https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.02.099 УДК 559.93+551.71+552.42/48

І.М. Лісна, канд. геол.-мін. наук, старш. наук. співроб. E-mail: Lesirmich@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-7545-1752 О.М. Пономаренко, д-р геол. наук, акад. НАН України, директор E-mail: pan.igmof@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-5179-6091 Л.В. Шумлянський, д-р геол. наук, пров. наук. співроб. E-mail: lshumlyanskyy@yahoo.com; https://orcid.org/0000-0002-6775-4419 А.Л. Ларіков, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб. E-mail: antonlrkv1@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-2955-494X Л.В. Сьомка, наук. співроб. E-mail: liudmylas26@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7059-2502 В.В. Гулько, аспірант E-mail: vladimir.gulko@ukr.net; https://orcid.org/0000-0002-6085-8346 О.О. Коваленко, мол. наук. співроб. E-mail: ok.igmr@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-5772-8970 Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України 03142, м. Київ, Україна, просп. Акад. Палладіна, 34

ПРИРОДА ЕНДЕРБІТІВ ПОБУЖЖЯ ЗА ДАНИМИ Sm-Nd, U-Pb і Lu-Hf МЕТОДІВ

За результатами мінералогічного та ізотопно-геохімічного дослідження U-Pb й Lu-Hf ізотопних систем цирконів із ендербітів Побужжя встановлено існування корових і ювенільних ендербітів. Негативні значення єNd в породах і єHf в цирконах із ендербіто-гнейсів Середнього Побужжя, ендербітів міст Літин і Сабарів вказують на їх коровий характер, походження за рахунок давніших (еоархейських?) порід, протолітом для яких була, ймовірно, мафітова протокора. Перетворення таких порід відбувалось пульсаційно 3,8—3,6; 3,0—2,8 і 2,1—1,9 млрд рр. тому. Наявність "типоморфних" цирконів у ендербітах також є свідченням їх корової природи. Ювенільні ендербіти 117/79, із кар'єру смт Тиврів і 127/79 із кар'єру с. Голоскове мають позитивні значення єNd і позитивні значення єHf в цирконах, які вказують на їх утворення із ювенільного джерела. Вони мають вік 2080 і 2070 млн рр. відповідно. Вважається, що саме ювенільні породи дають приріст континентальної кори, що узгоджується з уявленнями, що у процесі росту континентів відбувалось додавання нової сіалічної речовини із мантії. Однак породи, які є добавкою до кори, можуть не відрізнятись за складом від давніших порід.

Ключові слова: ендербіти, корові, ювенільні, циркони, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf, ізотопні системи.

Цитування: Лісна І.М., Пономаренко О.М., Шумлянський Л.В., Ларіков А.Л., Сьомка Л.В., Гулько В.В., Коваленко О.О. Природа ендербітів Побужжя за даними Sm-Nd, U-Pb і Lu-Hf методів. *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 2. С. 99—115. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.02.099

© Видавець ВД "Академперіодика" НАН України, 2023. Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією СС ВУ-NC-ND license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Вступ. Питання еволюції Землі на ранніх стадіях її існування, попри величезний обсяг накопичених даних, залишаються дискусійними. Найпридатнішими об'єктами для вирішення цих питань є найдавніші ранньоархейські утворення, представлені переважно гнейсами тоналіт-трондьєміт-гранодіоритової серії (ТТГ), виявлені на всіх континентах нашої планети [43]. Існує думка, що високотемпературні гранітоїди переважно тоналітового складу, давніші за 3,6 млрд рр., фіксують етап зародження сіалічної кори [4].

На Українському щиті (УЩ) у Дністровсько-Бузькому районі такими об'єктами є переважно плагіоклазові чарнокітоїди — ендербіто-гнейси, ендербіти, чарноендербіти, монцоендербіти, поширені в кар'єрах і відслоненнях по берегах р. Південний Буг. Збіднення чарнокітів Побужжя калієм уперше відзначив В.І. Лучицький, назвавши їх антипертитовими чарнокітами. Н.І. Безбородько вважав, що збіднені калієм породи чарнокітової серії Поділля належать до продуктів тоналітової магми. На відміну від чарнокітової серії Індії, він дав їй назву "бугітова серія". Надалі плагіоклазові різновиди чарнокітоїдів стали йменувати ендербітами, подібно ендербітам Землі Ендербі (Антарктида). З часів Ю.Ір. Половінкіної і Е.Б. Налівкіної всі чарнокітоїди розглядали як продукт метасоматичної гранітизації основних порід у фазу регресивного метаморфізму та вважали їх протерозойськими, а супракрустальні основні породи — архейськими [19]. У результаті ізотопних досліджень у Середньому Побужжі (Бандурівський виступ) виявлені палеоархейські гнейсоподібні ендербіти (ендербіто-гнейси) [12], віднесені до гайворонського комплексу, вік ядер циркону в яких, отриманий іон-іонним методом, становить 3,79 млрд рр. [5, 17, 31, 40], мезоархейські ендербіти Літинської [15] і Луполовських куполоподібних структур віком $2,8 \pm 0,1$ млрд рр. [25] і палеопротерозойські ендербіти Вінницького та Хмельницького блоків віком 2,0±0,1 млрд рр. [34]. У результаті в Кореляційній хроностратиграфічній схемі раннього докембрію Українського щита (2004) [48] в Дністровсько-Бузькому районі виділено різновікові комплекси чарнокітоїдів: гайворонський, літинський, побузький, бердичівський. Більшість дослідників вважають, що ці породи не можна відносити до різних комплексів, оскільки вони належать до одного безперервного розрізу. Різницю ж у віці пояснюють тривалим часом ультраметаморфізму і різним часом виведення порід із зони з *PT* умовами активного мінерало- та породоутворення [11, 23]. На думку В.П. Кирилюка, відбувся одноразовий розігрів усієї гранулітової асоціації раніше 3800 млн рр. тому і подальше тривале охолодження цієї асоціації до 2,0—1,9 млрд рр. зі структурноречовинними перетвореннями, пов'язаними з поступовим підйомом порід [8].

Мета роботи — визначення природи ендербітів Побужжя, їх еволюції в часі шляхом вивчення цирконів із застосуванням U-Pb і Lu-Hf методів.

Об'єкти дослідження: ендербіто-гнейси Середнього Побужжя, відібрані в 2 км на північ від смт Завалля; ендербіти Верхнього Побужжя (Подільський блок), відібрані в кар'єрах м. Літин, смт Сабарів, смт Тиврів і с. Голоскове (рис. 1), для яких існують або отримані нові ізотопні дані.

Методи дослідження. Уран-свинцевий ізотопний вік і ізотопний склад гафнію визначено за допомогою методу лазерної абляції цирконів з ізотопними вимірами на масспектрометрі з індуктивно-зв'язаною плазмою (LA-ICP-MS) в John de Laeter Centre, Curtin University, м. Перт, Австралія. Абляцію виконано за допомогою системи Resonetics RESOlution M-50A-LR із лазером COMPex 102-193 nm. Ізотопний склад урану та свинцю встановлено за допомогою квадрупольного інструменту Agilent 7700s у плазмі високочистого аргону. Ізотопний склад гафнію під час спеціальної аналітичної сесії, кратери абляції розташовано поруч із кратерами U-Pb датування, в межах тих самих зон росту кристалів. Визначення ізотопного складу гафнію здійснили за допомогою мультиколекторного масспектрометра Nu Plasma II. Розрахунки початкових відношень ¹⁷⁶Hf/ ¹⁷⁷Нf i значень єНf виконано з урахуванням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb віку, визначеного паралельно з ізотопним складом гафнію. Під час розрахунків було прийнято константу розпаду λ^{176} Lu = 1,867 · 10⁻¹¹ [47], і сучасні відношення в універсальному хондритовому

ISSN 2519-2396. Mineral. Journ. (Ukraine). 2023. 45, No. 2



(*CHUR*): ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf = 0,282785 та ¹⁷⁶Lu/ 177 Hf = 0,0336 [39].

