МІНЕРАЛОГІЧНИЙ ЖУРНАЛ
MINERALOGICAL JOURNAL
(UKRAINE)

https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.03.029
УДК 553.3/9 (550.4)

О.А. Ганжа, канд. геол. наук, наук. співроб.
Інститут геологічних наук НАН України
01601, м. Київ, Україна, вул. О. Гончара, 55-б
E-mail: oag2909@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-8510-5618

МІНЕРАЛОГІЯ ВОВЧАНСЬКОГО ЦИРКОН-РУТИЛ-ІЛЬМЕНІТОВОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

Наведено узагальнені дані щодо геологічної будови, а також результати лабораторних аналізів важкої фракції основних розсипоутворювальних мінералів Вовчанського циркон-рутил-ільменітового родовища, яке було введено в експлуатацію Демурінським гірничо-збагачувальним комбінатом 2002 р. У геологічній будові району розміщення Вовчанського родовища наявні комплекс складно дислокованих докембрійських порід кристалічного фундаменту, палеозой-кайнозойська кора вивітрювання, товща осадових відкладів палеозой-кайнозойського віку та четвертинні відклади. Промислова концентрація важких мінералів приурочена до середньої та верхньої частин відкладів середньосарматської підсвіти неогену, складених дрібнозернистими, суттєво кварцовими пісками загальною потужністю від 0,4 до 63 м. Вміст важких мінералів рудоносного горизонту родовища становить від 93,8 до 485 кг/м^3, з них ільменіту 37,6—242,6, рутилу 15,9—64,6, цирконy 2,9—9,4, силіманіту та дистену 20,4—117,5. Визначено вміст головних і другорядних елементів-домішок в деяких мінералах рудоносного горизонту (178 зерен): ільменіті (18 зразків), рутилі (40), цирконі (35), силіманіті (30), ставроліті (25), турмаліні (12), ганіті (8), монациті (10). Виконане дослідження дало змогу уточнити типоморфні особливості мінералів із пісків Вовчанського розсипу, встановити їхній абсолютний вік та ймовірні корінні джерела.

Ключові слова: *Вовчанське родовище, ільменіт, рутил, циркон, силіманіт, ставроліт, турмалін, шпінель, монацит.*

Вступ. Вовчанське родовище багатих циркон-рутил-ільменітових руд виявлено в 1960 р. Правобережною геологорозвідувальною експедицією тресту "Дніпрогеологія" біля с. Новоандріївка і залізничної станції Демурине в результаті геологопошукових робіт (И.Г. Телков, А.Е. Добренький "Отчет о детальной разведке Волчанского титано-циркониевого месторождения", г. Новомосковск, 1968). Попередня розвідка була проведена в 1961—1963 рр., а в 1964—1966 рр. виконано детальну розвідку Північного покладу Вовчанського родовища.

Родовище складається з п'яти рудних покладів: Північного, Центрального, Тарасівського, Південного та Іванівського. Північний поклад містить всі балансові запаси категорій В + C_1 та розділений на три ділянки: Західну, Східну та Центральну.

Вовчанське родовище циркон-рутил-ільменітових руд розташоване в Лівобережному розсипному районі Української розсип-

Цитування: Ганжа О.А. Мінералогія Вовчанського циркон-рутил-ільменітового родовища (Український щит). *Мінерал. журн.* 2024. **46**, № 3. С. 29—41. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.46.03.029

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2024. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

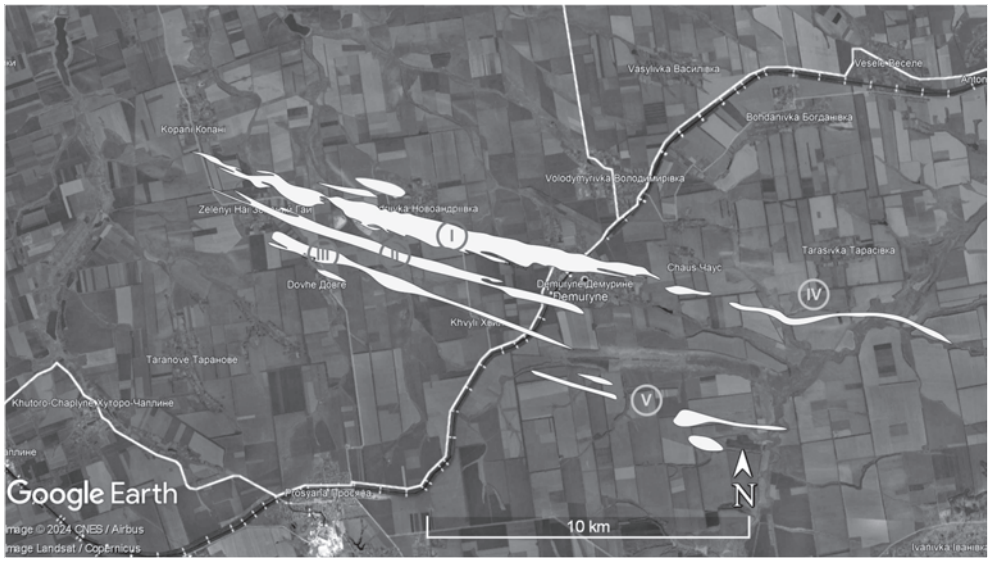

Рис. 1. Оглядова карта території Вовчанського родовища: *I* — Північний поклад; *II* — Центральний поклад; *III* — Південний поклад; *IV* — Тарасівський поклад; *V* — Іванівський поклад

Fig. 1. Overview map of the Vovchansk deposit territory: *I* — Northern field; *II* — Central field; *III* — Southern field; *IV* — Tarasivsky field; *V* — Ivanivsky field

ної провінції (Ganzha et al., 2022) на північно-східному схилі Українського щита у верхів'ях річок Вовчої та Кам'янки. Адміністративно родовище розташовано на території Синельниківського району Дніпропетровської області (рис. 1).

Вовчанське родовище розробляло ТОВ "Демурінський гірничо-збагачувальний комбінат" (далі ТОВ "Демурінський ГЗК") згідно зі спеціальним дозволом на користування надрами № 2745 від 29.07.2002. Ділянка першочергової розробки, що має назву Новоандріївський кар'єр, лежить південніше с. Новоандріївка у Синельниківському районі. Вилучали з порід ільменітовий, рутиловий, цирконієвий, дистен-силіманітовий і ставролітовий концентрати.

Мета роботи — дослідити мінералогічні характеристики важкої фракції основних розсипоутворювальних мінералів Вовчанського циркон-рутил-ільменітового родовища.

Методи досліджень. Виконано мікрозондовий аналіз групи мінералів важкої фракції на *SXFiveFE* (*Field Emission Electron Probe MicroAnalyzer*) у Варшавському університеті (Польща). На цьому ж обладнанні було визначено абсолютний вік монацитів.

Було досліджено такі мінерали (в дужках вказано кількість зерен): ільменіт (18), рутил (40), циркон (35), силіманіт (30), ставроліт (25), турмалін (12), ганіт (8), монацит (10).

Опис об'єкта досліджень. Геологічно лівобережна частина Середньопридніпровського району комплексних розсипних циркон-рутил-ільменітових родовищ розміщена у зоні з'єднання трьох геоструктурних одиниць: Дніпровсько-Донецької западини, північно-східного схилу Українського щита і Кальміус-Торецької западини Донбасу. Вовчанське родовище розміщене на схилі Українського щита в зоні стику Синельниківського та Вовчанського виступів.

У геологічній будові району Вовчанського родовища бере участь комплекс складно дислокованих докембрійських порід кристалічного фундаменту, палеозой-кайнозойська кора вивітрювання та товща осадових відкладів палеозой-кайнозойського віку. Геологічний розріз Вовчанського родовища наведено на рис. 2.

