

УДК 549.514.81(477)

В.М. АЖАЖА¹, А.А. ВАЛЬТЕР², Г.К. ЄРЬОМЕНКО^{2,3}, А.І. ПИСАНСЬКИЙ²

¹ Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України
61108, м. Харків, вул. Академічна, 1

² Інститут прикладної фізики НАН України
40030, м. Суми, вул. Петропавлівська, 58
e-mail: avalter@iop.kiev.ua

³ Кримське відділення Українського державного геологорозвідувального інституту
95017, м. Сімферополь, просп. Кірова, 47/2

ЦИРКОН УКРАЇНИ В АСПЕКТІ ПОТРЕБ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Розглянуто головні риси мінералогії циркону промислових родовищ України в аспекті потреб ядерної енергетики.

Цирконій і гафній у ядерній енергетиці. Ядерно-фізичні та фізико-хімічні властивості цирконію і гафнію визначають їх роль як джерела важливіших матеріалів і конструкцій ядерної енергетики. За хімічними властивостями — це елементи-близнюки. Їх атоми, зазвичай, виявляють здатність до утворення чотиривалентних, позитивно заряджених іонів з повністю заповненою 4-*d* (цирконій) або 5-*d* (гафній) оболонкою. Через лантанідне стиснення розміри цих іонів стають однаковими (0,082 нм [1]), що разом з ідентичністю будови електронних оболонок забезпечує досконалий ізоморфізм їх атомів у кристалах.

Водночас ядерно-фізичні властивості цих елементів різні. Ізотопи цирконію мають дуже низькі значення перетинів захвату теплових нейтронів, а ізотопи гафнію, навпаки, дуже високі (табл. 1).

Головне значення для атомної енергетики має цирконій, що є найважливішим матеріалом для виготовлення конструкцій для активної зони реакторів на теплових нейтронах. У реакторах на збагаченому пальному використовують U-Zr-сплави або уран, диспергований у гідриді цирконію. Для застосування в ядерній енергетиці у цирконію має бути "реакторна чистота", тобто вміст гафнію має не перевищувати 0,005 % [3, 4].

Металевий гафній та його сполуки використовують для виготовлення стрижнів-регуляторів ядерних реакторів і захисних пристосувань [4].

Важливість цирконію і гафнію для ядерної енергетики визначається також сприйнятливими конструкційними вла-

© В.М. АЖАЖА,
А.А. ВАЛЬТЕР,
Г.К. ЄРЬОМЕНКО,
А.І. ПИСАНСЬКИЙ, 2007

стивостями цих металів та їх сполук для реакторобудування: високою жаротривкістю (табл. 2); малим коефіцієнтом термічного розширення металів; їх придатністю для гарячої і холодної обробки; корозійною стійкістю до дії гарячої води, пари, розбавлених і деяких концентрованих кислот, лугів та інших агресивних середовищ [4, 5].

Короткі дані щодо поширеності і мінеральних форм цирконію та гафнію. Обидва елементи належать до рідкісних. Цирконій за поширеністю займає 19-ту позицію серед елементів земної кори. Його вміст у ній оцінюють у $(16-17)10^{-3}$ %. Поширеність гафнію приблизно у 50 разів нижча і становить $(3-5)10^{-4}$ %. Виявлено близько 30 мінералів, переважно оксидів і лужних силікатів, які можна вважати сполуками цирконію, оскільки масова частка цього елемента в них перевищує 4 % [6].

Найпоширенішим мінералом цирконію є ортосилікат — циркон $ZrSiO_4$. Певне практичне значення має природний моноклінний діоксид цирконію — баделеїт. Утім він набагато менш поширений, ніж циркон. Інші мінерали цирконію через зазвичай низькі поширеність і вміст цирконію в них практичного значення як джерело цирконію не мають.

Гафній — сталий елемент у цирконієвих мінералах. Співвідношення концентрацій цих елементів приблизно відповідає співвідношенню їх загальної поширеності. Відносне збільшення концентрації гафнію спостерігається в деяких різновидах циркону, що утворилися на пізніх стадіях магматичного або гідротермального процесу. З мінералів-концентраторів гафнію, що не містять цирконію, можна згадати рідкісний силікат скандію — тортвейтит $(Sc,Y)_2(Si_2O_7)$, який містить до 1 % гафнію.

Циркон — хімічно і механічно стійкий мінерал. У процесі руйнування корінних порід він нагромаджується у розсипищах. Практично весь сучасний світовий видобуток циркону здійснюється з екзогенних родовищ — дрібнозернистих прибережно-морських, алювіальних і меншою мірою — із залишкових елювіальних розсипищ. Вартість отримання цирконових концентратів з цих родовищ відносно невелика, і корінні родовища стають рентабельними для розробки здебільшого лише тоді, коли в рудах є й інші цінні компоненти.