Sm-Nd ізотопний вік ендербітів отримано у відділі радіогеохронології Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) ім. М.П. Семененка НАН України, а склад РЗЕ в ендербітах — за допомогою методу *ICP-MS* у цьому ж Інституті.

Результати. За хімічним складом ендербіти Побужжя належать до порід, пересичених глиноземом і помірно багатих лугами (табл. 1). Сумарний вміст лугів складає 5— 7 %, а натрій завжди помітно переважає над калієм. Відношення K₂O/Na₂O варіює від 0,07 до 0,26.

За відношенням суми лугів до кремнезему ендербіти, ендербіто-гнейси Побужжя розташовуються переважно в полі гранодіоритів (рис. 2), а на діаграмі О'Коннора (*Ab* — *An* — Or) (рис. 3) — у полі тоналітів і гранодіоритів. Всі вони належать до вапнисто-лужної серії (рис. 4). Тобто за хімічним складом ендербіто-гнейси і ендербіти подібні або аналогічні породам тоналіт-трондьєміт-гранодіоритової серії (ТТГ).

Характерною особливістю РЗЕ ендербітів Побужжя є наявність у них позитивної європієвої аномалії, цим вони відрізняються від Рис. 1. Схема основних структурних елементів Дністровсько-Бузького мегаблоку [34]: 1 — межі мегаблоку; 2 — зони глибинних розломів; 3 — межі граніто-гнейсових структур (1 — Летичівська, 2 — Літинська, 3 — Липовецька, 4 — Шаргородська, 5 — Гайворонська, 6 — Луполовська, 7 — Первомайська)

Fig. 1. Scheme of the main structural elements of the Dniester-Bouh megablock [34]: 1 — boundaries of the megablock; 2 — zones of deep faults; 3 — boundaries of granite-gneiss structures (1 - Letychivska, 2 - Litynska, 3 - Lypovetska, 4 - Shar-5 — Haivoronska, gorodska, 6 — Lupolovska, 7 — Pervomaiska)



Рис. 2. Класифікація порід за відношенням вмісту лугів $(Na_2O + K_2O)$ до кремнезему (SiO_2) Fig. 2. Rock classification according to the concentration of alkalis (Na₂O + K_2O) and SiO₂

більшості порід УЩ. Відношення (Eu/Eu*)_м змінюється від 1,12 до 2,11. Позитивну Еи аномалію пояснюють тим, що в ранньому докембрії гранітизація розвивалась безпосередньо по продуктах глибинного магматизму, які мають підвищену концентрацію євро-



Рис. 3. Діаграма нормативного складу *Ab* — *An* — *Or* для порід Побужжя

Fig. 3. Ab - An - Or normative composition diagram for rocks of the Bouh region



Рис. 4. Діаграма *AFM* для порід Побужжя. $A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; F = FeO; M = MgO*Fig.* 4. AFM diagram for rocks of the Bouh region. A =

= $Na_2O + K_2O$; F = FeO; M = MgO

пію (тотожну з мантійним джерелом) [3]. Досліджувані породи збіднені на РЗЕ, сума яких в ендербітах складає 50—90 ррт, що, на думку [10], є причиною позитивної європієвої аномалії.

Виходи найдавніших докембрійських порід Побужжя, представлених гнейсоподібними ендербітами (ендербіто-гнейсами), розкриті кар'єрами Козачий Яр і Одеський по берегах р. Південний Буг, в 2 км на північ від смт Завалля (Бандурівський виступ). Уперше ці породи описані в складі чарнокіт-норитового комплексу [29, 30]. Пізніше — як гнейсоподібні мігматити (ендербіто-гнейси) [13], в яких збереглись, попри інтенсивні перетворення, геохімічні і мінералогічні докази їхньої природи, тобто зв'язку з породами основного-ультраосновного складу. Ендербіто-гнейси — зеленувато-сірі гнейсоподібні породи. Мінеральний склад, %: гіперстен 5—15, діопсид 0—10, плагіоклаз 35—50, кварц 20—35 ± рогова обманка. Із акцесорних присутні ільменіт, магнетит, циркон, апатит, іноді гранат.

Ендербіто-гнейси з кар'єрів Одеський і Козачий Яр детально вивчено ізотопними методами [5, 7, 8, 16-18, 31, 41]. У процесі датування цирконів із ендербіто-гнейсів класичним уран-свинцевим методом було отримано вік 3,4—3,1 млрд рр. [33]. Але модельні вікові Sm-Nd значення (DM) дорівнювали 3,6—3,9 млрд рр. [24, 42]. Діапазон значень εNd = (+0,4... −1,8; −4,0), від близьких до CHUR (універсальний хондритовий резервуар) до негативних значень, які переважають в ендербіто-гнейсах, вказує на їх походження за рахунок давніших порід, протолітом для яких радше за все була мафічна протокора [31]. Це стимулювало дослідження цирконів іон-іонними методами. Циркони із ендербітогнейсів кар'єрів Козачий Яр і Одеський датовано на масспектрометрі вторинних іонів Cameca 1270 (NORDSIM) у лабораторії ізотопної геології Швецького музею Природної історії в Стокгольмі [4, 5] і на іон-іонному мікрозонді в Санкт-Петербурзі [17, 18]. У результаті для ендербіто-гнейсів отримано уран-свинцевий вік ядер цирконів до ~3,8 млрд рр. У роботі [31] наведено опис цирконів із ендербіто-гнейсів різного віку від 1850 до 3500 млн рр. з Одеського кар'єру. Встановлено чіткі піки в розподілі кристалів за віком 3400—3600, 2600—2800, 2000— 2100 млн pp.

Ендербіто-гнейси із кар'єрів Козачий Яр і Одеський містять настільки своєрідні циркони, що їхній вигляд став типоморфною ознакою найдавніших корових порід УЩ [14]. За морфологічними та геохімічними властивостями циркони належать до двох генерацій, детально описаних у роботах [4,

ISSN 2519-2396. Mineral. Journ. (Ukraine). 2023. 45, No. 2

14, 15, 34]. Це наявність двох генерацій — ранньої, циркони якої мають гранітний вигляд, древній вік, складну будову — наявність ядра з високим вмістом гафнію, урану (рис. 5). За кольором є коричневі, сірі та рожеві кристали. Коричневий циркон часто зберігається у вигляді тіньового ядра, що для мінералогів може бути пошуковим крите-

Таблиця 1. Хімічний склад (%) і склад РЗЕ (ppm) ендербітів Побужжя
Table 1. Chemical composition (%) and REE composition (ppm) of enderbites of the Bouh region

Commiss #	Middle Bo	ouh region	Upper Bouh region					
Sample #	186/81	108/79	196/81	110/79	117/79	127/79		
SiO ₂	67,54	66,14	67,60	62,35	68,00	65,63		
TiO ₂	0,38	0,35	0,46	0,45	0,35	0,35		
Al ₂ Õ ₃	16,21	16,14	16,30	15,70	16,70	16,60		
Fe ₂ O ₃	0,09	1,14	0,44	1,24	1,14	1,9		
FeO	3,31	3,29	2,58	5,72	2,57	2,57		
MnO	0,07	0,08	0,06	0,11	0,02	0,08		
MgO	1,52	2,70	1,38	3,40	1,90	1,79		
CaO	4,59	5,30	4,13	3,50	4,66	4,00		
Na ₂ O	3,80	4,30	4,91	3,90	3,90	5,30		
K ₂ O	1,48	0,50	1,10	3,30	0,70	1,30		
P_2O_5	0,13	0,23	0,04	0,1	0	0,15		
S	Traces	_	0,13	0,05	0,07	0,10		
H,O ⁻	0,04	100,41	0,10	0,14	0,14	0,35		
LÕI	0,19	0,23	0,36	0	0,05	0,10		
CO ₂	0,17	0,17	0,85	0,48	0,24	0,28		
Total	99,52	100,41	100,46	100,44	100,44	100,50		
F, %	56,9	47,4	55,1	53,3	51,5	56,6		
K ₂ O/Na ₂ O	2,6	0,07	0,14	0,56	0,11	0,16		
La	10,65	11,59	24,38	15,6	12,9	11,4		
Ce	19,56	20,69	38,66	32,5	24,0	21,6		
Pr	2,07	2,32	3,73	3,3	2,8	2,4		
Nd	7,45	9,10	11,05	10,7	10,8	10,0		
Sm	1,38	1,91	1,92	2,0	2,0	1,6		
Eu	0,92	0,84	0,93	0,7	0,8	0,7		
Gd	1,09	1,54	1,25	1,5	1,6	1,3		
Tb	0,17	0,26	0,15	0,1	0,2	0,2		
Dy	0,75	1,56	0,75	0,5	1,1	1,3		
Но	0,14	0,31	0,13	0,1	0,2	0,2		
Er	0,36	0,84	0,33	0,2	0,5	0,7		
Tm	0,05	0,12	0,05	0,0	0,1	0,1		
Yb	0,32	0,80	0,29	0,2	0,4	0,6		
Lu	0,05	0,12	0,04	0,0	0,1	0,1		
Sc	3,43	13,09	3,80	4,6	7,3	4,3		
Y	3,88	8,38	3,40	2,5	5,0	5,6		
Eu/Eu*	1,50	2,11	1,50	1,21	1,32	1,51		