Породи докембрійського кристалічного фундаменту, розвинуті в районі робіт, складені переважно метаморфізованими осадово-вулканогенними утвореннями, мігматитами і різноманітними гранітоїдами. До складу нижньоархейського гнейсового комплексу входять гнейси різного складу, кристалічні сланці й амфіболіти. До утворень ар-

хейсько-нижньопротерозойського комплексу належать виверженні породи основного і ультраосновного складу (гранодіорити, діорити, кварцові діорити, плагіограніти та пов'язані з ними мігматити з ксенолітами древніших амфіболітів і кристалічних сланців; широко розповсюджені ультраметаморфічні граніти мікроклін-плагіоклазові). Протерозойський комплекс представлений гранітами рожевими апліто-пегматоїдними та мігматитами мікроклін-плагіоклазовими. Відносно невеликі тіла нефелінових сієнітів і лужних сієнітів входять до складу лужного середньопротерозойського комплексу. Протерозойсько-палеозойський комплекс малих інтрузій і дайок представлений тілами діабазів (піроксенових або амфіболізованих) (И.Г. Телков, А.Е. Добренький "Отчет…").

Палеозойсько-кайнозойська кора вивітрювання утворилась очевидно по кислих породах кристалічного фундаменту, характеризується зональною будовою і представлена вивітрілими і каолінізованими гнейсами, гранітами та мігматитами, а також білими і строкатокольоровими первинними каолінами.

Промислова концентрація важких мінералів приурочена до середньої та верхньої частин відкладів середньосарматської підсвіти неогену, складених дрібнозернистими, суттєво кварцовими пісками загальною потужністю від 0,4 до 63 м. Перекриті середньосарматські піски гіпсоносними та піщанистими глинами і суглинками неоген-четвертинного віку загальною потужністю від 4 до 68 м. Підстеляють їх піски нижньо-середнього міоцену, нижче яких залягають кварцово-глауконітові піски олігоцену, кора вивітрювання кристалічних порід і кристалічні породи. Залягають промислові піски практично горизонтально, з невеликим нахилом на північ та північний схід.

У зв'язку з тим, що під час пошукової і попередньої стадій розвідки Вовчанського родовища в 1961—1963 рр. (И.Г. Телков, А.Е. Добренький "Отчет…") розчленування піщаної товщі неогену детально не виконали, на всіх геологічних розрізах піщані неогенові відклади стратифіковані як середньосарматська підсвіта, до того ж сарматські відклади перевищують за об'ємом міоценові, і безпосередньо до середньосарматської підсвіти приурочені рудні поклади.

Чіткої межі між відкладами середньосарматської підсвіти і відкладами нижнього-середнього міоцену не існує, тому розчленувати їх важко. Однак ці відклади мають більш-

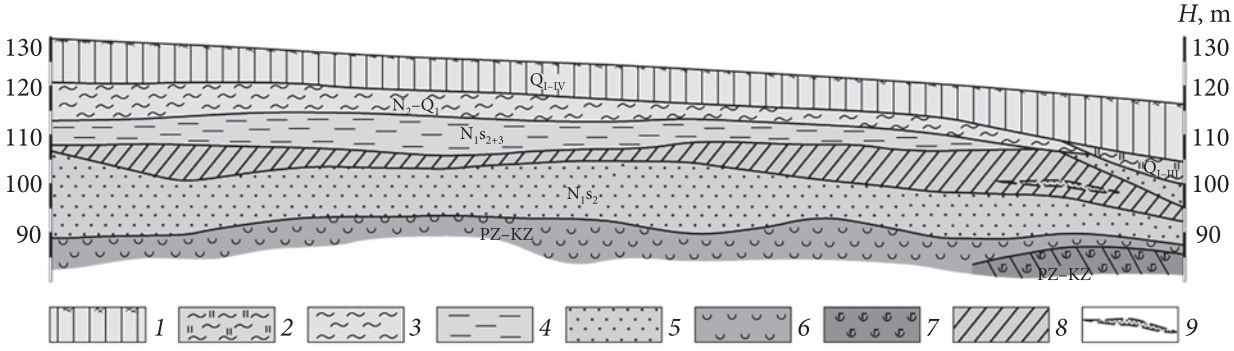

Рис. 2. Геологічний розріз Вовчанського родовища: *1* — ґрунтово-рослинний шар. Суглинки палево-жовті та жовто-бурі (четвертинна система); *2* — суглинки та глини червоно-бурі, перевідкладені (алювіальні) (четвертинна система); *3* — глини червонувато-бурі, щільні, вапнякові (плейстоцен); *4* — глини зеленувато-сірі, місцями строкаті, пластичні (верхній міоцен); *5* — піски кварцові, дрібнозернисті (олігоцен, міоцен); *6* — каолін білий, первинний, місцями строкатий (палеозой-кайнозой); *7* — вивітрені та сильно вивітрені породи основного та кислого складу (палеозой-кайнозой); *8* — рудне тіло; *9* — прошарки пісків із вмістом ільменіту нижче кондиції

Fig. 2. Geological section of the Vovchansk deposit: *1* — soil-vegetation layer. Pale-yellow and yellow-brown loams (Quaternary system); *2* — red-brown redeposited (alluvial) loams and clays (Quaternary system); *3* — reddish-brown, dense, calcareous clays (Pleistocene); *4* — greenish-gray, sometimes mottled, plastic clays (Upper Miocene); *5* — fine-grained quartz sands (Oligocene, Miocene); *6* — white kaolin, primary, variegated in places (Paleozoic-Cenozoic); *7* — weathered and highly weathered rocks of basic and acidic composition (Paleozoic-Cenozoic); *8* — ore layer; *9* — sand interlayers with ilmenite content below the standard

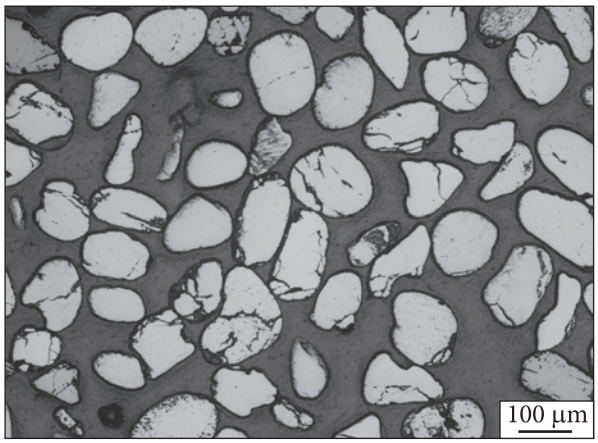

Рис. 3. Зерна ільменіту Вовчанського циркон-рутил-ільменітового родовища (мікроскоп *Nikon Eclipce LV*100*POL*, зб. 10)

Fig.3. Ilmenite grains of the Vovchansk zircon-rutile-ilmenite deposit (Nikon Eclipse LV100POL microscope, magnification 10)

менш характерні відмінності, що дає змогу зробити їх розчленування. Середньосарматські піски і піски нижнього-середнього міоцену відрізняються не лише за каолінистістю, карбонатністю, здатністю всихання, але часто і за забарвленням, характером шаруватості, гранулометричним складом, середнім розміром зерен, коефіцієнтом сортування, мінеральним складом.

В основі нерозчленованих відкладів нижнього-середнього міоцену залягають світло-сірі з блідо-зеленуватим відтінком, дрібнозернисті, злегка глинисті кварцові піски потужністю 3,0—7,0 м, із незначним вмістом рудних мінералів і глауконітом. Розповсюджені вони переважно у північній частині родовища. До цих пісків на деяких ділянках родовища приурочений збагачений рудними мінералами горизонт потужністю до 3,0—6,0 м із загальним вмістом колективного концентрату до 80 кг/м^3. Цей горизонт не має промислового значення у зв'язку з незначним розміром (50—250 × 400—1200 м), значною глибиною залягання (понад 65—75 м) і порівняно низьким вмістом рудних мінералів.

