрізі Хмільницької ділянки присутні два типи порід. Перший — магматичні утворення: палеопротерозойські апліт-пегматоїдні двопольовшпатові граніти, пегматити, апліти, плагіограніти і плагіопегматити, а також мезопротерозойські дайки діабазових порфіритів. Другий — метапеліти (графітвмісні гранат-біотитові гнейси і амфібол-біотитові плагіогнейси), що утворились за рахунок ерозії древніх основних порід.

TR-Th-U мінералізація є характерною для пегматитів і аплітів, які зазнали кремній-калієвого метасоматозу, і за характером геохімічної мінералізації належить до калій-уранового генетичного типу, значно поширеного в межах Дністровсько-Бузького та Інгульського мегаблоків УЩ.

**Рудна мінералізація.** Акцесорна мінералізація в апліт-пегматоїдних двопольовшпатових гранітах представлена апатитом, цирконом, монацитом і уранінітом. Гідротермально-метасоматична мінералізація в метасоматично змінених пегматитах і аплітах представлена оксидною (ільменіт + анатаз + рутил + гідроксиди заліза), рідкісноземельно-торій-урановою (апатит + циркон + монацит + уранініт + отеніт) та сульфідною (піротин + пірит + халькопірит + галеніт + молібденіт).

*Ільменіт* є одним із самих ранніх за часом виділення серед акцесорних мінералів і порівняно поширеним мінералом. Особливо рясна вкрапленість спостерігається в глиноземистих гнейсах. Переважна маса мінералу заміщена анатаз-брукітом, причому ільменіт без залишку переходить в оксиди зі збереженням структури. Часто спостерігається повне перетворення ільменіту в оксиди титану з утворенням на кінцевих стадіях лейкоксену (рис. 6, d). Ре-

Таблиця 4. Хімічний склад оксидів заліза, титану та марганцю, ваг. %  
Table 4. Chemical composition of iron, titan and manganese oxides, wt. %

Номер з/п	TiO <sub>2</sub>	FeO	UO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	PbO	MnO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ
1	51,35	47,14	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,18	0,01	—	0,03	0,08	—	98,79
2	50,86	48,01	"	"	"	0,25	—	0,03	0,02	0,14	—	99,31
3	56,04	43,25	"	"	"	0,15	1,00	Н. в.	Н. в.	0,11	—	100,55
4	96,24	0,54	—	—	"	Н. в.	Н. в.	"	"	Н. в.	Н. в.	96,78
5	99,01	0,01	—	0,08	"	"	"	"	"	"	"	99,10
6	82,59	3,94	0,26	—	"	"	"	"	"	"	"	86,79
7	96,47	0,32	Н. в.	Н. в.	"	0,07	0,02	0,01	0,01	0,47	—	97,37
8	85,38	10,53	"	"	"	0,06	0,45	0,01	Н. в.	Н. в.	Н. в.	96,43
9	—	67,84	2,16	—	0,37	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	70,37
10	—	63,37	2,94	—	0,39	"	"	"	"	"	"	66,7
11	—	65,41	2,82	—	0,32	"	"	"	"	"	"	68,55
12	—	62,18	1,05	—	0,23	"	"	"	"	"	"	64,46
13	—	66,11	2,70	—	0,40	"	"	"	"	"	"	69,21
14	—	60,90	2,56	—	0,34	"	"	"	"	"	"	63,8
15	Н. в.	74,95	0,12	—	0,09	"	"	"	"	"	"	75,16
16	"	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	64,89	0,35	"	"	"	"	65,24
17	"	"	"	"	"	59,48	1,35	"	"	"	"	60,83

Примітка. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. *Ільменіт*: ан. 1—3 — зерно 0,3 мм в перетині оточене біотитом, св. 56-166, гл. 51,3 м; 4, 5 — рутил, окремі зерна, св. 56-188, гл. 33,05 м; 6 — дрібне (0,01—0,03 мм в перетині) ідіоморфне зерно рутилу, там само; 7 — анатаз-брукіт, зростки двох фаз (темна), св. 56-166, гл. 51,3 м; 8 — світла фаза, там само; 9—15 — облямівки гідроксидів заліза навколо піриту, св. 56-188, гл. 33,05 м; 16, 17 — гідроксиди марганцю (псиломелан), св. 56-188, гл. 33,05 м.

Note. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. *Ilmenite*: samples 1—3 — grain 0.3 mm wide surrounded by biotite, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 4, 5 — separate grains of rutile, borehole No 56-188, depth 33.05 m; 6 — fine (0.01—0.03 mm wide) idiomorphic rutile grain, the same location; 7 — anatase-brookite aggregates of two phases (dark), borehole No 56-166, depth 51.3 m; 8 — light phase, the same location; 9—15 — shell of iron hydroxides around pyrite, borehole No 56-188, depth 33.05 m; 16, 17 — manganese hydroxides (psilomelane), borehole No 56-188, depth 33.05 m.