Ресурси циркону в Україні. В Україні циркон є єдиним практично цінним мінеральним концентратором цирконію. Баделеїт трапляється лише у вигляді рідкісного мінералу в цирконових розсипищах і в корінному заляганні у деяких карбонатитах.

Головні ресурси циркону України зосереджені в розсипних родовищах, які сформувалися в процесі руйнування корінних утворень Українського щита — давніх вивержених і метаморфічних гірських порід. У них циркон поширений

Таблиця 1. Характеристика стабільних ізотопів цирконію та гафнію [2]

Ізотоп	η , %	σ_0 , б	$I_{0,5}$, б	Ізотоп	η , %	σ_0 , б	$I_{0,5}$, б
Zr-90	51,46	0,050	0,612	Hf-174	0,16	5,1	445
Zr-91	11,22	1,177	4,822	Hf-176	5,26	23,3	1003
Zr-92	17,15	0,219	0,610	Hf-177	18,60	382	7214
Zr-94	17,38	0,049	0,266	Hf-178	27,28	71,3	1726
Zr-96	2,80	0,023	5,576	Hf-179	13,62	39,6	541
Природний цирконій	100	0,185	107,4	Hf-180	35,08	13,2	35,2
				Природний гафній	100	104,3	1939

П р и м і т к и: η — природна атомна поширеність; σ_0 — перетин захвату нейтронів у тепловій точці $E = kT = 0,0253$ еВ ($T = 293,6$ К); $I_{0,5}$ — епікадмієвий резонансний інтеграл — інтегральне поглинання до енергії $\sim 0,5$ еВ. За Міжнародною системою СІ 1 барн (б) = 10^{-28} м².

практично повсюдно і утворює найвищі концентрації (до десятих часток відсотка) в деяких різновидах лужних порід [7]. Протягом тривалого геологічного часу — приблизно 1,2—1,5 млрд років, Український щит зазнавав переважно повільне здійснення, що супроводжувалося ерозією корінних порід. Через руйнування кристалічних порід утворювалися крихкі глинисті кори вивітрювання, що містили стійкі до звітрювання мінерали, зокрема і циркон. Час від часу значна частина щита покривалася мілководними морями, більш глибокі зони яких розміщувалися в межах Дніпровсько-Донецької западини, розвиненої у вигляді звуженого на південний схід клину між Українським щитом на південному заході і Воронежським кристалічним масивом на північному сході. У прибережній зоні морів виникали розсипища. Сучасне розташування території поширення розсипищ здебільшого трасує прибережні частини цієї западини (рис. 1). Цирконові розсипища знаходяться у відкладах сарматського ярусу і полтавської серії неогену, тобто сформувалися близько 25 млн років тому. На узбережжі Чорного і Азовського морів відомі сучасні морські розсипища (див. рис. 1).

Розсипища як носії ресурсів цирконію мають найбільшу цінність. За розвіданими і експлуатаційними запасами комплексних легко збагачуваних титаноцирконієвих руд Україна займає провідне місце серед країн СНД та Європи. Ресурси цирконію в Україні становлять понад 10 % світових, він міститься в розвіданих родовищах і попередньо вивчених перспективних проявах розсипного і корінного типів.

Корінні родовища циркону пов'язані з лужними породами. Розвідані корінні родовища є на Приазов'ї (див. рис. 1), на південному заході країни (Яструбецький масив лужних гранітів) відомі й перспективні прояви цього типу.

Серед розсипних вирізняється за масштабами *Малишівське (Самотканське) родовище* у Дніпропетровській області, на частку якого припадало 2/3 розвіданих запасів і до 40 % видобутку цирконію в СРСР. Крім Малишівського, що розробляється, розвідані Вовчанське, Воскресенське в Дніпропетровській області, Тарасівське у Київській, Краснокутське — у Харківській області.

Малишівське родовище є прибережно-морським розсипищем, похованим у піщаних відкладах полтавської серії і сарматського ярусу неогену. Ширина найбільш витриманих і багатих рудних покладів 0,3–1,0 км, довжина до 20 км за потужності 5–10 м (у середньому 7,9 м). Важка фракція становить від 10–15 до 100–150 кг/м³. Середній вміст циркону в рудному піску 7,6 кг/м³ (5,1 кг/м³ діоксиду цирконію).

Склад мінералів важкої фракції: змінений ільменіт — 44 %, рутил+лейкоксен (тонкокристалічна суміш оксидів титану) — 16, циркон — 9,6, дистен + силіманіт — 13, турмалін — 9 %; залишок — інші мінерали у невеликих кількостях, у тому числі близько 0,1 карата на 1 м³ — дрібних алмазів.