Рудоносні піски у північній і північно-східній частині родовища перекриті темно-сірими, сірими і строкатоколірними піщанистими глинами, які містять інколи метрові прошарки трепелових глин. У межах балок із глибокими ерозійними врізами вони відсутні. Середня потужність цих глин ~4 м, максимальна сягає 12,0 м. У темно-сірих глинах часто спостерігаються малопотужні лінзи різнозернистих глинистих пісків, а в підошві інколи — прошарки пісковиків на карбонатно-глинистому цементі незначної потужності (зазвичай не більше 1,0 м).

Середньосарматські відклади закінчуються шаром строкатоколірних, дуже глинистих, різнозернистих (від дрібнозернистих до гравелистих) безрудних пісків. У межах східної частини Північного покладу ці піски великозернисті, гравелисті, а в західному напрямку постійно заміщуються середньо- і дрібнозернистими. На західній половині Північного покладу, а також у межах Тарасівського і на південь від Центрального покладів ці піски відсутні. Їхня потужність коливається від 0,5 до 6,0 м за середнього приблизно 2,5 м.

Рудні піски переважно дрібнозернисті. Основна маса пісків, як рудних, так і вмісних, належить до класів –0,25 ... +0,10 і –0,5 ... +0,25 мм. Розмір зерен ільменіту змінюється в межах 0,07—0,2 мм; більша частина зерен має розміри 0,10—0,14 (60,0 %) і 0,07—0,10 мм (37,0 %). Переважний розмір зерен, мм: рутил 0,07—0,14, циркон — 0,07—0,1, силіманіт — 0,1—0,25, дистен — 0,1 до 0,20 (И.Г. Телков, А.Е. Добренький "Отчет…").

Рудоносний горизонт на 85—95 % складається з легкої фракції, представленої кварцом і глинистими мінералами. До складу важкої фракції (~9,2 %) входять ільменіт, лейкоксен, рутил, циркон, дистен, силіманіт, ставроліт, турмалін, шпінель, хроміт, алмаз, анатаз, андалузит, монацит. Вміст важких мінералів у пісках родовища становить, за окремими пробами, від 1,5 до 2026,2 кг/м^3; за блоками — від 93,8 до 485 кг/м^3. Вміст корисних мінералів змінюється, кг/м^3: у рядових пробах ільменіту від 0,4 до 1198,7, рутилу 0,2—394,5, циркону від знаків до 439,7, силіманіту та дистену 0,5—345,8; у блоках, відповідно, кг/м^3: 37,6—242,6; 15,9—64,6; 2,9—9,4; 20,4—117,5 (Semenenko, 1967).

За вмістом ільменіту, рутилу і силіманіту разом з дистеном Вовчанське родовище є одним із найбагатших серед аналогічних розсипних родовищ України. Через незначні розміри Вовчанське родовище за запасами

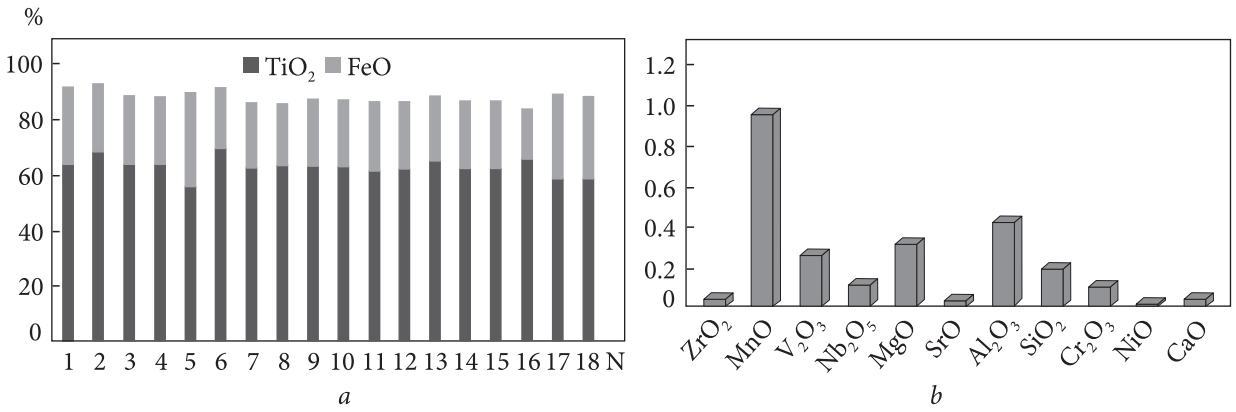

Рис. 4. Вміст TiO_2 і FeO (*a*) та домішок (*b*) в ільменіті Вовчанського родовища
Fig. 4. Content of TiO_2 and FeO (*a*) and impurities (*b*) in ilmenite of the Vovchansk deposit

поступається унікальному Самотканському родовищу, проте воно також є одним із великих родовищ і важливою мінерально-сировинною базою на титан, цирконій, силіманіт, ставроліт.

Результати досліджень. Із урахуванням технологічних особливостей досліджувані мінерали важкої фракції поділяються на мінерали, які вилучають з цього родовища, і які не вилучають. До мінералів, які вилучають із покладів Вовчанського родовища, належать ільменіт, рутил, циркон, силіманіт і ставроліт; до мінералів, які не вилучають, — турмалін, шпінель та монацит. Нижче наведено опис мінералів важкої фракції.

Мінерали, які вилучають з Вовчанського родовища. Ільменіт винятково змінений, через що відрізняється від звичайного незміненого ільменіту навіть за зовнішнім виглядом. Переважає бурувато-коричневе, буре, темно-коричневе забарвлення зерен ільменіту, рідше світло-коричневе. Зерна добре обкатані, форма їх округла (рис. 3). Вторинні зміни проявлені по краях, у центрі та по тріщинах. Більшість зерен ільменіту змінені повністю.

Розмір зерен ільменіту становить 0,07—0,2 мм; більша частина зерен розміром 0,10—0,14 (60,0 %) і 0,07—0,10 мм (37,0 %).

Результати мікрозондового аналізу ільменіту показали, що вміст двоокису титану в ільменіті із різних свердловин коливається від 58,3 до 67,9 %, середнє по 18 пробах — 62,8 %; а вміст оксиду заліза (FeO) складає в середньому 25,2 % (рис. 4, *a*). Серед домішок (рис. 4, *b*) діагностовано MnO, Al_2O_3, MgO, V_2O_3, SiO_2, Nb_2O_5, SrO, Cr_2O_3, NiO, CuO, ZrO_2. Найбільший вміст серед домішок мають MnO, Al_2O_3, MgO. Вміст MnO становить від сотих відсотка до 2,5 % (середнє 0,94 %), Al_2O_3 — від 0,2 до 0,57 % (середнє 0,4 %), MgO — від 0,03 до 1,1 % (середнє 0,3 %).

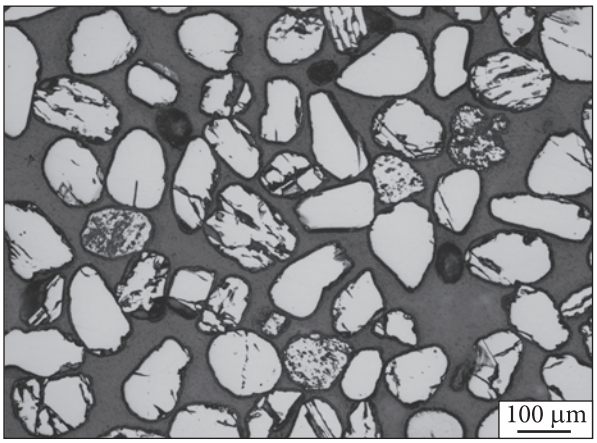

Рис. 5. Зерна рутилу Вовчанського циркон-рутил-ільменітового родовища (мікроскоп *Nikon Eclipce LV*100*POL*, зб. 10)
Fig. 5. Rutile grains of the Vovchansk zircon-rutile-ilmenite deposit (Nikon Eclipse LV100POL microscope, magnification 10)

Рутил. Вміст його в рудних пісках — від 1,7 до 8,8 %. Переважний розмір зерен 0,07—0,14 мм. Форма зерен еліпсоїдна. Зерна добре обкатані (рис. 5). Забарвлення чорне, темно-червоне, жовте.