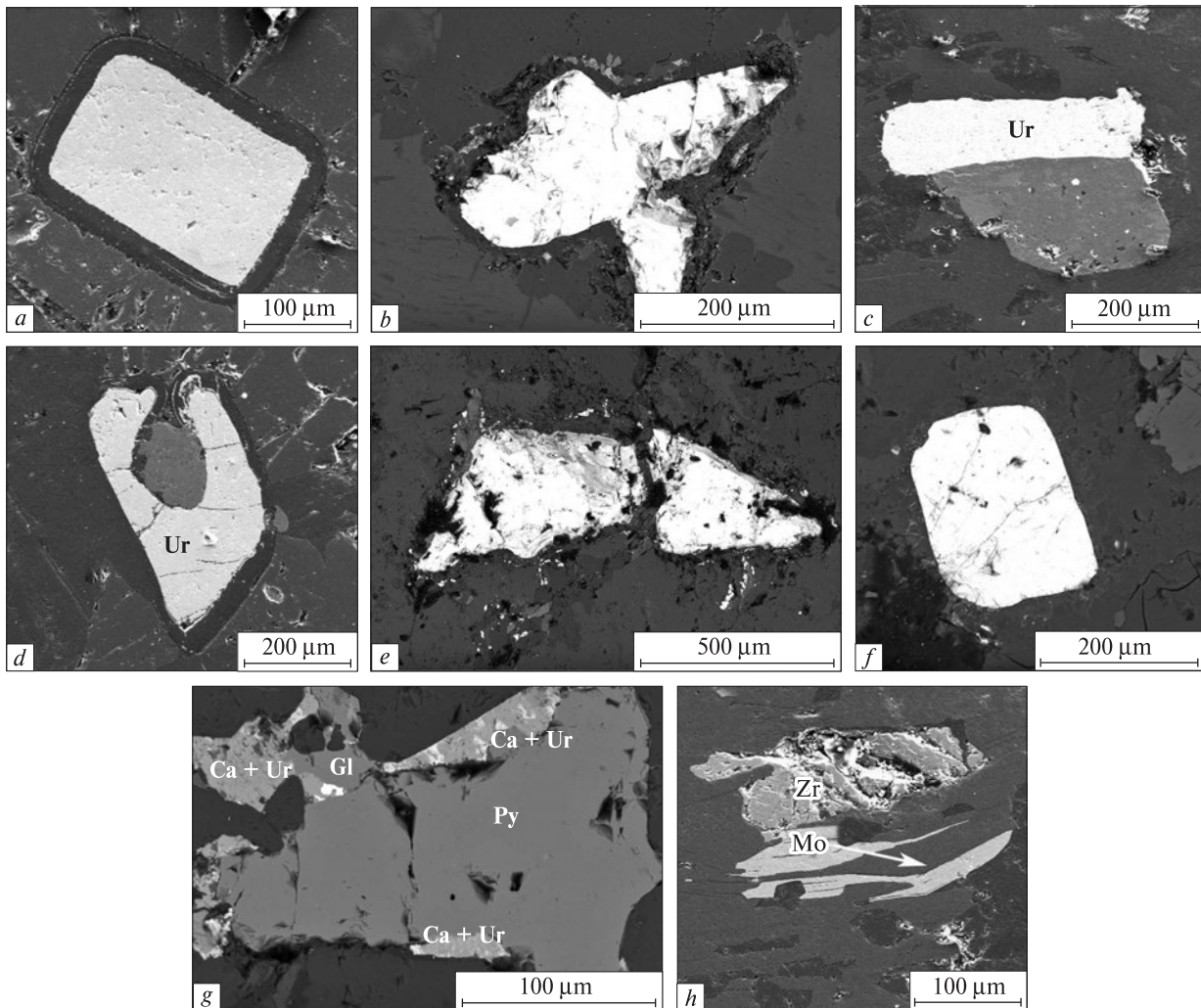


Рис. 7. Електронні знімки уранініту (Ur), циркону (Zr), вторинних уранових мінералів та сульфідів із Хмільницького рудопрояву: *a* — *f* — морфологія виділень уранініту з плеохроїчними двориками; *g* — облямівки навколо піриту (Py), що складаються з уранової слюдки (Ur), карбонату (Ca), галеніту (G1); *h* — молібденіт (Mo) в асоціації з цирконом. Св. 56-166, гл. 51,3 м, св. 1615, гл. 78 м

Fig. 7. BSE images of uraninite (Ur), zircon (Zr), secondary uranium minerals and sulphides from the Khmilnyk ore occurrence: *a* — *f* — morphology of uraninite with pleochroic haloes; *g* — shells surrounding pyrite (Py), which consist of pitchblende (Ur), carbonate (Ca), galenite (G1); *h* — molybdenite (Mo) associated with zircon. Borehole No 56-166, depth 51.3 m, borehole No 1615, depth 78 m

зультати мікрозондових аналізів ільменіту наведено в табл. 4.

*Рутил* (у тому числі анатаз-брукіт) розвивається у вигляді плоских сітчастих двійників (подібних до сагеніту) по ільменіту. В деяких випадках утворення пластинчастих кристалів відбувається на периферії зерен (рис. 6, *d*). Кристалічні агрегати, як правило, призматичного вигляду, розмір їх досягає 5 мм за видовженням і 0,7 — у перетині. Хімічний склад рутилу і анатаз-брукіту наведений у табл. 4.

*Гідрооксиди заліза* утворюють скупчення, що складаються з двох або декількох зерен (св. 56-

166, гл. 66,7 м), які є самостійними виділеннями або ж у вигляді облямівки заміщують сульфід заліза та міді. У відбитому світлі забарвлення мінералу блакитно-сіре. У св. 56-188 (гл. 33,05 м) у складі мінералу відмічено підвищену концентрацію урану до 2,94 % (табл. 4). Уранвмісний гетит трапляється зі зміненими цирконом, рабдофанітом, псиломеланом і сидеритом. Часткова сорбція урану гідрооксидами заліза досить поширена в ураноносних кремній-калієвих метасоматитах.