Родовище розробляється з 1961 р. відкритим способом Верхньодніпровським гірничо-металургійним комбінатом. У складі комбінату працюють кар'єри, збагачувальні фабрики, збагачувальна фабрика з очищення від заліза цирконового концентрату, виробництво ZrO₂ і HfO₂.

Головними продуктами збагачення є цирконовий, рутиловий та ільменітовий концентрати. Попутно отримують дистен-силіманітовий, ставролітовий кон-

Таблиця 2. Температура плавлення цирконію, гафнію і деяких їх сполук [3–5]

Цирконій і його сполуки	T, К	Гафній і його сполуки	T, К
Zr	2130	Hf	2495
ZrB ₂	3310	HfB ₂	3520
ZrC	3690	HfC	4220
ZrN	3250	HfN	3580
ZrO ₂	2970	HfO ₂	3170

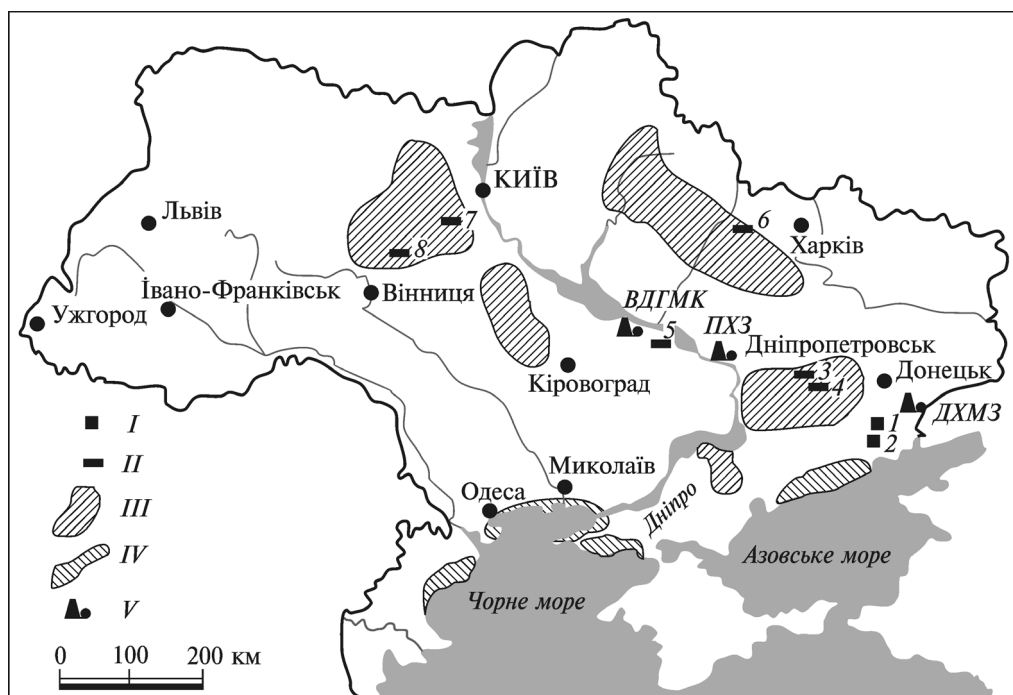


Рис. 1. Схема розміщення цирконієвих родовищ України (за [8] із зміненнями):
 I — корінні родовища, цифри на схемі: 1 — Октябський масив (Балка Мазурова та ін.), 2 — Азовське;
 II — розсипища: 3 — Воскресенське, 4 — Вовчанське, 5 — Малишівське, 6 — Краснокутське, 7 —
 Тарасівське, 8 — Зеленоярське; III — райони розвитку викопних титано-цирконієвих розсипищ; IV — те
 саме сучасних розсипищ; V — гірничодобувні та металургійні підприємства з переробки цирконових руд
 (ДХМЗ — Донецький хіміко-металургійний завод (корінне родовище “Балка Мазурова”), ПХЗ —
 Придніпровський хімічний завод, ВДГМК — Верхньодніпровський гірничо-металургійний комбінат
 (розсипне Малишівське родовище))

центрати, формувальні збагачені кварцові піски. На місці переробляють цирконовий і частково ільменітовий концентрати. Рутіловий і основну частину ільменітового концентратів надсилають споживачам без переробки. В цирконі з концентрату Малишівського родовища міститься 64,3–67 % суми $ZrO_2 + HfO_2$, вміст HfO_2 в цій сумі — 1,6–1,9 %. Інші домішки: ітрій і лантаноїди — 0,14–0,64 %, U — 0,02, Th — 0,01 %.