Рутил із Вовчанського родовища проаналізовано за допомогою мікрозондового аналізатора *SX*942 методом *WDS*. Результати *WDS*-аналізу рутилів Вовчанського родовища наведено в табл. 1.

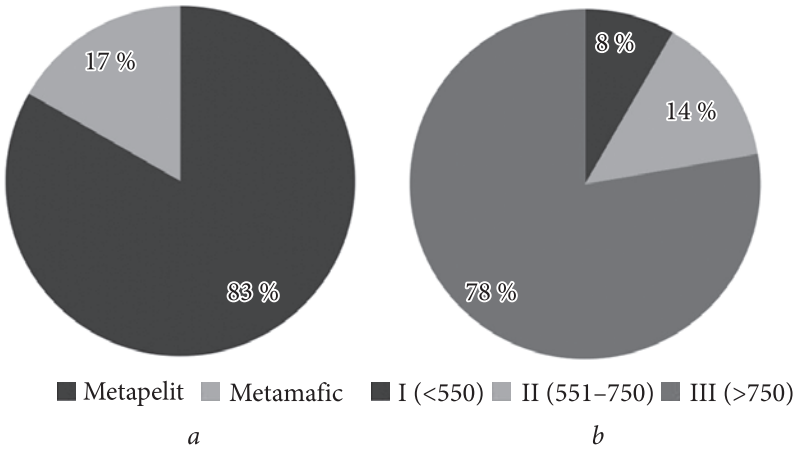

Рис. 6. Діаграма рутилів метаосадового та метамафічного походження (*a*) залежно від температури формування (*b*) Вовчанського родовища

Fig. 6. Pie chart of rutile of metapelit and metamafic origin (*a*) depending on the temperature of formation (*b*) of the Vovchansk deposit

Таблиця 1. **Результати *WDS*-аналізу рутилів Вовчанського родовища (oxide weight %)**
Table 1. **Results of WDS analysis of rutiles of the Vovchansk deposit (oxide weight %)**

Oxide	ZrO_2	TiO_2	V_2O_3	Nb_2O_5	Cr_2O_3	FeO	Total
1	0.3633	98.1786	0.3067	0.3319	0.0501	0.199	99.5035
2	0.3403	97.4836	0.3608	0.3202	0.1247	0.0857	98.7843
3	0.2677	97.7098	0.707	0.1052	0.0903	0.0051	98.9408
4	0.3371	97.2111	0.6911	0.2787	0.3375	0	98.9164
5	0.2754	98.129	0.3486	0.2008	0.0791	0.0497	99.154
6	0.3426	97.0555	0.9794	0.1297	0.2419	0.0073	98.818
7	0.1978	96.3834	0.3085	0.4757	0.1090	0.1569	97.7089
8	0.0662	97.8327	0.3134	0.3638	0.0845	0.3531	99.0659
9	0.1656	97.6192	0.482	0.1809	0.1114	0.0567	98.6799
10	0.1028	97.6916	0.3046	0.0234	0.0582	0.0403	98.2953
11	0.1833	97.1168	0.5963	0.3444	0.1090	0.1577	98.5681
12	0.2415	97.1962	0.5777	0.3112	0.2650	0.0229	98.6807
13	0.7284	96.7313	0.6195	0.301	0.2170	0.0741	98.7354
14	0.0366	97.6385	0.2395	0.2316	0.1616	0.1126	98.4817
15	0.9146	97.0462	0.4192	0.3712	0.1257	0.0635	99.0066
16	0.2221	97.7888	0.2552	0.1642	0.2727	0.2245	98.9947
17	0.1071	96.9082	0.699	0.3823	0.2711	0.02	98.4482
18	0.046	97.8632	0.0326	0.5663	0.0000	0.3999	98.9887
19	0.0058	97.6556	0.0538	0.2897	0.0057	0.5018	98.5982
20	0.0274	97.1301	0.1463	0.3301	0.1188	0.5495	98.3574
21	0.5333	98.0068	0.6777	0.3661	0.1644	0.0439	99.8485
22	0.2332	97.206	0.4535	0.2657	0.2178	0.0482	98.4884
23	0.7342	97.0858	0.3969	0.3871	0.1003	0.1949	98.9619
24	0.021	97.6835	0.2571	0.0211	0.4716	0.0914	98.6088
25	0.2221	97.2523	0.8538	0.0239	0.2420	0.0212	98.6692
26	0.6916	97.2008	0.3158	0.2885	0.1048	0.084	98.7536
27	0.455	97.4918	0.3637	0.2704	0.1197	0.0338	98.7914
28	0.3052	97.3225	0.2383	0.5778	0.1117	0.1574	98.7971
29	0.3617	96.5937	0.5815	0.2382	0.1571	0.0153	98.0102
30	0.0196	97.2017	0.2047	0.448	0.0702	0.3289	98.337
31	0.0035	97.7795	0.0624	0.0561	0.0433	0.5339	98.5366
32	0.1513	97.2752	0.3652	0.0266	0.1060	0.3452	98.3312
33	0.0009	98.4646	0.1621	0.0728	0.1657	0.0285	98.9594
34	0.4748	97.1758	0.3233	0.7342	0.1537	0.1989	99.1424
35	0.3363	96.8097	0.3521	0.355	0.1561	0.0649	98.1478
36	0.3885	97.057	0.575	0.326	0.1564	0.037	98.5958

Вміст оксиду титану за хімічними аналізами коливається від 96,59 до 98,46 % і в середньому складає 96,46 %; вміст оксиду заліза — від слідів до 0,54 %.

Для визначення генезису рутилу використано результати досліджень (Triebold et al., 2011), а для визначення температури — дані (Tomkins et al., 2007). Завдяки цьому з'ясовано, що 83 % рутилів із Вовчанського родовища мають метаосадове походження, решта 17 % — метамафічне (рис. 6, *а*); 78 % — мають температуру формування більшу за 750 °С, 14 % — 500—750 °С і 8 % — <500 °С (рис. 6, *b*).

Циркон. На родовищі виділено два різновиди циркону: кристалічний та метаміктний, вміст якого незначний. Форма зерен кристалічного циркону видовжено-округла. Метаміктний циркон має іноді біпірамідальний габітус кристалів (Tsymbal, Polkanov, 1975). Забарвлення звичайного циркону жовтувате, рожеве з бузковим відтінком; метаміктного — молочно-біле, сіре. Переважають зерна обкатані або слабо обкатані, подекуди зі слідами руйнування (рис. 7). Середній розмір зерен циркону 0,07—0,1 мм.

Середній вміст оксиду цирконію в цирконах Вовчанського родовища, за даними 35 визначень складає 65,99 %; оксид гафнію присутній у кількості 0,69—1,03 %. У цирконі виявлено такі домішки (рис. 8): соті частки відсотка — Y_2O_3, P_2O_5, ThO_2, UO_2, FeO, Nd_2O_3, Sm_2O_3, Gd_2O_3, La_2O_3, Sc_2O_3, Dy_2O_3, Er_2O_3, Yb_2O_3, MgO; тисячні — CaO, TiO_2, K_2O_3, MnO, Ce_2O_3, PbO (рис. 8).

За результатами мікрозондового аналізу побудовано графік розподілу цирконів відповідно до вмісту ZrO_2 і HfO_2 (рис. 9), який підтверджує переважну однорідність цирконів за хімічним складом. Це наводить на думку, що Вовчанське родовище сформувалось із цирконів, які були привнесені здебільшого з одного кристалічного масиву.