П р и м і т к а. Проби Середнього Побужжя: 186/81 — ендербіто-гнейс (кар'єр Одеський); 108/79 — ендербіто-гнейс (кар'єр Козачий Яр). Проби Верхнього Побужжя: 196/81 — ендербіт (кар'єр, м. Літин, р. Згар), пр. 110/79 — монцоендербіт (кар'єр, м. Сабарів), пр. 117/79 — ендербіт (кар'єр, смт Тиврів), пр. 127/79 — ендербіт (кар'єр, с. Голоскове).

N o t e. Samples in the Middle Bouh area: 186/81 — enderbito-gneiss (Odesa open pit); 108/79 — enderbito-gneiss, (Kozachy Yar open pit). Samples in the Upper Bouh area: 196/81 — enderbite (open pit in Lityn, Zhar district), sample 110/79 — monzoenderbite (open pit in Sabariv), sample 117/79 — enderbite (open pit in the city of Tyvriv), sample 127/79 — (open pit in the village of Holoskove).



Рис. 5. Циркон ранньої генерації [34]. Ядро: U = = 650 ppm, Pb = 400 ppm, Hf = 1,70 %. Оболонка: U = = 230 ppm, Pb = 50 ppm, Hf = 1,28 %

Fig. 5. Zircon of the early generation [34]. Core: U = 650 ppm, Pb = 400 ppm, Hf = 1.70 %. Rim: U = 230 ppm, Pb = 50 ppm, Hf = 1.28 %

Рис. 6. Циркон пізньої генерації. U = 72—126 ppm, Pb = 41—54 ppm, Hf = 1,0—0,9 % *Fig.* 6. Zircon of the late generation. U = 72—126 ppm, Pb = 41—54 ppm, Hf = 1.0-0.9 %

рієм древніх первиннокорових порід [14]. Циркони пізньої генерації представлені однорідними, ізометричними, прозорими, з сильним "дорогоцінним" блиском кристалами, з низьким значенням урану, свинцю, гафнію і молодшим віком 2,8±0,1 млрд рр. (рис. 6). Він утворює і оболонки на цирконах ранньої генерації віком 2,8—2,0 млрд рр.

Такі типоморфні циркони характерні для всіх найдревніших корових порід УЩ — тоналітів новопавлівського комплексу Оріхово-Павлоградської шовної зони (3,67 млрд рр.), для тоналітів добропільського комплексу (3,3 млрд рр.), для граніто-гнейсів Різдвяно-Успенівської монокліналі Приазов'я (3,1— 3,3 млрд рр.) та ін. [14]. Подібні циркони характерні для древніх порід і інших щитів, зокрема ендербітів нейперського комплексу Антарктиди [38]. Наявність таких типоморфних цирконів у ендербітах може свідчити, що їхніми протолітами були споріднені (первинно-корові) породи, які фіксують етап зародження сіалічної кори. Подібні "типоморфні" циркони виявлені в ендербітах Подільського блоку — в Літинському (м. Літин) [34] і в Сабарівському кар'єрах (м. Сабарів) [35].

У кар'єрі м. Літин переважають ендербіти та чарноендербіти з незначною кількістю кристалосланців. Це Літинська структура виступ давнього фундаменту палео-еоархейського віку, перетвореного накладеними

процесами в мезо-неоархеї і в палеопротерозої. Вона знаходиться в центральній частині Гніванської синкліналі серед молодших порід бердичівського комплексу. Ендербіти масивні середньо- і великокристалічні, сірого, зеленкувато-сірого кольору з гранобластовою структурою. Мінеральний склад, %: плагіоклаз — 55, кварц — 31, гіперстен — 10, КПШ — 2, біотит — 2, циркон, апатит, рудний, ± гранат ± діопсид. Плагіоклаз антипертитовий з основністю від олігоклазу до андезину (Ап23-32). Протолітами ендербітів у Літинській структурі вважають ендербітогнейси [7, 13]. Корову природу ендербітів Літина — їх утворення за рахунок давніших порід, підтверджує негативне значення єNd = -11,4 [7]. Вони мають древній Sm-Nd модельний вік *DM* = 3650 млн pp. [24]. У цих породах, хоч вони і зазнали впливу палеопротерозойської гранітизації, що спричинила появу в них монациту і накладеного циркону двомільярдного віку, переважає архейський "типоморфний" циркон (до 95 %). Це тетрагонально- і дитетрагонально-призматичні кристали цирконового типу сіруватокоричнюватого та рожевого кольору, зі згладженими формами; $L_4 = 0,05-0,5$ мм, $K_{_{RMR}} =$ = 2,5—3,0, зрідка до 5,0. Коричневий циркон зберігається часто у вигляді тіньових слідів у сірих цирконах. Як і в ендербіто-гнейсах, від сірих до рожевих цирконів зменшується вміст урану і гафнію. Але з'являються циркони (особливо рожеві) з однаковим вмістом гафнію в ядерних частинах і в оболонках, і навіть більший вміст гафнію і урану в оболонках, що, ймовірно, вказує на розкислення породи [15, 20]. Ізохронний вік цирконів із ендербіту Літинського кар'єру, визначений класичним уран-свинцевим методом за сумішшю сірого і рожевого цирконів, дорівнює 2815±35 млн pp., що відповідає гранулітовому метаморфізму [34]. Безсумнівно, в ендербітах є і древніші циркони віком 3,4 млрд рр. і більше, бо літинські ендербіти, як і ендербіто-гнейси Бандурівського виступу, утворились за рахунок первиннокорових порід.

У кар'єрі м. Сабарів (Вінницький блок) виходи чарнокітоїдів перемежовуються з вінницитами і світлими апліто-пегматоїдними гранітами з гранатом. Проба чарнокітоїдів (110/79), відібрана із найглибиннішої части-

ни кар'єру (із забою), представлена масивними, середньозернистими, слабо катаклазованими ендербітами (монцоендербітами) з гранітною структурою. Вони мають переважно один піроксен — гіперстен. Мінеральний склад породи, об. %: гіперстен — 18, біотит — 2, плагіоклаз (*An*₂₅) з антипертитовими вростками калієвого польового шпату — 60, кварц — 20, апатит, циркон, монацит. Вік порід, отриманий за цирконом класичним U-Pb методом, становить 2261±24 млн pp. [35], Sm-Nd вік ~2,8 млрд pp. Негативне значення $\epsilon Nd = -5,8$, вказує на коровий характер порід. У ендербітах Сабарова є такий самий "типоморфний" циркон, як в ранньоархейських ендербіто-гнейсах і ендербітах м. Літин. Переважають прозорі, тріщинуваті, видовженопризматичні дитетрагональні кристали цирконового і гіацинтового типу зі згладженими формами.