*Апатит* зафіксовано у вигляді дрібних (0,01—0,5 мм) ксеноморфних зерен жовтого і черво-

Таблиця 5. Хімічний склад монацитів, апатитів та цирконів, ваг. %  
Table 5. Chemical composition of monazite, apatite and zircon, wt. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	0,89	0,01	0,08	0,75	1,52	0,91	31,29	31,60	30,18	17,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	1,49	1,24	1,26	Н. в.
FeO	0,62	0,04	0,05	2,64	0,83	1,75	1,12	0,92	1,62	1,64
CaO	2,56	1,56	1,47	2,33	2,04	1,79	1,84	1,30	1,52	2,99
TiO <sub>2</sub>	Н. в.	0,07	0,01	0,26	0,09	0,27	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,07
ThO <sub>2</sub>	10,14	5,30	4,79	5,00	4,56	4,12	0,08	0,16	0,05	0,24
UO <sub>2</sub>	0,95	1,62	1,45	6,49	4,72	5,15	0,41	0,62	0,34	1,35
PbO	1,18	0,52	0,67	Н. в.	Н. в.	Н. в.	—	0,01	—	Н. в.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,59	28,51	28,05	18,84	19,53	18,63	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,03
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,71	15,24	15,39	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	Н. в.
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.	14,18	15,01	"	"	"	"	"	"	"
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	3,20	3,52	"	"	"	"	"	"	"
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,17	0,12	2,30	1,26	11,98	"	"	"	4,41
ZrO <sub>2</sub>	0,07	—	—	—	—	—	63,54	64,24	63,15	39,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	27,46	28,62	27,94	28,57	29,84	29,47	Н. в.	Н. в.	Н. в.	7,63
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.	Н. в.	Н. в.	0,02	0,03	0,01	"	"	"	1,32
Σ	79,28	99,04	98,55	67,20	64,42	74,08	99,77	100,09	98,12	76,97

Компонент	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
SiO <sub>2</sub>	18,42	21,15	19,34	0,41	0,98	0,64	1,15	26,92	27,54	28,05	26,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
FeO	3,90	1,73	3,52	0,17	0,01	0,28	0,32	0,26	0,13	0,18	0,04
CaO	6,85	1,92	4,43	1,74	1,46	50,70	48,83	0,08	0,07	0,02	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,18	0,03	0,08	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
ThO <sub>2</sub>	0,89	0,17	0,25	7,57	6,28	—	—	0,59	0,55	0,06	0,27
UO <sub>2</sub>	7,81	2,29	3,74	1,66	2,76	0,02	0,03	0,09	0,68	0,39	0,40
PbO	Н. в.	0,02	0,16	0,92	Н. в.	—	—	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24	0,13	0,06	22,90	20,04	0,10	0,11	—	—	—	—
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.	Н. в.	Н. в.	12,26	12,55	—	0,01	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	"	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	"
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,59	1,36	2,00	1,27	2,08	0,07	0,01	0,12	0,08	0,10	0,05
ZrO <sub>2</sub>	37,26	40,28	41,84	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	62,57	63,14	64,28	61,86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,01	6,14	8,71	28,16	26,25	44,38	47,64	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	1,79	0,83	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	"
Σ	86,83	77,01	84,96	77,06	72,41	96,20	98,16	90,63	92,19	93,08	89,62

Примітка. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. 1 — монацит у вигляді видовженого та катаклазованого зерна, св. 56-166, гл. 93,7 м; 2, 3 — відносно велике зерно монациту світло-зеленого кольору, св. 56-137, гл. 57,2 м; 4—6 — рабдофаніт (?), св. 56-188, гл. 33,05 м; 7—9 — циркони, св. 56-166, гл. 51,3 м; 10, 11 — змінений циркон, св. 56-188, гл. 33,05 м; 12, 13 — змінений циркон, св. 56-188, гл. 33,05 м; 14, 15 — зерна монациту, св. 1615, гл. 78 м; 16, 17 — апатити, там само; 18—21 — циркони, св. 1615, гл. 78 м.

Note. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. 1 — monazite which looks like stretched and cataclased grain, borehole No 56-166, depth 93.7 m; 2, 3 — relatively large monazite grain of light green color, borehole No 56-137, depth 57.2 m; 4—6 — rhabdophanite (?), borehole No 56-188, depth 33.05 m; 7—9 — zircons, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 10, 11 — altered zircon, borehole No 56-188, depth 33.05 m; 12, 13 — altered zircons, borehole No 56-188, depth 33.05 m; 14, 15 — monazite grains, borehole No 1615, depth 78 m; 16, 17 — apatites, the same location; 18—21 — zircons, borehole No 1615, depth 78 m.

Таблиця 6. Хімічний склад уранінітів, ваг. %

Table 6. Chemical composition of uraninite, wt. %

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	0,78	0,28	0,06	0,07	0,03	0,31	0,26	0,10	0,17	0,49
PbO	13,84	13,04	16,23	13,98	12,15	12,89	11,15	13,05	12,63	13,16
UO <sub>2</sub>	80,00	84,12	78,54	81,53	82,01	81,47	84,21	82,82	83,56	83,90
ThO <sub>2</sub>	0,61	0,77	0,59	0,92	0,45	0,64	0,06	0,09	0,19	0,06
CaO	1,45	1,65	0,80	1,64	1,52	1,79	2,13	1,47	1,73	1,58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,03	0,03	0,12	0,02	0,16	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	"
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,21	0,18	"	"	"	"	"	"	"
BaO	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	"	"	"	"
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
MgO	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
SO <sub>3</sub>	"	"	"	0,17	0,24	0,19	"	"	"	"
MnO	"	"	"	Н. в.	Н. в.	Н. в.	"	"	"	"
ZrO <sub>2</sub>	—	—	—	0,02	—	—	—	—	—	0,01
FeO	0,27	0,58	0,21	0,42	0,11	0,30	0,77	0,29	0,54	0,33
Σ	97,18	100,82	96,96	98,87	96,53	97,75	98,58	97,82	98,82	99,53