На основі досліджень X. Wang, V. Caironi та F. Bea (Wang et al., 2010; Caironi et al., 2000; Bea et al., 2006) було побудовано гістограми вмісту HfO_2 та співвідношення Zr/Hf в цирконах Вовчанського родовища (рис. 10). За співвідношенням Zr/Hf на основі статистичних даних (Wang et al., 2010; Caironi et al., 2000; Bea et al., 2006) є можливість визначити, до якого типу належать цирконі Вовчанського родовища: раннього (циркон утворився майже в рівновазі з розплавами і його фракційна кристалізація не призводить до істотної зміни Zr/Hf співвідношення у залишковій магмі) чи пізнього (циркон кристалізувався за відносно низької температури після вкорінення гранітної магми). Аналіз гістограм вмісту HfO_2 та співвідношення Zr/Hf у цирконах Вовчанського родовища дає підставу стверджувати, що детритові цирконі з Вовчанського родовища є ранніми і, швидше за все, були привнесені із порід середнього та основного складу.

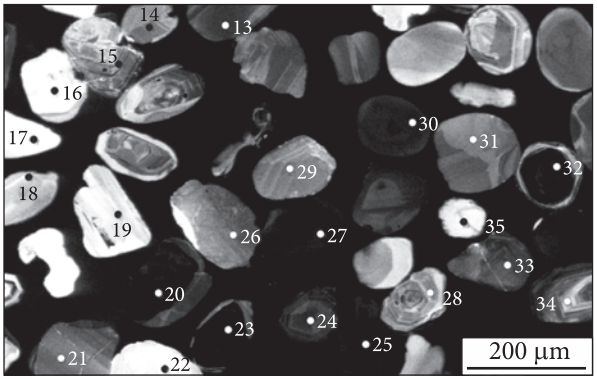

Рис. 7. BS-фото зразка цирконів Вовчанського родовища з точками аналізу

Fig. 7. BS photo of zircons from the Vovchansk deposit with analysis points

Силіманіт концентрується у важкій неелектромагнітній фракції. В рудних пісках Вовчанського родовища міститься в середньому у кількості 1,5—3,5 %. Вміст його у важкій фракції становить 15—35 %. Форма зерен округла, видовжено-округла. Рідше трапляються уламки зерен шестигранної і призматичної форми (рис. 11). Розмір зерен коливається в межах 0,07—0,30 мм, переважна частина зосереджується у фракції 0,1—0,25 мм.

За хімічним складом він містить, %: Al_2O_3 61,7—63,8 (середнє 63,05), SiO_2 36,6—37,4 (37,02). Серед домішок у десятих частках відсотка є FeO 0,34 %, в сотих частках — MgO, V_2O_3, MnO, Cr_2O_3, ZnO, TiO_2, ZrO_2, Na_2O, CuO, Ga_2O_3, CaO (рис. 12).

Ставроліт концентрується в електромагнітній фракції. Середній вміст його в рудних пісках приблизно 0,9 %, у важкій фракції — 8 %. Трапляється у вигляді слабко обкатаних зерен; їх переважний розмір 0,10—0,20 мм. Зерна слабко обкатані, неправильно кутасті.

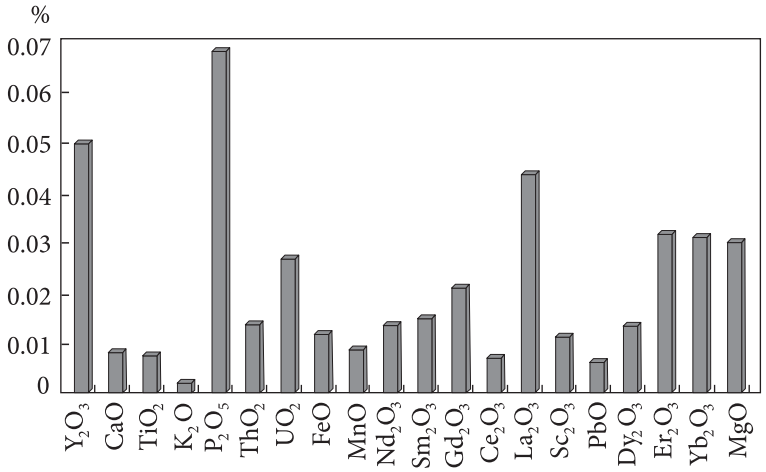

Рис. 8. Вміст домішок у цирконі Вовчанського родовища
Fig. 8. The content of impurities in zircon of the Vovchansk deposit

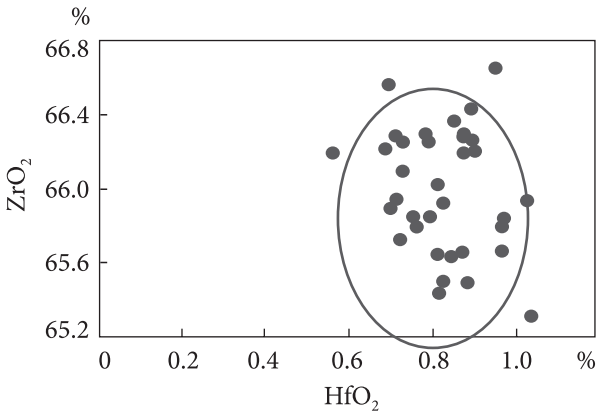

Рис. 9. Розподіл цирконів Вовчанського родовища відповідно до вмісту ZrO_2 і HfO_2
Fig. 9. Distribution of zircons of the Vovchansk deposit according to the content of ZrO_2 and HfO_2

Рис. 11. Зерна силіманіту Вовчанського родовища (мікроскоп *Nikon Eclipce LV*100*POL*, зб. 5)
Fig. 11. Grains of sillimanite from the Vovchansk deposit (Nikon Eclipse LV100POL microscope, magnification 5)

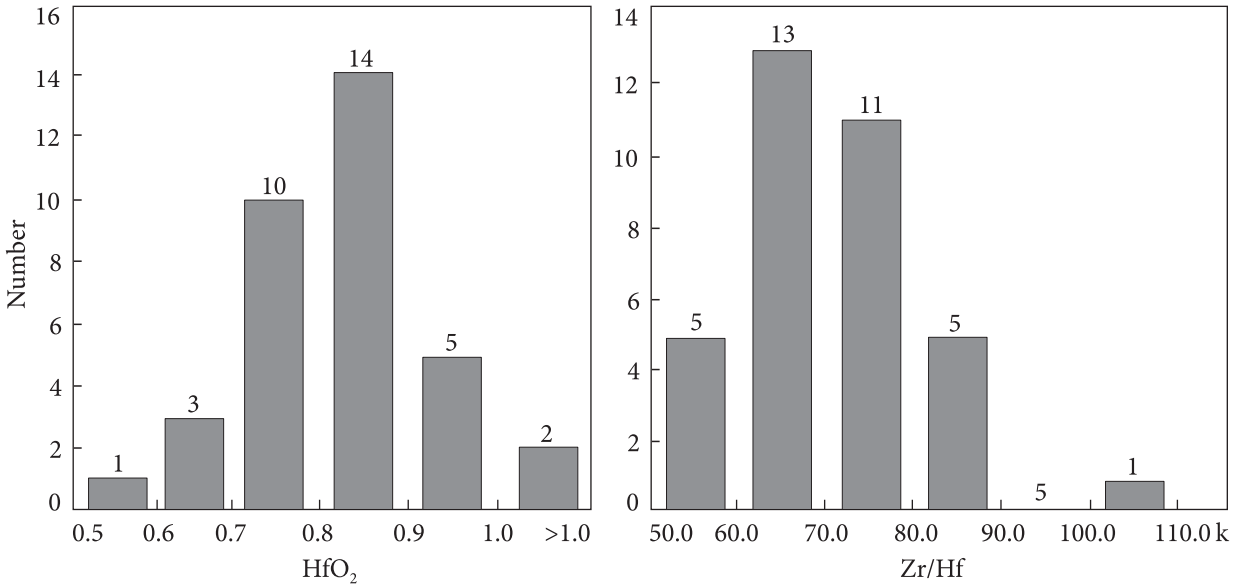

Рис. 10. Гістограми вмісту HfO_2 і співвідношення Zr/Hf в цирконах Вовчанського родовища
Fig. 10. Histograms of HfO_2 content and Zr/Hf ratio in zircons of the Vovchansk deposit