Приблизно 2,5 % цирконового концентрату складає метаміктний різновид (малакон), тотожний до циркону уранових руд деяких родовищ Центральноукраїнської урановорудної провінції, звідки, ймовірно, цей різновид і походить. У цьому цирконі вміст HfO_2 сягає 2,3 %, підвищений також вміст P_2O_5 , Y, TR і деяких інших елементів, зокрема U і Th. Існує можливість виділяти цей різновид циркону в самостійний високогафнієвий продукт, оскільки він має підвищену магнітну сприйнятливість. На цей час запаси родовища відпрацьовані приблизно на 40 %. Проте і ті 60 %, що залишилися, забезпечуватимуть сталі добування приблизно на 40 років [8].

Резервним для ВДГМК вважається *Вовчанське родовище*, що розміщується в Дніпропетровській області в лівобережній частині Середнього Придніпров'я, в середній течії р. Вовча. За будовою, речовинним складом та умовами утворення родовище є близьким аналогом Малишівського, значно поступаючись йому за масштабами (приблизно 10 % від первинних запасів Малишівського родовища). Розсипище складається з трьох горизонтально залягаючих рудних покладів — стрічкоподібних тіл, витягнутих у субширотному напрямку на кілометри за ши-

рини до 500 м і потужності до 11 м. Найбагатшим є Північний поклад, що простежується на десятки кілометрів. У середньому склад мінералів у важкій фракції становить, %: змінений ільменіт — 34—53; рутил+лейкоксен — 10—15; циркон — 3—9; дистен + силіманіт — 20—47; ставроліт — 5—15. У незначних кількостях є турмалін та інші мінерали. У північній частині Північного покладу простежена смуга завширшки 200—400 м із вмістом циркону у важкій фракції від 20 до 90 %. Середній вміст у руді такий, кг/м³: ZrO₂ — 3,9; TiO₂ — 76,9. У цирконі сума ZrO₂ + HfO₂ становить 63,1—65 %. Вміст HfO₂ приблизно той самий, що у цирконах Малишівського розсипища. Домішки в цирконі, %: U₂O₃ — 0,17; TR₂O₃ — 0,3; ThO₂ — 0,07.

Тарасівське родовище в Київській області розміщується на правобережжі середньої течії р. Рось, у 25 км на південь від м. Біла Церква. Родовище являє собою поховане титано-цирконієве розсипище, що складається прибережно-морськими і частково дельтовими пісками, збагаченими на рудні мінерали. Розсипище стратиграфічно належить до середнього горизонту полтавської серії неогену. Це пластовий поклад, що залягає горизонтально чи з невеликим нахилом. Довжина його сягає 15—20 км, ширина — кількох кілометрів. Рудні піски дрібнозернисті, добре сортовані і відмиті від глинистої речовини. Внутрішня будова розсипища є складною. Потужність рудного пласта в середньому 6 м, потужність перекирваних четвертинних покладів у середньому 27 м.

Центральний поклад є більшим і найбагатшим. Його довжина близько 10 км, ширина — 0,5—3,5 км. Вміст важких мінералів у руді змінюється від кількох кілограмів на кубічний метр до 100 кг/м³ і більше. Головні рудні мінерали розсипища — змінений ільменіт, рутил і циркон, другорядні — дистен, силіманіт, ставроліт і турмалін. У південній частині покладу простежені вузькі лінзоподібні рудні тіла із вмістом циркону до 16—20 кг/м³. Вміст HfO₂ відносно суми ZrO₂ + HfO₂ становить 1,85 % за масою. За ресурсами ZrO₂ поклад приблизно вдвічі перевищує Тарасівське родовище.

Крім згаданих родовищ відомо понад 10 недостатньо вивчених родовищ і понад 200 рудопроявів того самого типу.

Поряд із розсипними родовищами в Україні відомі корінні комплексні цирконій-рідкіснометалеві родовища і рудопрояви. З них найбільш значними є родовища Східного Приазов'я: Балка Мазурова (ніобій-цирконієве) та інші родовища Октябрського лужного масиву; Азовське (цирконій-рідкісноземельне).

Родовище Балка Мазурова розміщується в 10 км на південь від м. Волноваха Донецької області. Родовище приурочене до нижньопротерозойських (1,7 млрд років) порід Октябрського інтрузивного масиву, що належить до сієніт-нефелін-сієнітової формації. Комплексні циркон-пірохлорові руди родовища пов'язані з альбіт-нефеліновими сієнітами (маріуполітами), альбітизованими нефеліновими пегматитами та альбітитами. Для родовищ цього типу притаманні перевага цирконію над ніобієм, відносно невеликі масштаби зруденіння і невисокий вміст рудних компонентів.