Компонент	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO <sub>2</sub>	0,26	0,19	1,24	0,76	0,05	0,09	0,47	0,02	0,26	0,12
PbO	15,06	12,63	14,27	13,62	15,23	12,50	10,01	14,00	14,92	12,43
UO <sub>2</sub>	81,42	78,42	80,55	81,00	84,01	76,34	83,22	74,27	76,32	77,91
ThO <sub>2</sub>	0,80	0,36	0,23	0,19	0,73	1,82	3,01	3,87	2,59	2,65
CaO	0,92	0,27	1,29	1,36	0,53	0,56	0,36	0,31	0,44	0,70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	—	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	"	"	Н. в.	—	0,01	0,21	0,14	0,04
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	"	"	0,24	0,76	0,49	0,26	0,45	0,52
BaO	"	"	"	"	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	—	"	"	"	"	"	"	"	"
MgO	"	Н. в.	"	"	"	"	"	"	"	"
SO <sub>3</sub>	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
MnO	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
ZrO <sub>2</sub>	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
FeO	—	—	0,17	0,23	0,37	0,71	0,63	0,08	0,15	0,54
Σ	98,46	91,87	97,75	97,16	101,16	92,78	98,38	93,02	95,27	94,91

П р и м і т к а. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. 1 — ідіоморфне зерно (0,2 мм в перетині), центр, св. 56-166, гл. 51,3 м; 2 — край цього зерна; 3 — дрібне (0,02 мм в перетині) зерно округлої форми, там само; 4—6 — профілізація щодо великого зерна, відповідно, край-центр-край, там само; 7—10 — фрагменти катаклазованого зерна в асоціації з цирконом, св. 56-166, гл. 51,3 м; 11, 12 — неоднорідне зерно, що складається з декількох частин, св. 56-166, гл. 51,3 м; 13, 14 — зерно округлої форми в мікрокліні, св. 56-166, гл. 66,7; 15 — ізометричної форми зерно, св. 56-137, гл. 57,2; 16 — округле зерно, окремо розташоване в біотиті, св. 1615, гл. 78 м; 17 — видовжене зерно в зрощенні із цирконом, там само; 18, 19 — дрібні вclusions в цирконі, там само; 20 — ідіоморфне зерно, там само.

Not e. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. 1 — idiomorphic grain (0.2 mm wide), borehole No 56-166, depth 51.3 m; 2 — an edge of the same grain; 3 — fine (0.02 mm wide) grain of rounded shape, the same location; 4—6 — large grain corresponding edge-center-edge, the same location; 7—10 — fragments of cataclased grain associated with zircon, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 11, 12 — non-homogenous grain of several parts, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 13, 14 — rounded grain in microcline, borehole No 56-166, depth 66.7 m; 15 — isometric grain, borehole No 56-137, depth 57.2 m; 16 — rounded grain, located separately in biotite, borehole No 1615, depth 78 m; 17 — elongated grain intergrown with zircon, the same location; 18, 19 — fine inclusions in zircon, the same location; 20 — idiomorphic grain, the same location.

Таблиця 7. Хімічний склад уранових слюдок, ваг. %  
Table 7. Chemical composition of pitchblende, wt. %

Оксид	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	2,48	0,94	6,42	3,61	2,14
PbO	—	0,04	0,32	0,09	0,16
UO <sub>2</sub>	49,87	50,15	47,83	50,65	43,98
ThO <sub>2</sub>	—	—	0,02	0,01	0,01
CaO	8,06	6,51	6,43	5,36	6,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20,37	18,16	16,76	18,48	18,00
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Н. в.	Н. в.	0,01	—	—
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	—	—	—
BaO	"	"	Н. в.	Н. в.	Н. в.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	"	"	"	"	"
MgO	"	"	"	"	"
SO <sub>3</sub>	0,23	0,42	"	"	"
MnO	Н. в.	Н. в.	"	"	"
ZrO <sub>2</sub>	"	"	"	"	"
FeO	1,56	2,73	5,32	3,92	4,10
Σ	82,57	78,95	83,11	82,12	74,51

Примітка. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. 1, 2 — уранові слюдки навколо піриту, св. 56-166, гл. 51,3 м; 3—5 — уранові слюдки в асоціації з піритом, св. 56-188, гл. 33,05 м.

Note. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. 1, 2 — pitchblende surrounding pyrite, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 3—5 — pitchblende associated with pyrite, borehole No 56-188, depth 33.05 m.

но-бурого кольору. В хімічному складі апатиту встановлені незначні (0,02—0,03 %) домішки урану (табл. 5). Найчастіше трапляється в ортоклаз-пертиті й олігоклазі гранітоїдів.

**Циркон** — найпоширеніший акцесорний мінерал, наявний практично у всіх різновидах порід. Найвища концентрація мінералу відмічена у пегматитах і аплітах, збагачених ураном та рідкісноземельними елементами (рис. 7, а, с). У залежності від геологічної обстановки, циркони розрізняються за морфологічними особливостями зерен та внутрішньою будовою окремих агрегатів. Переважно характерні заокруглені зерна зі слідами метаміктизації (рис. 6, е) і включеннями уранових мінералів. У рудних зонах присутні видовжені агрегати (рис. 6, б). За даними мікрозондового аналізу, концентрація урану в цирконі — 0,34—0,62 % (табл. 5).