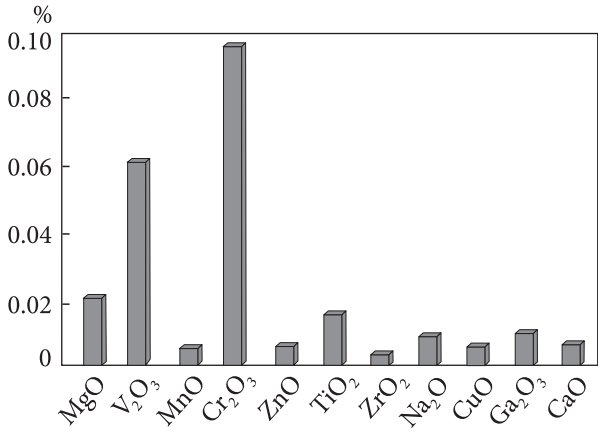

Рис. 12. Вміст домішок у силіманітах Вовчанського родовища

Fig. 12. Content of impurities in the sillimanites of the Vovchansk deposit

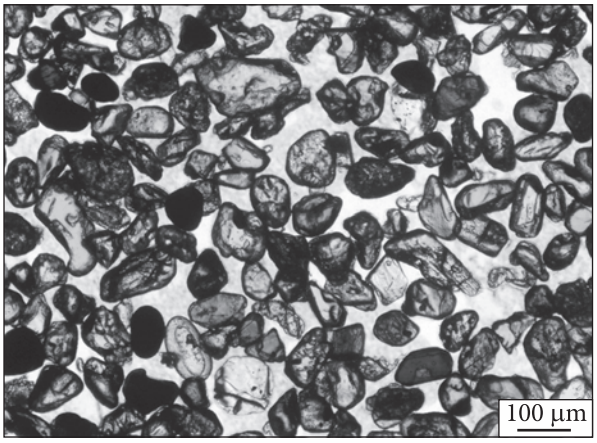

Рис. 13. Зерна ставроліту Вовчанського родовища (мікроскоп *Nikon Eclipce LV*100*POL*, зб. 5)

Fig. 13. T Grains of staurolites of the Vovchansk deposit (Nikon Eclipse LV100POL microscope, magnification 5)

Колір темно-жовтий до світло-коричневого. Нерідко вміщують темні точкові включення вуглистої речовини (рис. 13).

За даними хімічного аналізу, в ставроліті є, %: Al_2O_3 27,9—37,8 (середнє 31,83), SiO_2 34,1—37,1 (35,36), FeO 4,9—13,4 (10,48), B_2O_3 — 10,78, MgO 3,7—8,9 (5,36). Установлено такі домішки: десяті частки відсотка Na_2O_3, TiO, CaO; соті — V_2O_3, MnO, ZnO, Cr_2O_3, тисячні — ZrO_2, CuO, Ga_2O_3 (рис. 14).

Мінерали, які не вилучають із порід Вовчанського родовища. Турмалін у рудних пісках Вовчанського розсипу наявний у кількості майже 0,4 %, у важкій фракції — 3,6 %. Середній розмір зерен 0,10—0,20 мм. Обкатаність зерен нерівномірна: від задовільної до слабкої, у зв'язку з цим і форма зерен округла, неправильно-округла, призматична. Колір від зеленого до чорного. Дуже рідко трапляються світлозабарвлені різновиди.

Досліджені зерна турмаліну Вовчанського родовища належать до групи шерл. За хімічним складом досліджені турмаліни подібні. Вміст основних компонентів змінюється у межах, %: SiO_2 34,1—37,1 (середнє 35,4); Al_2O_3 27,9—33,7 (31,8); FeO 4,9—16,6 (10,5); MgO — 2,3—8,9 (5,4); B_2O_3 — 10,8. У незначній кількості в них установлено NaO (0,952 %), CaO (0,644), TiO_2 (0,565 %). У сотих частках відсотка виявлено такі оксиди — V_2O_3, MnO, Cr_2O_3, ZnO, в тисячних — ZrO_2, CuO, Ga_2O_3 (рис. 15).

Ганіт концентрується в електромагнітній фракції в сотих частках відсотка. Обкатаність

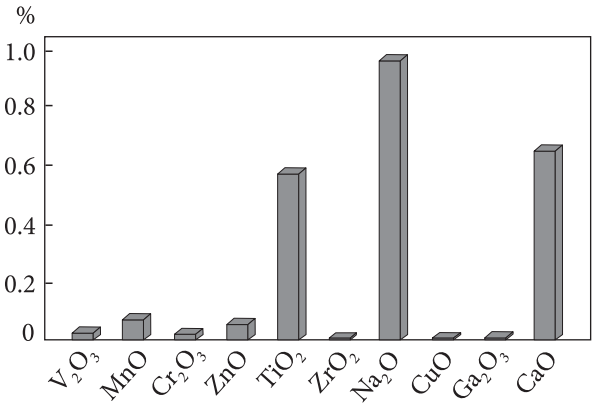

Рис. 14. Вміст домішок у ставроліті Вовчанського родовища

Fig. 14. The content of impurities in the staurolite of the Vovchansk deposit

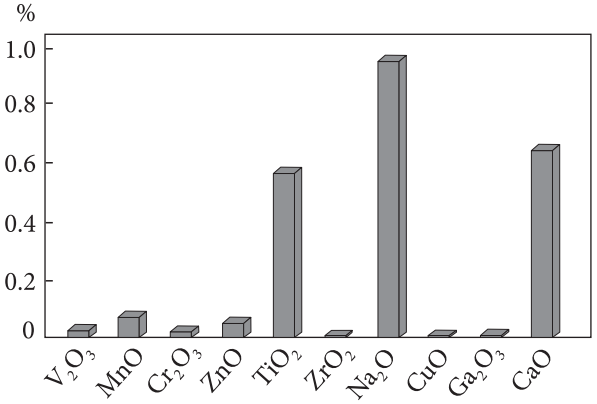

Рис. 15. Вміст домішок у турмаліні Вовчанського родовища

Fig. 15. The content of impurities in the tourmalines of the Vovchansk deposit

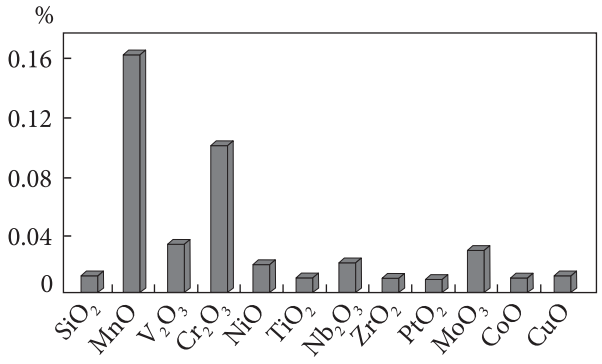

Рис. 16. Вміст домішок у ганіті Вовчанського родовища

Fig. 16. The content of impurities in the gahnite of the Vovchansk deposit

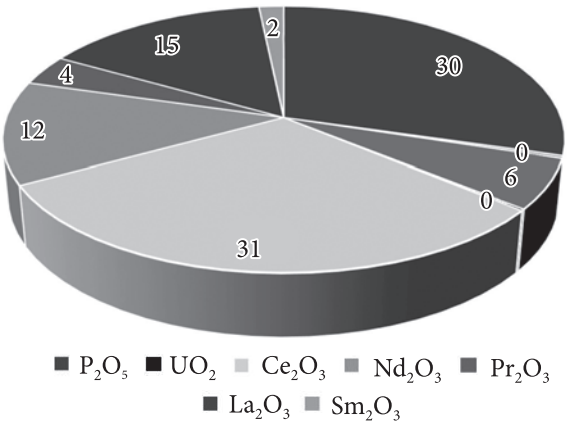

Рис. 17. Хімічний склад монацитів Вовчанського родовища, % (Y_2O_3 , ThO_2 — 0 %)