Родовище представлено серією слабонахилених пластовидібних рудних покладів (зруденілі маріуполіти, альбітитами, нефелінові сієніти), що містяться один над одним у масиві основних — ультраосновних порід. Середня масова частка в рудах, %: ZrO₂ + HfO₂ — 0,42; Nb(Ta)₂O₅ — 0,11. Головні рудні мінерали містять, %: циркон: ZrO₂ + HfO₂ — 62—66; HfO₂ — 1,25—1,45 від цієї суми; TR₂O₃ — 0,1—0,3; пірохлор: Nb₂O₅ — 50—60; Ta₂O₅ — 2,8—3,9; ThO₂ — 0,4—0,5; TR₂O₃ — 0,8—8,5; U₃O₈ — 1,0—1,2. Рідкісноземельні елементи зв'язані в силікофосфаті рідкісних земель і кальцію — бритоліті, що містить приблизно 60 % оксидів рідкісних земель. Як акцесорні встановлені ринкіт, астрофіліт, куплетськіт, чевкінит та інші мінерали, що містять рідкісні землі та цирконій. На родовищі ще

в 1940 р. уперше в СРСР був отриманий цирконовий концентрат. З 1947 р. тут діє Донецький хіміко-металургійний завод, де виробляли беззалістий цирконовий концентрат, згодом порошки, оксиди, солі цирконію, злитки ніобію високої чистоти, іодидні титан і гафній.

З початку розробки Малишівського розсипища, яке стало давати значно дешевший і якісніший цирконовий концентрат, видобуток і переробку руд на Мазурівському родовищі було зупинено. Станом на цей час здійснюється детальна розвідка глибоких горизонтів родовища і провадиться його геолого-економічна оцінка. За прогнозними ресурсами з урахуванням інших зрудених ділянок Октябрського лужного масиву — родовище є крупним.

У 1959—1965 рр. інститути Академії наук України та інші організації під загальним керівництвом академіка М.П. Семененка розробили технологію комплексної переробки нефелінових сієнітів родовища з отриманням глинозему, концентрату рідкісних металів (цирконію, ніобію і гафнії), цементу і лугів. Економічна доцільність такої переробки дискутується.

Азовське цирконій-рідкісноземельне родовище розташоване в межах Донецької області в околицях смт Володарське. Родовище пов'язане з масивом сієнітів ранньопротерозойського віку. Рудні тіла мають магматогенну (кумулятну) природу і переважно тяжіють до олівін-амфіболових лужнопольовошпатових сієнітів такситової текстури. Руди за складом силікатні комплексні — рідкісноземельно-цирконієві. Головні рудні мінерали — циркон, ітрійвмісний бритоїт, бастнезит і ортит. Породоутворювальними мінералами є польові шпати, другорядні — флюорит, магнетит, TR-апатит, TR-титаніт, сульфід, карбонати: сидерит, кальцит. Вміст $ZrO_2 + HfO_2$ в рудах коливається, зазвичай, у межах 1,4—1,8 % (середнє — 1,47 %, в окремих перетинах до 2—2,5 %). Циркон характеризується співвідношенням $Zr/Hf = 81,6$. Частка оксидів рідкісних земель у цирконі 0,5—0,8 %, співвідношення $TR_{Ce}/TR_{Y} = 0,7$. Вміст суми рідкісних земель у рудах 1,5—3 % (у середньому 1,78 %). Ресурси цирконію в рудах родовища дуже значні. З руди можна отримувати цирконовий концентрат, що містить до 62 % $ZrO_2 + HfO_2$ за витягання 70—73 %.

Коротка порівняльна характеристика циркону різних родовищ. Тетрагональна атомна структура циркону реалізується в кристалах у вигляді комбінації біпірамідальних і призматичних граней. Вигляд кристалів визначається взаємним розвитком цих граней і змінюється від довгопризматичного до майже ізометричного (біпірамідального) (рис. 2, 3).

Відносно “пригнічення” призматичних граней і переважання дипірамідальних відбувається зі збільшенням лужності мінералоутворювального середовища (розплави чи високотемпературні розчини). Для корінних порід, де утворення циркону відбувалось із лужного середовища, характерні біпірамідальні і коротко-

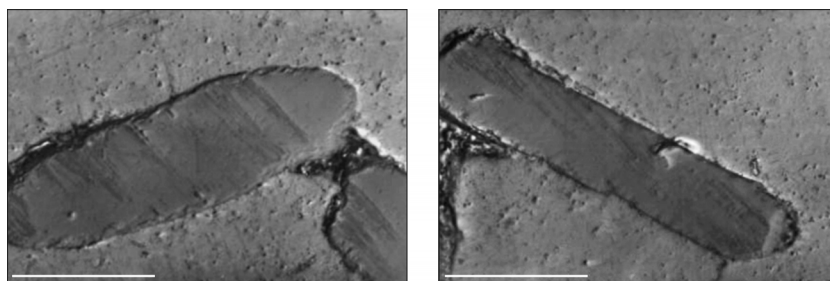


Рис. 2. Довгопризматичні кристали циркону з Малишівського розсипища. Приполірований препарат. Сканувальний електронний мікроскоп. Масштаб — 100 мкм