Розміри зерен монациту в середньому досягають 0,02—0,1 мм в перетині, окремі кристали — до 0,3. Як видно з табл. 5, монацит із апліт-пегматоїдних двопольовошпатових гранітів (ан. 1) високоторієвий і низькоурановий, а в пегматитах (ан. 2, 3) залежність зворотна.

**Ураніт** спостерігається у вигляді розсіяного вкраплення в асоціації з цирконом і монацитом (рис. 6, 7). Як правило, поодинокі зерна, рідше — зростки декількох кристалів, тяжіють до виділень біотиту, кордієриту, гранату, а

Таблиця 8. Хімічний склад піритів, ваг. %  
Table 8. Chemical composition of pyrites, wt. %

Номер з/п	Fe	Ni	Co	Cu	Ag	As	S	Se	Mn	Pb	Σ
1	46,35	0,11	0,05	—	0,03	0,10	53,02	—	Н. в.	Н. в.	99,66
2	45,91	0,16	0,03	0,01	0,01	0,07	53,27	—	"	"	99,46
3	44,37	—	2,08	0,02	Н. в.	—	53,48	Н. в.	"	—	99,95
4	46,57	0,01	0,05	—	"	—	53,32	"	"	—	99,95
5	44,30	0,01	2,19	—	"	—	53,06	"	0,02	—	99,58
6	44,26	0,01	1,87	—	"	—	53,12	"	Н. в.	—	99,26
7	46,87	0,25	0,07	Н. в.	"	—	52,46	"	"	Н. в.	99,65
8	45,99	0,19	0,09	"	"	—	52,70	"	"	"	98,97
9	45,78	0,35	0,07	—	"	0,21	52,21	"	"	"	98,62
10	44,97	0,28	0,02	—	"	0,26	53,04	"	"	"	98,57

Примітка. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. 1, 2 — окремі зерна навколо уранітиту, св. 56-166, гл. 51,3 м; 3—6 — реліктові виокремлення серед лимоніту, св. 188/4, гл. 33,05 м; 7, 8 — пірит прямокутної форми серед халькопіриту, св. 56-137, гл. 57,2; 9, 10 — пірит в асоціації з урановими слюдками, св. 188/4, гл. 33,05 м.

Note. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. 1, 2 — separate grains surrounding uraninite, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 3—6 — relicts among limonite, borehole No 188/4, depth 33.05 m; 7, 8 — rectangular pyrite grain among chalcopyrite, borehole No 56-137, depth 57.2 m; 9, 10 — pyrite associated with pitchblende, borehole No 188/4, depth 33.05 m.

іноді знаходяться безпосередньо серед польових шпатів. Найбільш ранній ураніт присутній у цирконі у вигляді дрібних включень. У більшості випадків виділення ураніту оточені "плеохроїчними ореолами". В окремих випадках по ураніту розвивається кофінит. Значна частина зерен ураніту була роздроблена і складається з декількох частин (рис. 7, е). В аншліфах також помітна внутрішня тріщинуватість багатьох агрегатів. Мікротріщини цементуються вторинними мінералами, серед яких переважають сульфіди свинцю, заліза і міді. Кристалічні агрегати ураніту часто мають прямокутні перетини з округлими ребрами (зріз паралельно грані куба), інші — у вигляді трикутників (зріз паралельно грані октаедра) (рис. 6, 7). Розмір окремих зерен ураніту — до 0,08—0,2 мм у перетині, а найбільші індивіди — 1—1,5 мм. Хімічний склад

уранітів наведений в табл. 6, з якої видно, що виділяються два генетичних типи уранітів. Перший — акцесорний і характерний для апліт-пегматоїдних гранітів. Для нього типові ідіоморфні контури і високий вміст  $\text{ThO}_2 = 1,82\text{—}3,87\%$ . Другий — накладений у метасоматично змінених пегматитах. Він характеризується ксеноморфними контурами, кородованими зернами та низьким вмістом  $\text{ThO}_2 = 0,06\text{—}0,80\%$ .

Уранові слюдки встановлені у вигляді облямівок навколо виділень піриту (рис. 7, г). Реальну кількість мінералу в аншліфах визначити практично неможливо через його низьку відбивну здатність. За допомогою мікрозондового аналізу встановлено, що мінерал за складом найбільш подібний до отеніту (табл. 7).

Піротин спостерігається виключно в зонах біотитизації гнейсів у контакті з апліт-пегма-

Таблиця 9. Хімічний склад сульфідів міді та свинцю, ваг. %

Table 9. Chemical composition of copper and lead sulphides, wt. %

Номер з/п	Fe	Ni	Bi	Cu	Ag	Pb	Mn	S	Σ
1	30,41	0,07	—	34,66	0,02	—	—	34,61	99,77
2	31,02	0,02	—	34,82	0,01	—	—	33,92	99,79
3	30,15	0,09	—	33,47	0,04	—	—	34,05	97,8
4	30,69	0,17	—	34,12	0,03	—	—	34,30	99,31
5	30,12	0,10	—	33,97	0,01	—	—	33,17	97,37
6	—	—	0,01	—	0,04	86,82	—	12,74	99,61
7	—	—	0,03	—	0,05	87,13	—	12,60	99,81
8	Н. в.	Н. в.	0,01	—	0,04	86,82	Н. в.	12,74	99,61
9	"	"	0,03	—	0,05	87,13	"	12,60	99,81

Примітка. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. 1—5 — халькопірити в асоціації з галенітом, св. 56-166, гл. 51,3 м; 6—9 — галеніт, там само.