Характерною є різнорозмірність цирконів від 0,15 до 0,5—0,75 мм за L_4 . Циркони рожево-коричнюваті, іноді з тіньовими ядрами коричневого кольору. Завдяки негативному значенню єNd і наявності в ендербітах Сабарова "типоморфного" циркону, ми дійшли висновку, що ендербіти Сабарова утворились за рахунок таких самих корових порід, як ендербіто-гнейси Середнього Побужжя і ендербіти Літина. Це підтверджують



Рис. 7. Результати уран-свинцевого датування індивідуальних зерен циркону із монцоендербіту, 110/79 (кар'єр, м. Сабарів) методом *LA-ICP-MS*

Fig. 7. Results of the uranium-lead dating of individual zircon grains from monzoenderbite, 110/79 (Sabariv open pit) by the *LA-ICP-MS* method

результати уран-свинцевого датування, отримані за допомогою методу лазерної абляції із застосуванням масспектрометрії (LA-ICP-MS) в John de Laeter Centre, Curtin University, м. Перт, Австралія (рис. 7). Як видно з рис. 7, ендербіти Сабарова мали складну геологічну історію. Вік деяких зерен варіює в діапазоні від 3400 до 2800 і до 1800 млн рр. Водночас майже всі точки близькі до кон-



Рис. 8. Результати уран-свинцевого датування методом *LA-ICP-MS* індивідуальних зерен циркону: a — ендербіти, 117/79, смт Тиврів, та b — ендербіти, 127/79, с. Голоскове *Fig.* 8. Results of the uranium-lead dating by *LA-ICP-MS* method of individual zircon grains from: a — enderbites, 117/79, Tyvriv, and b — enderbites, 127/79, Holoskove

кордії. Формально дискордія перетинає конкордію в точках 2170 та 2765 млн рр. Отже, мінералогічні і геохімічні дані вказують, що ендербіто-гнейси Середнього Побужжя (Бандурівського виступу), ендербіти Літина, ендербіти Сабарова утворились за рахунок давніших (первиннокорових) порід. Вони зазнали різних перетворень ~3,4, ~2,8 і 2,0 млрд рр. тому під впливом термальних процесів у мантії [6], можливо, кожне наступне перетворення накладалось на попереднє. Поряд із коровими ендербітами, які мають негативні значення єNd, в Подільському блоці виявлені ендербіти з позитивними значеннями єNd, які вказують на їх утворення із ювенільного джерела. Це ендербіти із кар'єру в с. Голоскове (пр. 127/79), із кар'єру в смт Тиврів (пр. 117/79), віднесені до бердичівського комплексу. Отриманий традиційним урансвинцевим методом [35] вік порід становить, відповідно, 2060 ± 16 і 2096 ± 24 млн рр., а єNd = +0,9 і +2,8. Характерною особливістю

Таблиця 2. Результати визначення ізотопного складу гафнію в кристалах циркону з ендербіту 110/79 (Сабарів) Table 2. Results of measurements of hafnium isotopic composition in zircon crystals from enderbite 110/79 (Sabariv)

Spot #	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age, Ma	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Yb/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	±2σ	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf _T	εHf _T	±2σ	T(DM) _{felsic} Ma	T(DM) _{mafic} Ma
1	2710	0.001029	0,029000	0,281058	0,000041	0,281005	-1.3	1.4	3184	3529
4	2139	0.000615	0.016150	0.281158	0.000031	0.281133	-10.1	1.1	3171	3914
7	2073	0,000519	0,012710	0,281239	0,000034	0,281218	-8,5	1,2	3038	3733
8	2797	0,000780	0,018000	0,281097	0,000032	0,281055	2,5	1,2	3054	3241
9	2084	0,000512	0,012720	0,281274	0,000029	0,281254	-7,0	1,1	2968	3606
12	2062	0,000333	0,008230	0,281239	0,000039	0,281226	-8,5	1,4	3028	3724
13	2092	0,000529	0,014120	0,281169	0,000032	0,281148	-10,6	1,1	3161	3930
16	2665	0,001120	0,028500	0,281057	0,000033	0,281000	-2,5	1,1	3212	3608
17	2090	0,000558	0,014590	0,281208	0,000032	0,281186	-9,3	1,2	3092	3813
20	2547	0,001180	0,031100	0,280942	0,000033	0,280884	-9,4	1,2	3473	4141
21	2085	0,000196	0,004590	0,281053	0,000040	0,281045	-10,6	1,4	3353	4263
22	2199	0,000590	0,016100	0,281142	0,000040	0,281117	-9,2	1,4	3177	3882
23	2084	0,000415	0,010700	0,281597	0,000031	0,281581	4,6	1,1	2359	2559
24	2615	0,000472	0,012250	0,281032	0,000033	0,281008	-3,4	1,2	3216	3651
25	2196	0,000346	0,008600	0,281169	0,000032	0,281154	-8,0	1,1	3109	3768
28	2074	0,000892	0,018700	0,281625	0,000041	0,281590	4,7	1,4	2345	2543
29	2890	0,001570	0,042800	0,280673	0,000031	0,280586	-10,6	1,1	3890	4610
30	2050	0,000449	0,011000	0,281026	0,000048	0,281008	-10,6	1,7	3434	4424
35	2511	0,000793	0,019100	0,280911	0,000046	0,280873	-10,6	1,6	3509	4227
36	2571	0,000529	0,013140	0,281175	0,000035	0,281149	0,6	1,3	2971	3262
37	2239	0,000326	0,008380	0,281224	0,000031	0,281210	-5,0	1,1	2989	3532
38	2044	0,001022	0,025800	0,280961	0,000036	0,280921	-10,6	1,2	3596	4704
41	2441	0,001270	0,031800	0,280975	0,000031	0,280916	-10,6	1,1	3457	4188
42	2411	0,001220	0,031300	0,281097	0,000033	0,281041	-7,0	1,1	3237	3833
45	2601	0,000582	0,014080	0,281024	0,000030	0,280995	-4,2	1,1	3246	3713
46	2450	0,000599	0,014000	0,281041	0,000029	0,281013	-7,1	1,1	3273	3868
47	3294	0,000832	0,022700	0,281132	0,000049	0,281079	15,2	1,2	2792	2422
51	2061	0,000440	0,011800	0,281246	0,000032	0,281229	-8,5	1,1	3023	3717
53	2033	0,001112	0,025000	0,281099	0,000041	0,281056	-10,6	1,4	3353	4298
56	2095	0,001329	0,030100	0,280914	0,000034	0,280861	-10,6	1,2	3688	4824
58	2041	0,000494	0,013280	0,281217	0,000036	0,281198	-10,6	1,2	3088	3842
62	2065	0,000647	0,014420	0,280946	0,000032	0,280921	-10,6	1,3	3590	4679
64	2739	0,000156	0,004500	0,281196	0,000028	0,281188	5,9	1,0	2828	2894
65	2024	0,000713	0,019620	0,281033	0,000034	0,281005	-10,6	1,2	3449	4468

ISSN 2519-2396. Mineral. Journ. (Ukraine). 2023. 45, No. 2

Таблиця 3. Результати визначення ізотопного складу гафнію в кристалах циркону з ендербіту 117/79 (Тиврів) Table 3. Results of measurements of hafnium isotopic composition in zircon crystals from enderbite 117/79 (Tyvriv)