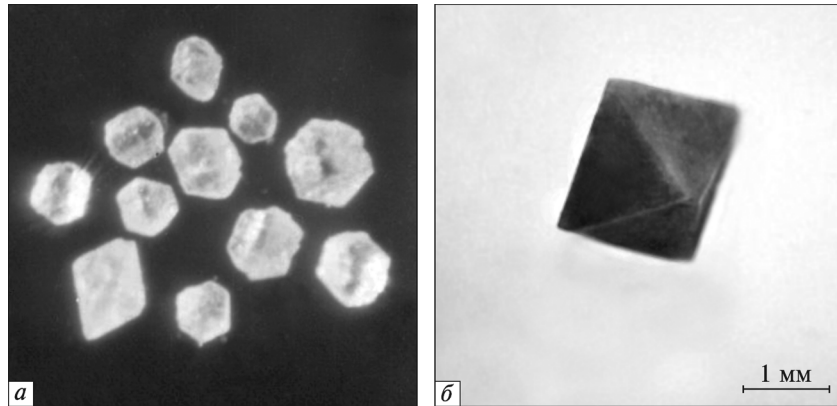


Рис. 3. Кристали циркону з гірських порід Октябрського лужного масиву: *a* — група дипірамідальних і короткопризматичних кристалів із сієнітів, масштаб 0,5 мм; *б* — біпірамідальний кристал циркону з більш лужної породи — нефелінового сієніту — маріуполіту (Балка Мазурова)

призматичні кристали, для акцесорного циркону з гранітів — зазвичай довгопризматичні, для сієнітових корінних руд Азовського родовища — короткостовпчасті кристали (рис. 4).

Кристали циркону з корінних руд мають розміри від десяткових частин міліметра до 1 см. Переважають кристали розмірами 1—2 мм. Для циркону з корінних порід Мазурівського родовища (маріуполіти, альбітиту та ін.) характерна скелетна будова. Розрізняють внутрішні скелети, тобто кристали із численними включеннями (рис. 5, *a*), і зовнішні, в яких від суцільного ядра у зовнішнє оточення відходять скелетні паростки (рис. 5, *б*). Наявність у скелетних кристалах тонких проростань знижує чистоту складу цирконового концентрату і витягнення циркону з руди.

Можливо, через значну кількість скелетних кристалів флотаційні цирконові концентрати Мазурівського родовища містять 61,4 % ZrO_2 [9] проти 64,3—67,0 % концентратів Малишівського родовища.

Розміри кристалів циркону з розсипищ дуже витримані [10, 11]. Медіанні розміри коливаються для різних розсипищ у межах 80—140 мкм. Середнє відношення довжини до ширини кристалів близько 1,4. У публікації [11] доведено, що співвідношення густини і розмірів зерен різних мінералів відповідає закону гідродинамічної сепарації.

Однакові розміри зерен циркону, практично відсутність зростків дають змогу отримувати з розсипних руд дуже чисті концентрати (рис. 6) і за значно нижчою вартістю, ніж для корінних.

Стосовно цирконій-гафнієвого відношення більш певні дані є для цирконів Октябрського масиву [12, 13]. Тут для репрезентативних проб циркону з маріуполітів визначено ма-

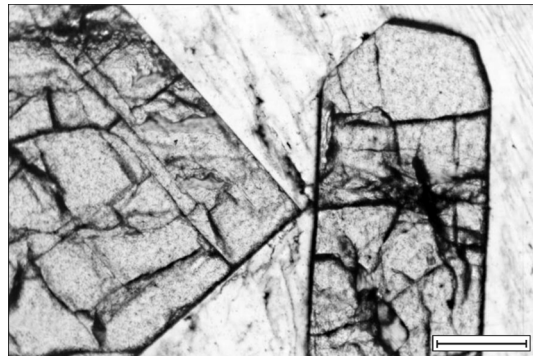


Рис. 4. Кристали циркону (рельєфні) з руди Азовського родовища. Шліф. Нік. ∥. Масштабна лінійка 150 мкм