Note. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. 1—5 — chalcopyrites associated with galenite, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 6—9 — galenite, the same location.

Таблиця 10. Хімічний склад молібденітів, ваг. %

Table 10. Chemical composition of molybdenite, wt. %

Номер з/п	Mo	W	Re	Fe	Te	S	Σ
1	59,36	—	—	0,01	—	39,61	98,98
2	60,05	0,01	—	0,02	—	39,37	99,45
3	59,12	—	—	0,02	—	40,01	99,15
4	59,51	0,01	—	Н. в.	Н. в.	39,87	99,39
5	60,04	0,04	—	"	"	40,12	100,20
6	60,42	0,01	—	"	"	39,36	99,79

Примітка. Н. в. — не визначали, "—" — не виявлено. 1—3 — дрібні луски серед біотиту, св. 56-166, гл. 51,3 м; 4—6 — тонкі включення в біотиті, св. 1615, гл. 78 м.

Note. Н. в. — has not been analyzed, "—" — the component is not detected. 1—3 — fine flakes among biotite, borehole No 56-166, depth 51.3 m; 4—6 — fine inclusions in biotite, borehole No 1615, depth 78 m.

тоїдними гранітами. В процесі дисульфідизації мінерал заміщується пірит-марказитовими агрегатами. Іноді піротин вивопнює міжзерновий інтерстиційний простір серед темноколірних мінералів разом з халькопіритом та сфалеритом.

*Пірит* утворює алотріоморфнозернисті агрегати, прожилки, скупчення субідіоморфних виділень. Значна кількість його трапляється у край рідко. В більшості випадків сульфід розвивається за рахунок залізвмісних мінералів. Тонкозернистий пірит наявний у радіоактивних ореолах навколо зерен уранініту та монациту. Пірит як сульфідний геохімічний бар'єр (відновник) сприяє осадженню урану на низькотемпературних стадіях рудогенезу. Нами зафіксовані численні факти обростання піриту урановою слюдкою (рис. 7, *g*) та уранвмісним лимонітом у кварц-калішпатових метасоматитах. У тісних зростаннях з піритом зафіксовано марказит.

Часто пірит заміщений халькопіритом. Хімічний склад піриту характеризується значним коливанням вмісту основних компонентів (табл. 8). Різновид піриту з високим вмістом кобальту, властивий пегматитам, містить уранініт і отеніт.

*Халькопірит* присутній у зростанні з галенітом і у вигляді самостійних дрібних агрегатів (0,1—0,4 мм) в пегматитах. Мікрозондовий аналіз дав змогу визначити у складі мінералу незначну (соті частки відсотка) домішку нікелю та срібла (табл. 9).

*Галеніт* трапляється в зростанні з халькопіритом, а також утворює облямівки навколо піриту (рис. 7, *g*) в асоціації з кальцитом і отенітом. За результатами мікрозондових аналізів у ньому встановлено незначну (соті частки відсотка) домішку бісмуту (табл. 9).

Молібденіт в асоціації з піритом, халькопіритом і галенітом наявний у пегматитах, де утворює ізоструктурні зрощення з біотитом: спостерігається чергування лусок біотиту та молібденіту (0,01—0,02 мм) по площинах окремої. Рідше зафіксовано більші (0,02—0,1 мм) луски молібденіту в асоціації з цирконом (рис. 7, *h*). У хімічному складі молібденіту є незначна домішка вольфраму (табл. 10).

*Графіт* спостерігається досить рідко. Як правило, він приурочений до виділень біотиту в гранат-біотитових гнейсах, де утворює тонколускуваті, розеткоподібні агрегати.

**Висновки.** Встановлено, що на Хмільницькому рудопрояві підвищений вміст урану властивий апліт-пегматоїдним двопольовошпатовим

гранітам, але найвищий (промисловий) вміст зафіксовано в апопегматитових кремній-калієвих метасоматитах. У графітвмісних гранат-біотитових гнейсах, за рахунок яких, вірогідно, утворилися граніти, вміст урану перевищує кларковий для кристалічних порід УЩ майже удвічі, що характерно для Заваллівського уранового рудопрояву.

Виділено два головні типи рудних асоціацій. Перший — акцесорна мінералізація в апліт-пегматоїдних двопольовошпатових гранітах, представлена апатитом, цирконом, монацитом і уранінітом-І. Друга — накладена гідротермально-метасоматична мінералізація в зонах катаклазу пегматитів і аплітів, представлена рідкісноземельно-торій-урановою (циркон + монацит + уранініт + отеніт, оксидною (ільменіт + анатаз + рутил + гідроксиди заліза) та сульфідною (піротин + пірит + халькопірит + галеніт + молібденіт). Встановлено, що ранній акцесорний уранініт-І характеризується підвищеним вмістом торію і відмічається в апліт-пегматоїдних гранітах. Більш пізній уранініт-ІІ з пониженим вмістом торію є типовим мінералом для кремній-калієвих метасоматитів.