Spot #	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age, Ma	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Yb/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	±2σ	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf _T	$\epsilon H f_T$	±2σ	T(DM) _{felsic} Ma	T(DM) _{mafic} Ma
1	2150	0,000412	0,009080	0,281513	0,000036	0,281496	3,1	1,2	2491	2738
6	2124	0,000870	0,019400	0,281572	0,000032	0,281537	3,9	1,2	2425	2644
8	2144	0,000226	0,004820	0,281535	0,000032	0,281526	4,0	1,1	2437	2651
9	2134	0,000267	0,006410	0,281523	0,000033	0,281512	3,3	1,2	2467	2709
11	2120	0,000570	0,012170	0,281580	0,000033	0,281557	4,6	1,2	2388	2584
13	2113	0,000474	0,010500	0,281610	0,000032	0,281591	5,6	1,1	2327	2484
14	2066	0,000819	0,018820	0,281564	0,000036	0,281532	2,4	1,2	2457	2741
17	2153	0,000386	0,008000	0,281576	0,000035	0,281560	5,4	1,2	2369	2527
21	2151	0,000304	0,006260	0,281547	0,000033	0,281535	4,5	1,2	2418	2613
26	2155	0,000580	0,012620	0,281532	0,000035	0,281508	3,6	1,2	2466	2692
33	2162	0,000806	0,018780	0,281635	0,000042	0,281602	7,1	1,5	2287	2379
41	2154	0,000566	0,012630	0,281563	0,000038	0,281540	4,7	1,3	2407	2592
45	2093	0,000523	0,011500	0,281613	0,000033	0,281592	5,2	1,1	2333	2508
49	2134	0,000357	0,008070	0,281449	0,000035	0,281434	0,5	1,2	2612	2960
50	2067	0,000962	0,021420	0,281551	0,000033	0,281513	1,8	1,2	2492	2800
51	2132	0,000279	0,006570	0,281484	0,000030	0,281473	1,8	1,1	2542	2839
54	2071	0,000704	0,015600	0,281564	0,000035	0,281536	2,7	1,3	2447	2720
55	2119	0,000215	0,004640	0,281551	0,000033	0,281542	4,0	1,1	2416	2633

Таблиця 4. Результати визначення ізотопного складу гафнію в кристалах циркону з ендербіту 127/79 (Голоскове) Table 4. Results of measurements of hafnium isotopic composition in zircon crystals from enderbite 127/79 (Holoskove)

Spot #	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age, Ma	¹⁷⁶ Lu/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Yb/ ¹⁷⁷ Hf	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf	±2σ	¹⁷⁶ Hf/ ¹⁷⁷ Hf _T	$\epsilon H f_T$	±2σ	T(DM) _{felsic} Ma	T(DM) _{mafic} Ma
11	2014	0,001410	0,032400	0,281667	0,000033	0,281613	4,1	1,1	2326	2552
13	2099	0,000630	0,016000	0,281538	0,000030	0,281513	2,5	1,1	2480	2756
14	2068	0,000467	0,011470	0,281594	0,000033	0,281576	4,0	1,2	2374	2597
19	1951	0,002340	0,053800	0,281657	0,000029	0,281570	1,1	1,1	2430	2778
23	2057	0,000345	0,008800	0,281570	0,000032	0,281556	3,1	1,1	2414	2674
24	2104	0,001922	0,048710	0,281628	0,000036	0,281551	4,0	1,3	2406	2626
25	2057	0,001640	0,041200	0,281636	0,000030	0,281572	3,6	1,1	2386	2625
33	2089	0,000837	0,018800	0,281616	0,000032	0,281583	4,8	1,1	2353	2545
40	2180	0,001345	0,045000	0,281481	0,000030	0,281425	1,3	1,1	2612	2925
42	2063	0,000409	0,010470	0,281574	0,000033	0,281558	3,3	1,1	2409	2661
47	2049	0,000293	0,007250	0,281590	0,000031	0,281579	3,7	1,1	2376	2614
49	2098	0,001065	0,025500	0,281637	0,000029	0,281594	5,4	1,1	2327	2494
51	2073	0,001064	0,026000	0,281595	0,000037	0,281553	3,3	1,3	2415	2663
52	1778	0,000578	0,012500	0,281655	0,000029	0,281635	-0,5	1,1	2375	2808
57	2045	0,000296	0,007508	0,281616	0,000034	0,281604	4,5	1,2	2329	2536
58	2109	0,000672	0,015600	0,281592	0,000034	0,281565	4,6	1,2	2378	2574
60	2141	0,002530	0,078500	0,281315	0,000030	0,281212	-7,2	1,1	3024	3661
62	2055	0,000699	0,015550	0,281545	0,000040	0,281518	1,7	1,4	2488	2803
63	2019	0,001042	0,026080	0,281500	0,000037	0,281460	-1,2	1,3	2610	3038
65	2046	0,000314	0,007840	0,281556	0,000037	0,281544	2,4	1,3	2443	2731



Рис. 9. Ізотопний склад гафнію в цирконах із ендербітів Подільського блоку: 110/79 — м. Сабарів, 117/79 — смт Тиврів, 127/79 — с. Голоскове. Пунктиром показано еволюційну лінію, що відповідає відношенню ¹⁷⁶Lu/¹⁷⁷Hf = 0

Fig. 9. Hafnium isotope composition in zircons from enderbites of the Podillya Domain: 110/79 — Sabariv, 117/79 — Tyvriv, 127/79 — Holoskove. The dashed line corresponds to $^{176}Lu/^{177}Hf = 0$

цих порід є однорідний монолітний вигляд в обох кар'єрах. Це сірі, зеленкувато-сірі середньозернисті масивні породи. Мінеральний склад, %: гіперстен — 7, плагіоклаз (олігоклаз) — 50—57, кварц 35—40, ільменіт, магнетит, пірит, апатит, циркон, іноді поодинокі зерна діопсиду, рогової обманки. Циркони видовженопризматичні тетрагональні і дитетрагональні, з К_{вид} = 1,5—3,0, прозорі з високими кольорами інтерференції. Переважають однорідні циркони, але у великих зернах із ендербітів с. Голоскове часто присутні ядра [35].

З огляду на те, що ці циркони часто неоднорідні, містять ядра, ми виконали їх U-Pb датування методом лазерної абляції із застосуванням масспектрометрії із індуктивнозв'язаною плазмою (LA-ICP-MS). Результат визначення віку уран-свинцевим методом у індивідуальних зернах циркону показано на рис. 8, a, b. Ендербіт 117/79 (смт Тиврів, рис. 8, a) представлений скупченням точок навколо значення 2080 млн рр. на конкордії, що практично збігається з попередніми результатами, отриманими традиційним урансвинцевим методом [35]. Результати вивчення зерен цирконів з ендербіту 127/79 (с. Голоскове, рис. 8, b) — вік 2070 млн рр., що також добре узгоджується з результатами попередніх досліджень [35].

Обговорення. Ізотопний склад гафнію, що заміщує цирконій у структурі циркону, є найінформативнішим для визначення природи порід ТТГ серії [4]. Результати визначення ізотопного складу гафнію в індивідуальних кристалах циркону з досліджених ендербітів кар'єрів м. Сабарів, смт Тиврів і с. Голоскове Подільського блоку, наведено в табл. 2, 3, 4 і на рис. 9.

На рис. 9 (U-Pb вік цирконів, за співвідношенням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb — єНf) добре видно різницю в геологічній історії корових і ювенільних ендербітів Подільського блоку. Майже всі точки, що належать цирконам із двох ендербітів (117/79, 127/79), мають позитивні значення єНf, що свідчить про ювенільне походження речовини у процесі утворення цих порід. Точки цирконів сабарівського ендербіту (110/79) розтягнуті в широкому діапазоні як за віком, так і за значеннями єНf. Поодинокі найдавніші циркони в пр. 110/79 мають позитивні значення єНf, що вказує на їх ювенільний характер (рис. 9). У молодших цирконах ізотопний склад гафнію (відношення ¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf) лишається тим самим, а величина єНf закономірно зменшується, оскільки залежить від віку, на який розрахована. Характерно, що ці варіації відбуваються уздовж лінії, яка відповідає відношенню ${}^{176}Lu/{}^{177}Hf = 0$.

Варіації датувань в ендербітах з коровою історією пояснюються "омолодженням" зерен циркону за рахунок втрати радіогенного свинцю, коли ізотопний склад гафнію лишається незмінним. Важливо зазначити, що подібні варіації спостерігаються і в породах ТТГ асоціації, досліджених у кар'єрі поблизу с. Чаусове [28], в с. Перегонівка [26], та в Кошаро-Олександрівському кар'єрі [25]. Ізотопний склад гафнію в найдавніших кристалах із ендербіто-гнейсів Середнього Побужжя (Бандурівський виступ), має величину єНf від -2,1 в Одеському кар'єрі [31], і від +0,5 в кар'єрі Козачий Яр [46] до -38,4 в наймолодших кристалах. Характер варіації ізотопного складу в цих цирконах також свідчить про "омолодження" ізотопного віку цирконів завдяки втраті радіогенного свинцю, водночас ізотопний склад гафнію лишається сталим.