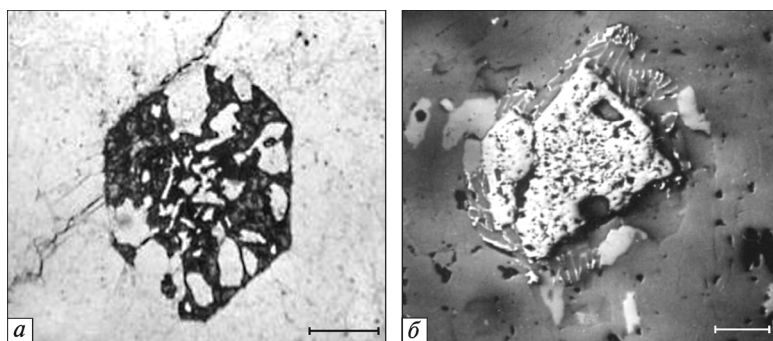


Рис. 5. Скелетні кристали циркону з маріуполіту Балки Мазурова: *a* — внутрішній скелет, що містить близько 25 % включень інших мінералів, прозорий шліф, масштаб 1 мм; *b* — зовнішній скелет, аншліф, масштаб 0,5 мм

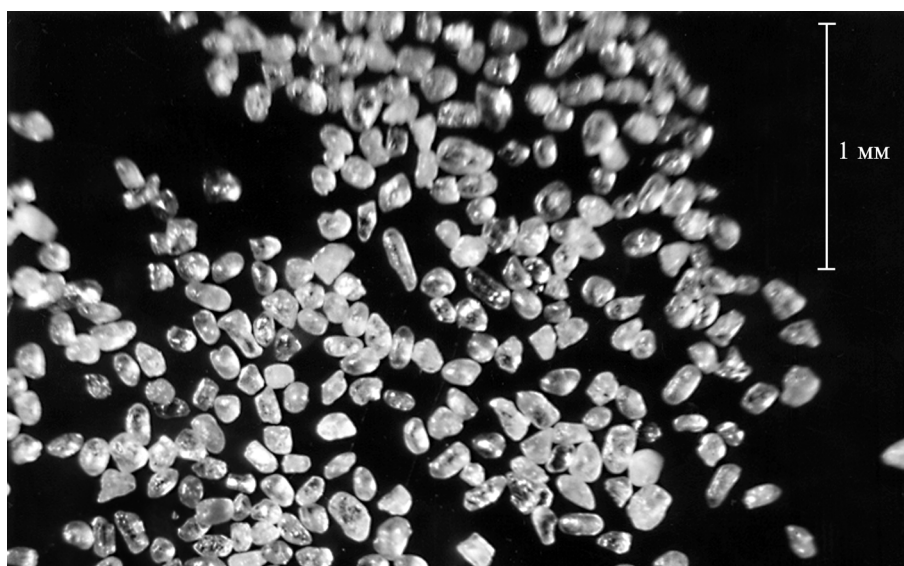


Рис. 6. Цирконовий концентрат із руд Малишівського родовища. Чистота складу 99 %. Крім кристалів циркону зрідка помітні уламки кристалів рутилу і таблички дистену

сове співвідношення $\text{HfO}_2/(\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2) = 1,35$ або $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2 = 72,9$. Приблизно те саме значення встановлене для дрібних і середніх кристалів з альбітитів. У найбільших за розміром кристалах циркону вміст гафнію виявився дещо більшим: відповідно 1,45 і 67,9 %. За даними [12], намічується тенденція до зростання вмісту гафнію від альбітитів ($n = 11$ проб) — $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2 = 92,6 \pm 5,1$, до маріуполітів ($n = 10$) — $80 \pm 4,4$, і до мікроклін-нефелінових сієнітів ($n = 9$) — $62,7 \pm 3,7$.

Акцесорні циркони гранітів, плагіогранітів, пегматитів характеризуються вищим вмістом гафнію. Згідно із статистичною обробкою даних [7], відношення $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ у гранітоїдах коливається від 59 до 22,6, у середньому ($n = 40$) становить $42,5 \pm 0,9$.

Хоча розсипища формуються із різних корінних джерел, а також із проміжних колекторів, існують численні свідчення впливу головного, близько розташованого корінного джерела [14].

Щодо цирконів — це відносно висока поширеність у Малишівському розсипищі малакону, характерного для руд родовищ урану, і перевага ізометричних, у тому числі біпірамідальних, кристалів серед зерен циркону Вовчанського розсипища [10].

Детально розподіл циркону розсипищ за вмістом гафнію ще не вивчено. За даними [10], середні значення масових співвідношень діоксидів цирконію і гафнію в цирконах розсипищ такі: Тарасівське 49–58,5; Малишівське 51,6–61,5; Краснокутське 53,0; Вовчанське 54,5. Нами методом електронного зонду для довгопризматичних зерен (див. рис. 2) Малишівського родовища ($n = 62$) отримано середнє значення $53,40 \pm 0,13$.