Fig. 17. Chemical composition of monazites of the Vovchansk deposit

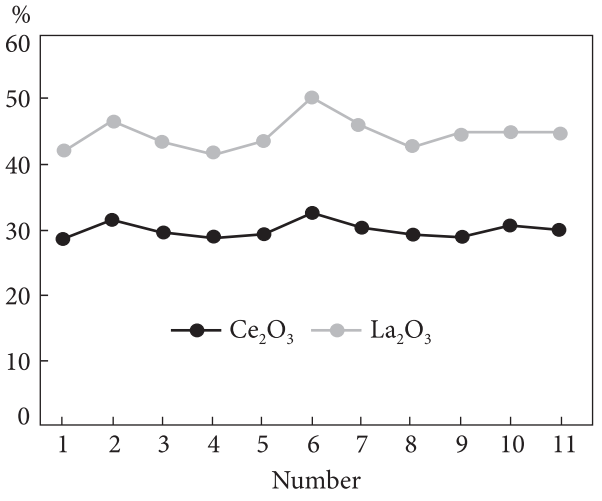

Рис. 18. Співвідношення оксидів цезію та лантану у монацитах Вовчанського родовища, %

Fig. 18. The ratio of cesium and lanthanum oxides (%) in the monazites of the Vovchansk deposit

зерен добра. Форма ізометрична, округла. Розмір 0,10—0,15 мм. Переважає зелений колір (від темного до світлого). Основними хімічними компонентами ганіту є Al_2O_3 та ZnO, а також оксиди FeO і MgO.

Вміст Al_2O_3 коливається від 54,6 до 56,8 %, із середнім 55,6 %. Вміст ZnO коливається від 33,5 до 37,4 %, із середнім вмістом 34,9 %.

Виявлені домішки MnO (середнє значення 0,16), а також SiO_2, V_2O_3, Cr_2O_3, NiO, TiO_2, Nb_2O_3, ZrO_2, PtO_2, MoO_3, CoO і CuO, які становлять в середньому соті частки відсотка (рис. 16).

Монацит належить до електромагнітної фракції та трапляється в поодиноких зернах. Мінерал добре обкатаний. Форма зерен переважно еліпсоподібна, округла. Розмір 0,07—0,10 мм. Колір жовтувато-зелений, жовтий.

Досліджено хімічний склад монациту (табл. 2) та його вік.

Монацит належить до церієвого виду (вміст Ce_2O_3 ~30 %) (рис. 17). Характерний високий вміст, %: La_2O_3 (14,6), Pr_2O_3 (3,6), Nd_2O_3 (12,1), ThO_2 (5,85), Y_2O_3 (0,3), P_2O_5 (28,6).

La присутній разом із церієм у співвідношенні приблизно 1 : 2 (рис. 18), сталому серед усіх визначень.

Вміст Th у монацитах коливається від 3,4 до 6,7 % (середнє 5,1 %). Зазвичай Th є замісним елементом (заміщує Ce, La). ThO_2 в середньому міститься 5,8 %. Наявні у незначній кількості PbO, SrO, ZrO_2, K_2O, CaO, UO_2, Nb_2O_5, BaO, TiO_2, FeO, Eu_2O_3, Gd_2O_3, Dy_2O_3, MnO, SO_2, SiO_2, MgO, Al_2O_3. Присутність кремнезему (SiO_2) може бути зумовлена заміщенням фосфору на кремній. Оскільки вміст кремнезему незначний (менше 0,5 %), можна стверджувати, що монацит не зазнавав істотних вторинних змін.

Також у лабораторії Варшавського університету за допомогою *SXFiveFE* було визначено абсолютний вік монацитів (рис. 19). З'ясовано, що 8 із 10 зразків мають палеопротерозойський вік утворення (до 2000 млн рр.), один зразок — архейського віку (2733 млн рр.) та один молодшого — неопротерозойського (569 млн рр.).

Унаслідок прояву анорогенного магматизму 1,80—1,74 млрд рр. тому в Приазовському мегаблоці були сформовані відносно невеликі інтрузії сублужних рідкіснометалевих гра-

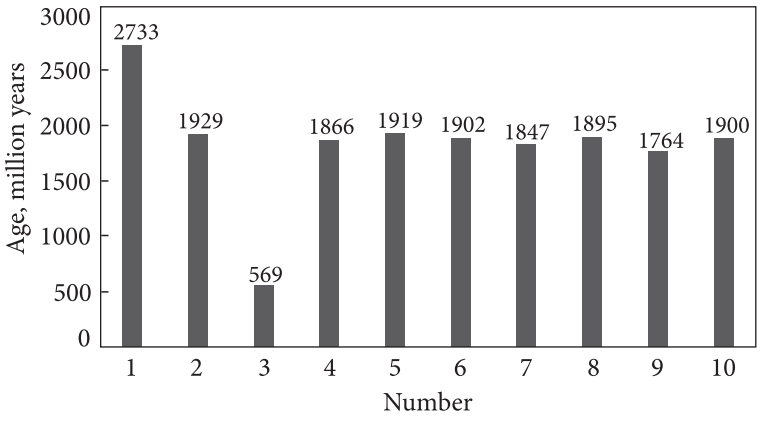

Рис. 19. Абсолютний вік монацитів Вовчанського родовища
Fig. 19. Absolute age of monazites of the Vovchansk deposit

Таблиця 2. **Хімічний склад монациту Вовчанського родовища, %**
Table 2. **Chemical composition of monazite from the Vovchansk deposit**

№ sp.	P_2O_5	Y_2O_3	PbO	ThO_2	UO_2	Ce_2O_3	Nd_2O_3	Pr_2O_3	La_2O_3	Sm_2O_3	Gd_2O_3	SiO_2
1	28.8225	0.4308	0.919	5.6252	0.4432	28.856	12.7223	3.5026	13.137	2.1352	1.3477	0.2807
2	29.0571	0.0626	0.3912	4.4211	0.0482	31.3645	12.4733	3.6639	15.4057	1.2575	0.3065	0.0513
3	29.3092	0.463	0.1503	4.0911	0.6422	29.6882	12.9145	3.6225	13.6823	2.3027	1.4790	0.0165
4	28.9933	0.031	0.6647	7.6293	0.1257	28.9163	13.1843	3.7965	12.7581	1.8985	0.6949	0.6448
5	29.0417	0.1084	0.5779	6.5381	0.0798	29.3361	12.4183	3.6773	14.1479	1.4634	0.4294	0.297
6	28.5772	0.6103	0.394	3.7616	0.2523	32.3446	9.6812	3.4509	18.1037	0.8999	0.3742	0.4082
7	28.5823	0.1423	0.508	6.136	0.0324	30.4895	11.5539	3.4525	15.492	1.2632	0.4519	0.4295
8	28.5581	0.2024	0.5954	6.9347	0.0542	29.1951	12.8494	3.6440	13.5656	1.7168	0.6768	0.5950
9	26.2949	0.8731	0.6095	7.1421	0.1984	28.8363	10.7909	3.3703	15.6769	1.5701	1.0348	1.7714
10	28.5777	0.0854	0.5207	6.0868	0.037	30.3966	12.421	3.7682	14.3169	1.5771	0.5131	0.4940

нітів та багатофазні розшаровані інтрузії сублужних порід — від перидотитів до нефелінових сієнітів, монцонітів і гранітів (Shcherbak et al., 2008; Ponomarenko et al., 2014). За результатами геохронологічних досліджень протерозойських структур Українського щита та геологічної будови Вовчанського родовища можна дійти висновку, що основна маса монациту привносилась із кори вивітрювання рожевих пегматоїдних гранітів дніпровського типу.