Рис. 10. Гістограми розподілу дат віку за відношенням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb у точках вимірювання ізотопів гафнію в зернах циркону з порід: *а* — монцоендербіт, 110/79, м. Сабарів; *b* — ендербіти, 117/79, смт Тиврів; *с* — ендербіти, 127/79, с. Голоскове; *d* — ендербіто-гнейс, кар'єр Козачий Яр [46]; *е* — ендербіто-гнейс, Одеський кар'єр [31]; *f* — ендербіто-гнейс, Кошаро-Олександрівський кар'єр [25]

Fig. 10. Histograms of the distribution of dates according to the ${}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}$ ratio at the measurement points of hafnium isotopes in zircon from rocks: a — monzoenderbite, 110/79, Sabariv; b — enderbites, 117/79, Tyvriv village; c — enderbites, 127/79, Holoskove village; d — enderbito-gneiss (Kozachy Yar open pit) [46]; e — enderbito-gneiss (Odesa open pit) [31]; f — enderbito-gneiss (Kosharo-Oleksandrivka open pit) [25]

Характерним є і деяке привнесення ювенільного гафнію ~2,8 та 2,0 млрд рр. тому.

На гістограмах розподілу дат віку (рис. 10) за відношенням ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb (табл. 2, 3, 4) прослідковується тривала історія цирконів і, відповідно, ендербітів із "коровими" характеристиками, і практично одноактне утворення "ювенільних" цирконів 2,0±0,2 млрд рр. тому.

Історія геологічного розвитку Побузького гранулітового комплексу за ізотопногеохімічними даними. Наявні ізотопно-геохімічні і геологічні дані [9] свідчать про щонайменше три етапи формування ендербітів (аналогічних за хімічним складом ТТГ асоціації) в межах Побузького гранулітового поясу. Найдавніша з них репрезентована ендербітами (ендербіто-гнейсами) гайворонського комплексу, що спорадично відслонюються по обох берегах р. Південний Буг між досліджена в кар'єрах Козачий Яр, Одеський, та у природних відслоненнях поблизу м. Гайворон. Це найдавніші відомі породи західної частини Українського щита, вік їх формування становить ~3,8—3,7 млрд рр. тому [5, 17, 31, 40]. Їх утворення пов'язують [45] із частковим плавленням потовщеної мафічної кори, яка утворилась невдовзі після пізнього важкого бомбардування поверхні ранньої Землі численними астероїдами різного розміру 4,0—3,85 млрд рр. тому [44, 45]. Наступна ТТГ асоціація (літинський комплекс, ~2,8 млрд рр.) поширеніша, і в цілому утворює широку "облямівку" навколо протоконтинентального ядра, утвореного породами гайворонського комплексу. Породи асоціації доволі різноманітні за складом, і часто містять ксеноліти давніших гнейсів і метамор-

м. Гайворон і смт Завалля. Найкраще вона

фізованих основних порід. ТТГ цього віку часто вміщують давніші циркони [25, 26, ця робота], отже, асимілювали більш давню кору. Втім, у їхньому складі значною є частка і ювенільних цирконів із позитивними величинами єНf, які свідчать про надходження мантійного матеріалу. Вочевидь, утворення цього комплексу порід було супроводжено метаморфізмом і метасоматичними процесами [40]. Варто зазначити, що магматизм цього етапу (~2,8 млрд рр.), поширений у межах УІЦ [34, 2, 36, 21], і репрезентує один із найголовніших етапів короутворення.

Наймолодша ТТГ асоціація в межах Побузького гранулітового поясу (бердичівський комплекс) часто репрезентована численними інтрузивними тілами переважно ювенільних ендербітів [26, 27]. Вони також часто містять ксеноліти давніших порід. Час утворення цієї асоціації збігається з часом гранітоїдного магматизму, поширеного в межах всього УЩ, а також з часом прояву метаморфізму амфіболітової та гранулітової фацій [35, 22, 32, 1]. Магматизм і метаморфізм цього часу може бути пов'язаний із колізією між Сарматським і Волго-Уральським сегментами Східноєвропейської платформи [37] як з одним із етапів формування палеопротерозойського суперконтиненту Родінія.

Отримані нами та іншими дослідниками ізотопно-геохронологічні і геологічні дані стосовно ТТГ асоціацій Побузького гранулітового поясу однозначно свідчать, що це три різні дискретні події короутворення, розділені проміжками часу у 800—1000 млн рр. Між цими подіями мала місце денудація і накопичення супракрустальних товщ дністровсько-бузької (між першою і другою ТТГ асоціаціями), і бузької (між другою і третьою). Отже, твердженню про те, що цей район зазнав одноразової термальної події у ранньому археї, а після цього нерівномірно охолоджувався впродовж майже 2 млрд pp., суперечать як ювенільний характер магматичних подій віком в 2,8 та 2,1—2,0 млрд pp., так і потужні товщі супракрустальних порід, "вкладені" між цими подіями.

Висновки. У результаті мінералогічного й ізотопно-геохімічного дослідження Sm-Nd, U-Pb та Lu-Hf ізотопних систем із порід Побужжя встановлено існування корових і ювенільних ендербітів. Наявність "типоморфних" цирконів, негативні значення єNd в породах і єHf в цирконах ендербіто-гнейсів Бандурівського виступу Середнього Побужжя, ендербітів Літина і ендербітів Сабарова вказують на їхній коровий характер, походження за рахунок давніших (еоархейських) тоналіт-трондьєміт-гранодіоритових порід, протолітом для яких була, ймовірно, мафітова протокора.

Перетворення тоналіт-трондьєміт-гранодіоритової кори відбувалось пульсаційно 3,6—3,4, 3,0—2,8 і 2,1—1,9 млрд рр. тому під впливом термальних процесів у мантії. Втім, відомі і ювенільні породи цього віку, що не містять значної домішки давнього корового матеріалу. Ювенільні ендербіти 117/79 із кар'єру в смт Тиврів і 127/79 із кар'єру в с. Голоскове мають позитивні значення єNd і позитивні значення єHf в цирконах, що вказує на утворення їх із ювенільного джерела. Вони мають вік 2080 і 2070 млн рр. відповідно.

Вважається, що саме ювенільні породи дають приріст континентальної кори, що узгоджується з уявленнями, що під час росту континентів відбувалось додавання нової сіалічної речовини із мантії. У такому випадку породи, які є добавкою до кори, можуть не відрізнятись за складом від давніших порід.

ЛІТЕРАТУРА

- 1. Артеменко Г.В., Самборская И.А., Швайка И.А., Гоголев К.И., Довбуш Т.И. Этапы раннепротерозойского коллизионного гранитоидного магматизма и метаморфизма на Приазовском и Среднеприднепровском мегаблоках Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2018. **40**, № 2. С. 45—62. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.045
- 2. Артеменко Г.В., Шумлянський Л.В., Швайка І.А., Бутирін В.К. Вік ганнівських гранітів (Середньопридніпровський мегаблок Українського щита). *Мінерал. журн.* 2022. **44**, № 4. С. 73—83. https://doi. org/10.15407/mineraljournal.44.04.073
- 3. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. Москва: Наука, 1976. 267 с.
- 4. Бибикова Е.В. Древнейшие породы Земли: изтопная геохронология и геохимия изотопов. *Мінерал. журн.* 2004. **26**, № 3. С. 13—20.