Висновки. Україна володіє значними і відносно дешевими ресурсами цирконієвої і гафнієвої сировини та виробничими потужностями для її глибокої переробки аж до отримання чистих металів і виробів з них. Наявні можливості подальшого вдосконалення розробки родовищ, вилучення корисних компонентів із руд (наприклад, отримання сировини, відносно збагаченої і збідненої на гафній), удосконалення металургії цирконію і гафнію. За раціонального використання забезпеченість розвіданими запасами і ресурсами розсипної сировини становить для України багато десятків років, а з урахуванням можливостей нарошування цих ресурсів і залучення до комплексної переробки корінних родовищ — сотні років. На цей час понад половину цирконій-гафнієвої сировини, що видобувається, Україна постачає на експорт, займаючи з деяких позицій помітні місця у світі. Так, за оцінкою [15], з виробництва гафнію Україна займає третє місце в світі.

До останнього часу російську потребу в цирконієвій сировині переважно задовільняло українське постачання. На цей час Росія здійснює заходи щодо створення власної досить потужної сировинної бази цирконію [16].

У цілому, оцінюючи значення цирконію та гафнію України в світлі потреб ядерної енергетики, слід охарактеризувати їх сировинну базу як зовсім достатню, що припускає не лише задоволення власних потреб, а й використання її в кооперації з іншими країнами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бокій Г.Б. Кристаллохимия. — М.: Наука, 1971. — 400 с.
2. Parrington J. R., Knox H. D., Breneman S.L., Baum E. M., Feiner F. (revised by E. M. Baum, H.D. Knox, T. R. Miller) Nuclides and Isotopes. 16th Ed. — Lockheed Martion Corporation, 2002. — 89 p.
3. Энциклопедия неорганических материалов / Гл. ред. И.М. Федорченко. — Киев: Гл. ред. УСЭ, 1977. — Т. 1. — 840 с.; Т. 2. — 813 с.
4. Гайсинский М., Адлов Ж. Радиохимический словарь элементов. — М.: Атомиздат, 1968. — 255 с.
5. Котельников Р.Б., Башлыков С.Н., Галиакбаров З.Г., Капитанова А.И. Особо тугоплавкие элементы и соединения. — М.: Металлургия, 1969. — 372 с.
6. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов / Гл. ред. К.А. Власов. — М.: Наука, 1964. — Т. 1. Геохимия редких элементов. — 688 с.; Т. 2. Минералогия редких элементов. — 862 с.
7. Мицкевич Б.Ф., Беспалько Н.А., Егоров О.С. и др. Редкие элементы Украинского щита. — Киев: Наук. думка, 1986. — 255 с.
8. Бочай Л.В., Гурський Д.С., Веселовський Г.С., Лазуренко В.І. Головні геолого-промислові типи титанових і цирконієвих розсипних родовищ України та умови їх утворення // Мінеральні ресурси України. — 1998. — № 3. — С. 10–13.
9. Донской А.Н., Кулиш Е.А., Донской Н.А. Нефелиновые породы Украины — комплексные алюминий-глиноземные и редкометалльные руды. — Киев: ИГМР и ИГОС НАН Украины, 2004. — 221 с.

10. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. — Киев: Наук. думка, 1975. — 248 с.
11. Полканов Ю.А., Кашкаров И.Ф. Физические свойства минералов титано-циркониевых песков и возможность их использования для решения некоторых геологических вопросов // Физические методы исследования минералов осадочных пород. — М.: Наука, 1966. — С. 41—49.
12. Ерёмченко Г.К. Минералого-геохимические особенности щелочных интрузий Восточного Приазовья и связанных с ними постмагматических образований: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Симферополь, 1964. — 413 с.
13. Вальтер А.А. Минералогия нефелиновых пород Восточного Приазовья: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Симферополь, 1964. — 481 с.
14. Вальтер А.А., Квасница В.Н., Ерёмченко Г.К., Чашка А.И. О возможностях использования типоморфизма мелких алмазов для оценки алмазоносности территорий и отдельных объектов Украинского щита // Мінерал. журн. — 2003. — **25**, № 5/6. — С. 95—100.
15. Бутов В.А., Бочаров О.В., Безумов В.Н., Пронин В.Н. Гафний: современное состояние, проблемы, перспективы // Редкие металлы — XXI век: стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке: Тез. докл. Междунар. симп., Москва, 5—9 окт. 1998 г. — М., 1998. — С. 45—46.
16. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Арманд О.А. Перспективы промышленного освоения месторождений титана и циркония России // Сучасні економічні можливості розвитку та реалізації мінерально-сировинної бази України і Росії в умовах глобалізації ринку мінеральної сировини: Зб. наук. праць. — К.: Ін-т геол. наук НАН України, 2005. — С. 31—34.

The main features of zircon mineralogy from the ore deposits of Ukraine to serve the needs of nuclear energetics is analyzed in this paper.

Надійшла 02.04.2007