Висновки. На підставі виконаних досліджень установлено, що для Вовчанського родовища характерні такі особливості мінерального складу руд:

1. За результатами дослідження мінерального складу пісків Вовчанського родовища зроблено припущення, що корінними джерелами розсипу були різні за складом і віком магматичні та метаморфічні породи Українського щита — граніти, мігматити, гнейси, сланці, амфіболіти й кварцити.

2. На підставі дослідження розмірності зерен мінералів у пісках визначено, що переважає фракція 0,07—0,30 мм, а мінерали за порядком зменшення розмірів зерен утворюють такий послідовний ряд: турмалін, силіманіт, ставроліт, ільменіт, рутил, циркон. Отже, розмір зерен мінералів та їхня питома вага утворюють обернену залежність.

3. За ступенем обкатаності мінерали утворюють ряд: добре обкатані — ільменіт, рутил, силіманіт; слабко обкатані — циркон, турмалін; найменше обкатаний — ставроліт.

4. За результатами мікрозондового аналізу зерен ільменіту встановлено, що вміст оксиду титану в ільменіті з різних свердловин змінюється у межах 58,3—67,9 % і в середньому становить 62,8 %, а вміст оксиду заліза (FeO) — в середньому 25,2 %. З'ясовано, що найбільший вміст серед домішок мають MnO, Al_2O_3, MgO.

5. За результатами досліджень виявлено, що 83 % рутилів із Вовчанського родовища

мають метаосадове походження, решта 17 % — метамафічне. Для 78 % рутилів температура формування більша за 750 °С, для 14 % — 500—750 °С і для 8 % — <500 °С.

6. Виокремлено два різновиди циркону: звичайний і метаміктний, вміст останнього незначний. Середній вміст оксиду цирконію — 65,99 %; оксиду гафнію — 0,69—1,03 %. З'ясовано, що циркони однорідні за хімічним складом і, ймовірно надійшли у розсип із кори вивітрювання рожевих пегматоїдних гранітів дніпровського типу. Аналіз гістограм вмісту HfO_2 та співвідношення Zr/Hf в цирконах дає підставу стверджувати, що циркони з Вовчанського родовища є ранніми і, швидше за все, були привнесені із порід середнього та основного складу.

7. За даними хімічного аналізу визначено вміст оксидів у силіманіті, ставроліті, турмаліні, ганіті, монациті. З'ясовано основні компоненти мінералів і домішки в них.

8. З'ясовано, що абсолютний вік монацитів палеопротерозойський (до 2000 млн рр.), архейський (2733 млн рр.) та неопротерозойський (569 млн рр.). За результатами геохронологічних досліджень протерозойських структур Українського щита зроблено припущення, що основна маса монациту привнесена з кори вивітрювання рожевих пегматоїдних гранітів дніпровського типу.

9. Виконане дослідження дало змогу уточнити типоморфні особливості мінералів із пісків Вовчанського розсипу, встановити їхній абсолютний вік та ймовірні корінні джерела.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

Bea, F., Montero, P. and Ortega, M. (2006), *Can. Mineral.,* Vol. 44, No. 3, pp. 693-714. https://doi.org/10.2113/gscanmin.44.3.693

Caironi, V., Colombo, A., Tunesi, A. and Gritti, C. (2000*), Eur. J. Mineral.*, Vol. 12, No. 4, pp. 779-794. https://doi.org/10.1127/0935-1221/2000/0012-0779

Ganzha, O.A., Kuzmanenko, H.O., Okholina, T.V. and Remezova, O.O. (2022), *Visn. Taras Shevchenko Nat. Univ. of Kyiv. Geology,* Vol. 99, No. 4, pp. 60-66 [in Ukrainian]. http://doi.org/10.17721/1728-2713.99.08

[Ганжа, О.А., Кузьманенко, Г.О., Охоліна, Т.В., Ремезова, О.О. (2022), *Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Сер. Геол.* № 4(99). С. 60—66].

Ponomarenko, A.N., Stepanyuk, L.M. and Shumlyanskyy, L.V. (2014), *Mineral. Journ. (Ukraine),* Vol. 36, No. 2, Kyiv, pp. 48-60 [in Russian]. https://mineraljournal.org.ua/sites/default/files/sites/default/files/MJ_2_2014.pdf

[Пономаренко, А.Н., Степанюк, Л.М., Шумлянский, Л.В. (2014), *Мінерал. журн.* **36**, № 2. С. 48—60.]

Semenenko, N.P. (1967), *Titanium and titanium-zirconium placers of the Ukrainian SSR,* Acad. Sci. UkrSSR, Kyiv, 850 p. [in Russian].

[Семененко, Н.П. (1967), *Титановые и титано-циркониевые россыпи Украинской ССР.* Киев: АН УССР. 850 с.]

Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko A.N. and Shumlyanskyy, L.V. (2008), *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Proterozoic,* Nauk. dumka, Kyiv, 341 p. [in Russian].

[Щербак, Н.П., Артеменко, Г.В., Лесная, И.М., Пономаренко, А.Н., Шумлянский, Л.В. (2008), *Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой*. Киев: Наук. думка. 341 с.]

Tomkins, H.S., Powell, R., and Ellis, D.J., (2007), *J. Metamorph. Geol.,* Vol. 25 (6), pp. 703-713. https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2007.00724

Triebold, S., Luvizotto, G., Tolosana-Delgado, R., Zack, T. and von Eynatten, H. (2011), *Contrib. Mineral. and Petrol.* Vol. 161, pp. 581-596. https://doi.org/10.1007/s00410-010-0551-x

Tsymbal, S.N. and Polkanov, Yu.A. (1975), *Mineralogy of titanium-zirconium placers in Ukraine*, Nauk. dumka, Kyiv, 247 p. [in Russian].

[Цымбал, С.Н., Полканов, Ю.А. (1975), *Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины*. Киев: Наук. думка. 247 с.]

Wang, X., Griffin, W.L. and Chen, J. (2010), *Geochemical Journ.,* Vol. 44(1), pp. 65-72. https://doi.org/10.2343/geochemj.1.0043

Received 25.03.2024

O.A. Ganzha, PhD (Lithology), Researcher
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine
55-b, O. Honchar Str., Kyiv, Ukraine, 01601
E-mail: oag2909@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-8510-5618

MINERALOGY OF THE VOVCHANSK
ZIRCON-RUTILE-ILMENITE DEPOSIT (UKRAINIAN SHIELD)

The article provides generalized data on the geological structure, the results of laboratory analyzes of the heavy fraction of the main placer-forming minerals of the Vovchansk zircon-rutile-ilmenite deposit, which was being developed by Demurinsky Mining and Processing Plant LLC in 2002. The geological structure of the Vovchansk deposit includes a complex of Precambrian rocks of the crystalline basement, the Paleozoic-Cenozoic weathered crust, the Paleozoic-Cenozoic sediments, and Quaternary deposits. The industrial concentration of heavy minerals is confined to the middle and upper parts of the Middle Sarmatian subsuite of the Neogene, composed of fine-grained, essentially quartz sands, with a total thickness of 0.4 to 63 m. The content of heavy minerals in the ore-bearing horizon of the deposit ranges from 93.8 to 485 kg/m^3 (ilmenite from 37.6 to 242.6 kg/m^3, rutile from 15.9 to 64.6 kg/m^3, zircon from 2.9 to 9.4 kg/m^3, sillimanite and disthene from 20.4 to 117.5 kg/m^3). The content of major and minor elements-impurities in individual minerals of the ore-bearing horizon (178 grains) was determined: ilmenite (18 samples), rutile (40 samples), zircon (35 samples), sillimanite (30 samples), staurolite (25 samples), tourmaline (12 samples), ganite (8 samples), monazite (10 samples). The conducted research clarified the typomorphic features of minerals from the sands of the Vovchansk deposit, established their absolute age and probable original sources.

Keywords: Vovchansk deposit, ilmenite, rutile, zircon, sillimanite, staurolite, tourmaline, spinel, monazite.