- 5. Бибикова Е.В., Клаэссон С., Федотова А.А., Степанюк Л.М., Шумлянский Л.В., Кирнозова Т.И., Фугзан М.М., Ильинский Л.С. Изотопно-геохронологическое (U-Th-Pb, Lu-Hf) изучение цирконов архейских магматических и метаосадочных пород Подольского домена Украинского щита. *Геохимия*. 2013. № 2. С. 99—121. https://doi.org/10.7868/S0016752513020039
- 6. Гордиенко В.В. Тепловые процессы, геодинамика, месторождения. 2017. 305 с. URL: https://docs.wixstatic. com/ugd/6d9890_090e4a0466b94934b7d7af8c751a70bf.pdf (дата звернення 03.09.2022).
- 7. Довбуш Т.И., Скобелев В.М., Степанюк Л.М. Результаты изучения докембрийских пород западной части Украинского щита Sm-Nd изотопным методом. *Минерал. журн.* 2000. **22**, № 2/3. С. 132—142.
- 8. Кирилюк В.П. Побужский гранулитовый комплекс. Гранулитовые структурно-формационные комплексы Украинского щита. Путеводитель геологич. экскурсии. Львов: ЗУКЦ, 2010. С. 8—63.
- Кислюк В.В., Зюльцле В.В., Дорковська З.М., Гук Л.В., Бондаренко В.В., Чернетська Г.Ю., Нікіташ Л.П., Кислюк Г.В. Державна геологічна карта. 1 : 200 000. Лист М-35-XXXVI (Гайворон). М-во екології та природних ресурсів України. Київ: Державна геолог. служба, Північгеологія, 2011. 116 с.
- 10. Кривдік С.Г., Кравченко Г.Л., Томурко Л.Л., Дубина О.В., Загнітко В.М., Рокачук Т.А., Шнюкова К.Є., Мінеєва В.М. Петрологія, геохімія чарнокітоїдів Українського щита. Київ: Наук. думка, 2011. 215 с.
- 11. Лазько Е.В., Кирилюк В.П., Сиворонов А.А., Яценко Г.М. Нижний докембрий западной части Украинского щита. Львов: Вища шк., 1975. 239 с.
- 12. Лесная И.М. Древние эндербиты Побужья. Докл. АН УССР. Сер. Б. 1981. № 2. С. 28—31.
- 13. Лесная И.М. Геохронология чарнокитоидов Побужья. Киев: Наук. думка, 1988. 136 с.
- 14. Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Левковская Н.Ю. Циркон индикатор древнейших пород протоконтинентальной коры. *Минерал. журн.* 2000. **22**, № 4. С. 31—36.
- Лесная И.М., Касьяненко Е.О. Акцессорный циркон (состав, изотопный возраст) из эндербитов Литинского блока (УЩ). Геохимия и рудообразование. 2015. Вып. 35. С. 29—37. https://doi.org/10.15407/ gof.2015.35.029
- 16. Лесная И.М., Плоткина Т.Э., Степанюк Л.М., Бартницкий Е.Н. Возрастные этапы формирования мафитэндербитовой ассоциации Побужья. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 56—69.
- 17. Лобач-Жученко С.Б., Степанюк Л.М., Пономаренко А.Н., Балаганский В.В., Сергеев С.А., Пресняков С.Л. Возраст цирконов из эндербито-гнейсов Среднего Побужья (Днестровско-Бугский мегаблок Украинского щита). *Мінерал. журн.* 2011. **33**, № 1. С. 3—14.
- 18. Лобач-Жученко С.Б., Балаганский В.В., Балтыбаев Ш.К., Степанюк Л.М., Пономаренко А.Н., Лохов К.И., Корешкова М.Ю., Юрченко А.В., Егорова Ю.С., Сукач В.В., Бережная Н.Г., Богомолов Е.С. Этапы формирования побужского гранулитового комплекса по данным изотопно-геохронологических исследований (Среднее Побужье, Украинский щит). Мінерал. журн. 2013. 35, № 4. С. 86—98.
- 19. Половинкина Ю.Ир., Наливкина Э.Б. Генезис чарнокитов Украины. Доклады советских геологов. Проблема. Москва: Наука, 1964. С. 7—11.
- Пономаренко О.М., Лісна І.М., Касьяненко К.О., Сьомка Л.В., Котвицька І.М. Геохімічні особливості ендербітів Літинської структури Дністровсько-Бузького мегаблоку Українського щита. Зб. тез XI Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми теоретичної і прикладної мінералогії, геології, металогенії гірничодобувних регіонів". 29 листоп. — 1 груд. 2018 р. м. Кривий Ріг, 2018. С. 26—27.
- Пономаренко А.Н., Лесная И.М., Зюльцле О.В., Гаценко В.А., Довбуш Т.И., Кануникова Л.И., Шумлянский Л.В. Неоархей Росинско-Тикичского мегаблока Украинского щита. *Геохимия и рудообразование*. 2010. Вып. 28. С. 11—16.
- 22. Пономаренко А.Н., Степанюк Л.М., Шумлянский Л.В. Геохронология и геодинамика палеопротерозоя Украинского щита. *Мінерал. журн.* 2014. **36**, № 2. С. 48—60.
- 23. Сиворонов А.А., Лысак А.М., Пащенко В.Г. Проблемы расчлененя гранитоидов нижнего докембрия (на примере Украинского щита). Зб. тез Міжнар. наук. конф. "Геохронологія та геодинаміка раннього докембрію (3,6—1,6 млрд рр.) Євразійського континенту (Київ, 16—17 верес. 2014 р.). ІГМР НАН України. Київ: Компринт, 2014. С. 110—111.
- 24. Степанюк Л.М., Бибикова Е.В., Клайсен С., Скобелев В.М. Sm-Nd изотопная система в докембрийских породах Украинского щита. *Мінерал. журн*. 1998. **20**, № 5. С. 72—79.
- 25. Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Гаценко В.О., Лісна І.М., Довбуш Т.І., Вайлд С.А., Немчін А.А., Багінскі Б., Білан О.В. U-Pb геохронологія (*LA-ICP-MS*) геологічних процесів у гранулітах Середнього Побужжя. Стаття 1. Породна асоціація Кошаро-Олександрівського кар'єру. *Мінерал. журн.* 2020. **42**, № 3. С. 50—68. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.050
- 26. Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Курило С.І., Сьомка В.О., Бондаренко С.М., Wilde S.A., Nemchin A.A. U-Pb геохронологія (*LA-ICP-MS*) геологічних процесів у гранулітах Середнього Побужжя. Стаття 3. Породна асоціація нижньої течії р. Ятрань. *Мінерал. журн.* 2021. **43**, № 1. С. 34—50. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.01.034
- 27. Степанюк Л.М., Довбуш Т.І., Курило С.І., Лісна І.М. Фінальний етап гранітоїдного магматизму в Дністровсько-Бузькому мегаблоці Українського щита. *Геохімія та рудоутворення*. 2016. **36**. С. 72—81. https://doi.org/10.15407/gof.2016.36.072