Ці факти свідчать про багатоетапний процес формування уранової мінералізації, пов'язаний із геологічною історією формування різноформаційних геологічних комплексів Подільського блоку УЩ. На межі 2000—2100 млн рр. відбувалися регіональні процеси ультраметаморфізму та гранітизації, які призвели до утворення апогнейсових мігматитів та апліт-пегматоїдних двопольовошпатових гранітів, істотно збагачених цирконом, монацитом, уранінітом, апатитом та ільменітом. На постмагматичному етапі утворилися пегматити і апліти, які під впливом залишкових постмагматичних розчинів зазнали суттєвого кремній-калієвого метасоматозу, під час якого і сформувалась уранова мінералізація.

Таким чином, *TR-Th-U* мінералізація Хмільницького рудопрояву за мінералого-геохімічними особливостями належить до калій-уранового генетичного типу, значно поширеного в межах Дністровсько-Бузького й Інгульського мегаблоків УЩ та міжблокових шовних зон.

*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. Бондаренко С.М., Карли З.В., Степанюк Л.М., Сьомка В.О., Донський М.О., Сьомка Л.В. Гайворонський рудопрояв калій-уранової формації: мінералогія, геохімія, час формування // Мінерал. журн. — 2014. — 36, № 4. — С. 107–121.
2. Бондаренко С.М., Карли З.В., Степанюк Л.М., Сьомка В.О., Донський М.О., Сьомка Л.В. Заваллівський рудопрояв калій-уранової формації: мінералогія, геохімія, час формування // Геохімія та рудоутворення. — 2014. — Вип. 34. — С. 3–17.
3. Геологическая карта кристаллического основания Украинского щита м-ба 1 : 500000 с объясн. зап. / В.М. Клочков, В.Г. Пастухов, И.К. Пашкевич; Гл. ред. Н.П. Щербак. — Киев : Мингео УССР, Центр. темат. эксп., 1983.
4. Егоров Ю.П., Тихоненко В.А. Химические составы пород, региональные кларки и геохимические фоны элементов Украинского щита. — Киев, 1981. — 2 с.
5. Каталог изотопных дат пород Украинского щита / Н.П. Щербак, В.Г. Злобенко, Г.В. Жуков, Ф.И. Котловская, Н.И. Полевая, Л.В. Комлев, Н.К. Коваленко, Г.М. Носок, В.И. Почтаренко. — Киев : Наук. думка, 1978. — 224 с.
6. Степанюк Л.М., Пономаренко О.М., Петриченко К.В., Курило С.І., Довбуш Т.І., Сергеев С.А., Родіонов М.В. Уран-винцева ізотопна геохронологія гранітоїдів бердичівського типу Побужжя (Український щит) // Мінерал. журн. — 2015. — 37, № 3. — С. 51–66.
7. Сьомка В.О., Бондаренко С.М., Паталаха М.Є., Ващенко В.П., Бондаренко І.М. Новий рудопрояв калій-уранової формації в Кочерівській тектонічній зоні (Північно-Західний район Українського щита) // Мінерал. журн. — 2006. — 28, № 4. — С. 59–75.
8. Цимбал С.М., Довгань Р.М., Єнтин В.А., Кривдік С.Г., Павлюк В.М., Цимбал Ю.С. Жданівський інтрузив флогопіт-амфіболових ультрабазитів (південно-західна частина Українського щита) // Геохімія та рудоутворення. — 2010. — Вип. 28. — С. 28–48.
9. Elming S.-Å., Shumlyansky L., Kravchenko S., Layer P., Söderlund U. Proterozoic Basic dykes in the Ukrainian Shield: A palaeomagnetic, geochronologic and geochemical study — The accretion of the Ukrainian Shield to Fennoscandia // Precamb. Res. — 2010. — 178. — P. 119–135.
10. Krough T.E. A low 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.
11. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. — 1989. — 542, No 88. — P. 40.
12. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0 // U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. — 1990. — 557, No 88. — P. 38.

Надійшла 07.07.2015

## REFERENCES

1. Bondarenko, S.M., Karli, Z.V., Stepanyuk, L.M., Syomka, V.O., Dons'kij, M.O. and Syomka, L.V. (2014), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 36 No 4, pp. 107-121.
2. Bondarenko, S.M., Karli, Z.V., Stepanyuk, L.M., Syomka, V.O., Dons'kij, M.O. and Syomka, L.V. (2014), *Geohimija ta rudoutvorennya*, Kyiv, Vyp. 34, pp. 3-17.
3. Klochkov, V.M., Pastuhov, V.G. and Pashkevich, I.K. (1983), in Shcherbak, M.P. (ed.), *Geologicheskaja karta kristallicheskogo osnovanija Ukrainського shhita m-ba 1 : 500000 s objasn. zap.*, Mingeo USSR, Centr. temat. eksp., Kyiv.
4. Egorov, Yu.P. and Tikhonenko, V.A. (1981), *Himicheskie sostavy porod, regional'nye klarki i geokhimicheskie fony elementov Ukrainського shhita*, Kyiv, 2 p.
5. Shcherbak, M.P., Zlobenko, V.G., Zhukov, G.V., Kotlovskaja, F.I., Polevaja, N.I., Komlev, L.V., Kovalenko, N.K., Nosok, G.M. and Pochtarenko, V.I. (1978), *Katalog izotopnyh dat porod Ukrainського Shhita*, Nauk. dumka, Kyiv, 224 p.
6. Stepanyuk, L.M., Ponomarenko, O.M., Petrichenko, K.V., Kurilo, S.I., Dovbush, T.I., Sergejev, S.A. and Rodionov, M.V. (2015), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 37 No 3, pp. 51-66.
7. Syomka, V.O., Bondarenko, S.M., Patalaha, M.Je., Vashchenko, V.P. and Bondarenko, I.M. (2006), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Kyiv, Vol. 28 No 4, pp. 59-75.
8. Tsymbal, S.M., Dovgan', R.M., Jentin, V.A., Kryvdik, S.G., Pavljuk, V.M. and Tsymbal, Yu.S. (2010), *Geohimija ta rudoutvorennya*, Kyiv, Vyp. 28, pp. 28-48.
9. Elming, S.-Å., Shumlyansky, L., Kravchenko, S., Layer, P. and Söderlund, U. (2010), *Precamb. Res.*, Vol. 178, pp. 119-135.
10. Krough, T.E. (1973), *Geochim. et cosmochim. acta*, Vol. 37 No 3, pp. 485-494.
11. Ludwig, K.R. (1989), *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.*, Vol. 542 No 88, p. 40.
12. Ludwig, K.R. (1990), *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.*, Vol. 557 No 88, p. 38.

Received 07.07.2015



*С.Н. Бондаренко, Л.М. Степанюк, З.В. Карли,  
В.А. Семка, Н.А. Донской, Л.В. Семка*

Институт геохимии, минералогии и рудообразования  
им. Н.П. Семеново НАН Украины  
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34  
E-mail: sbond@igmof.gov.ua; stepanyuk@igmof.gov.ua;  
syomka@igmof.gov.ua; donick\_gg@mail.ru

**ХМЕЛЬНИЦКОЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЕ КАЛИЙ-УРАНОВОЙ ФОРМАЦИИ:  
МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ВРЕМЯ ФОРМИРОВАНИЯ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)**

В десятки раз превышающее кларковое для кристаллических пород Украинского щита (УЩ) содержание урана установлено в аплит-пегматоидных двуполевошпатовых гранитах и апопегматитовых кремний-калиевых метасоматитах Хмельницкого рудопроявления. В графитсодержащих гранат-биотитовых гнейсах содержание урана превышает кларк УЩ почти вдвое, что характерно также для Завальевского уранового рудопроявления. Выделено два главных типа рудных ассоциаций. Первая — акцессорная минерализация в аплит-пегматоидных двуполевошпатовых гранитах, представлена апатитом, цирконом, монацитом и уранинитом-I. Вторая — наложенная гидротермально-метасоматическая минерализация в зонах катаклаза пегматитов и аплитов, представленная редкоземельно-торий-урановой (циркон + монацит + уранинит + отэнит), оксидной (ильменит + анатаз + рутил + гидрооксиды железа) и сульфидной (пирротин + пирит + халькопирит + галенит + молибденит). Установлено, что ранний акцессорный уранинит-I характеризуется повышенным содержанием тория и зафиксирован в аплит-пегматоидных гранитах. Более поздний уранинит-II, с пониженным содержанием тория — типичный минерал кремний-калиевых метасоматитов. *TR-Th-U* минерализация Хмельницкого рудопроявления по минералогическим особенностям принадлежит к калий-урановому генетическому типу, широко распространенному в пределах Днестровско-Бугского, Ингульского мегаблоков УЩ и межблоковых шовных зон.

*Ключевые слова:* Хмельницкое рудопроявление, возраст, минералогия, геохимия, циркон, монацит, уранинит, отэнит.

*S.M. Bondarenko, L.M. Stepanyuk, Z.V. Karly,  
V.O. Syomka, N.A. Donskoy, L.V. Syomka*

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy  
and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladina Pr., Kyiv-142, Ukraine, 03680  
E-mail: sbond@igmof.gov.ua; stepanyuk@igmof.gov.ua;  
syomka@igmof.gov.ua; donick\_gg@mail.ru

**KHMILNYK ORE OCCURRENCE OF POTASSIUM-URANIUM ROCK ASSOCIATION:  
MINERALOGY, GEOCHEMISTRY, FORMATION TIME (THE UKRAINIAN SHIELD)**

Uranium concentration exceeding ten times the uranium average concentration in crystalline rocks of the Ukrainian Shield is established in aplite-pegmatoid two-feldspar granites and apo-pegmatoid silica-potassium metasomatites of the Khmilnyk ore occurrence. Uranium concentration in graphitic garnet-biotite gneisses is about two times more than the average concentration in crystalline rocks of the Ukrainian Shield; it is indicative for Zavallya uranium occurrence as well. Two main types of ore associations are identified. The first one is accessory mineralization in aplite-pegmatoid feldspathic granites; it consists of apatite, zircon, monazite and uraninite-I. The second one is a superimposed hydrothermal and metasomatic mineralization in cataclastic zones of pegmatites and aplites of the uranium occurrence. It is represented by rare earth-thorium-uranium mineralization (zircon + monazite + uraninite + autunite), oxide one (ilmenite + anatase + rutile + iron hydroxides) and sulphide one (pyrrhotite + pyrite + chalcopyrite + galenite + molybdenite). It is determined that the earliest accessory uraninite-I is characterized by increased thorium content and occurs in aplite-pegmatoid granites. Uraninite-II with lower thorium content is a typical mineral of silica-potassium metasomatites. The *TR-Th-U* mineralization of the Khmilnyk ore occurrence is defined as potassium-uranium type, according to its mineralogical and geochemical features. This type is widespread within the Dniester-Bug and Ingulets megablocks of the Ukrainian Shield and interblock sutural zones.

*Keywords:* Khmilnyk ore occurrence, age, mineralogy, geochemistry, zircon, monazite, uraninite, autunite.