- Степанюк Л.М., Шумлянський Л.В., Вайлд С.А., Немчин А.А., Білан О.В. U-Pb геохронологія (*LA-ICP-MS*) геологічних процесів в гранулітах Середнього Побужжя. Стаття 2. Породна асоціація Чаусівської групи кар'єрів. *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 4. С. 84—103. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.04.084
- 29. Ткачук Л.Г. Подільський чарнокіто-норитовий комплекс Український кристалічний масив. Київ: Вид-во АН УРСР, 1947. С. 147—187.
- 30. Хатунцева А.Я. К вопросу о формационной принадлежности и происхождении чарнокитоидных пород Среднего Побужья. *Геол. журн.* 1986. **46**, № 5. С. 64—68.
- 31. Шумлянський Л.В. Геохімія піроксенових плагіогнейсів (ендербітів) Побужжя та ізотопний склад гафнію в цирконах. *Мінерал. журн.* 2012. **34**, № 2. С. 64—79.
- 32. Шумлянський Л.В., Степанюк Л.М., Клаессон С., Руденко К.В., Беккер А.Ю. Уран-свинцева геохронологія за цирконом та монацитом гранітоїдів житомирського та шереметівського комплексів, Північно-Західний район Українського щита. *Мінерал. журн.* 2020. **40**, № 2. С. 63—85. https://doi.org/10.15407/ mineraljournal.40.02.063
- 33. Щербак Н.П., Лесная И.М., Бартницкий Е.Н., Легкова Г.В., Лукашук А.В., Подолян Е.С. Древнейшие цирконы Побужья. Докл. АН УССР. Сер. Б. 1990. № 4. С. 28—32.
- 34. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Наук. думка, 2005. 242 с.
- 35. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянский Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. Наук. думка, 2008. 240 с.
- 36. Artemenko G.V., Shumlyanskyy L.V., Wilde S.A., Whitehouse M.J., Bekker A.Yu. Stages in evolution of Earth's crust recorded by the Huliaipole block of the West Azov area (4.0—2.0 Ga). Допов. Нац. акад. наук України. 2020. № 12. С. 48—59. https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.12.048
- Bibikova E.V., Bogdanova S.V., Postnikov A.V., Popova L.P., Kirnozova T.I., Fugzan M.M., Glushchenko V.V. Sarmatia-Volgo-Uralia junction zone: Isotopic-geochronologic characteristic of supracrustal rocks and granitoids. *Stratigr. Geol. Correl.* 2009. 17. P. 561–573. https://doi.org/10.1134/S086959380906001X
- Black L.P., Williams I.S., Compston W. Four zircon ages from one rock: the history of a 3930 Ma-old granulite from Mount Sones, Enderby Land, Antarctica. *Contr. Mineral. and Petrol.* 1986. 94. P. 427–437. https://doi. org/10.1007/BF00376336
- Bouvier A., Vervoort J.D., Patchett P.J. The Lu-Hf and Sm-Nd isotopic composition of CHUR: constraints from unequilibrated chondrites and implications for the bulk composition of terrestrial planets. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008. 273, Iss. 1–2. P. 48–57. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.06.010
- Claesson S., Bibikova E., Shumlyanskyy L., Dhuime B., Hawkesworth C. The oldest crust in the Ukrainian Shield — Eoarchean U-Pb ages and Hf-Nd constraints from enderbites and metasediments. Eds. Van Kranendonk N.M.W., Parman S., Shirey S., Clift P.D. Continent Formation Through Time. *Geological Society, London, Spec. Publ.* 2015. **389**. P. 227–259.
- Claesson S., Bibikova E.V., Shumlyanskyy L., Whitehouse M.J., Billström K. Can oxygen isotopes in magmatic zircon be modified by metamorphism? A case study from the Eoarchean Dniester-Bug Series, Ukrainian Shield. *Precam. Res.* 2016. 273. P. 1—11. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.11.002
- 42. Claesson S., Artemenko G., Bogdanova S., Shumlyanskyy L. Archean crustal evolution in the Ukrainian Shield. In: *Earth's oldest rocks, second edition*. Eds. Martin J. van Kranendonk, Vickie Bennett, Elis Hoffmann. Elsevier, 2019. P. 837—854.
- 43. Earth's oldest rocks. (2nd ed.). Martin J. van Kranendonk, Vickie Bennett, Elis Hoffmann. Amsterdam: Elsevier, 2019. 1078 p.
- 44. Koeberl C. Impact processes on the early earth. *Elements*. 2006. 2, № 4. P. 211–216. https://doi.org/10.2113/ gselements.2.4.211
- 45. Ryder G., Koeberl C., Mojzsis S.J. Heavy bombardment on the Earth ~3.85 Ga: The search for petrographic and geochemical evidence. In: *Origin of the Earth and Moon*. Eds. Canup R.M., Righter K. University of Arizona Press, Tucson, 2000. P. 475–492.
- Shumlyanskyy L., Wilde S.A., Nemchin A.A., Claesson S., Billström K., Bagiński B. Eoarchean rock association in the Dniester-Bouh Domain of the Ukrainian Shield: a suite of LILE-depleted enderbites and mafic granulites. *Precam. Res.* 2021. 352. 106001. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.106001
- Söderlund U., Patchett J.P., Vervoort J.D., Isachsen C.E. The ¹⁷⁶Lu decay constant determined by Lu-Hf and U-Pb isotope systematics of Precambrian mafic intrusions. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. **219**. P. 311—324. https:// doi.org/10.1016/S0012-821X(04)00012-3
- Yesypchuk K.Yu., Bobrov O.B., Stepanyuk L.M., Shcherbak M.P., Hlevaskiy E.B., Skobelev V.M., Drannik A.S., Heichenko M.V. Correlation chronostratigraphic chart of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield (explanatory note). UkrDGRI. Kyiv, 2004. 30 p.

Надійшла 13.08.2022

REFERENCES

- 1. Artemenko, G.V., Samborska, I.A., Shvaika, I.A., Gogolev, K.I. and Dovbush, T.I. (2018), *Mineral. Journ.* (*Ukraine*), Vol. 40, No. 2, pp. 45-62 [in Russian]. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.045
- 2. Artemenko, G.V., Shumlyanskyy, L.V., Shvaika, I.A. and Butyrin, V.K. (2022), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 44, No. 4, pp. 72-83 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.04.073
- 3. Balashov, Yu.A. (1976), Geochemistry of rare earth elements, Nauka, Moscow, 267 p. [in Russian].
- 4. Bibikova, E.V. (2004), Mineral. Journ. (Ukraine), Vol. 26, No. 3, Kyiv, pp. 13-20 [in Russian].
- 5. Bibikova, E.V., Claesson, S., Fedotova, A.A., Stepanyuk, L.M., Shumlyanskyy, L.V., Kirnozova, T.I., Fugzan, M.M. and Ilyinsky, L.S. (2013), *Geochemistry*, No. 2, pp. 99-121 [in Russian]. https://doi.org/10.7868/S0016752513020039
- 6. Gordienko, V.V. (2017), *Thermal processes, geodynamics, deposits,* Kyiv, 305 p. [in Russian]. URL: https://docs. wixstatic.com/ugd/6d9890_090e4a0466b94934b7d7af8c751a70bf.pdf (Last accessed: 03.09.2022).
- 7. Dovbush, T.I., Skobelev, V.M. and Stepanyuk, L.M. (2000), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 22, No. 2-3, Kyiv, pp. 132-142 [in Russian].
- 8. Kirilyuk, V.P. (2010), *Pobuzhsky granulite complex. Granulite structural-formational complexes of the Ukrainian Shield*, Geological tour guide, ZUKTs, Lvov, UA, pp. 8-63 [in Russian].
- 9. Kyslyuk, V.V., Zyultsle, V.V., Dorkovska, Z.M., Guk, L.V., Bondarenko, V.V., Chernetska, G.Yu., Nikitash, L.P. and Kyslyuk, G.V. (2011), *Derzhavna geologichna karta Ukrainy*, 1:200 000, *Arkush M-35-XXXVI (Gayvoron)*, Ministerstvo ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny; Derzhavna heolohichna sluzhba, Pivnichheolohiya, Kyiv, 116 p. [in Ukrainian].
- Kryvdik, S.G., Kravchenko, G.L., Tomurko, L.L., Dubyna, O.V., Zagnitko, B.M., Rokachuk, T.A., Shnyukova, K.Ye. and Mineeva, V.M. (2011), *Petrologiia i geochimiia charnokitoyidiv Ukrainskogo Shchyta*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 216 p. [in Ukrainian].
- 11. Lazko, E.V., Kirilyuk, V.P., Sivoronov, A.A. and Yatsenko, G.M. (1975), *Lower Precambrian of the Western part of the Ukrainian Shield*, Vyshcha school publ., Lvov, 239 p. [in Russian].
- 12. Lesnaya, I.M. (1981), Rep. AN UkrSSR, Ser. B, No. 2, Kyiv, pp. 29-31 [in Russian].
- 13. Lesnaya, I.M. (1988), Geochronology of charnockitoids of the Bug region, Nauk. dumka, Kyiv, 136 p. [in Russian].
- 14. Lesnaya, I.M., Ponomarenko, A.N. and Levkovskaya, N.Yu. (2000), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 22, No. 4, Kyiv, pp. 31-36 [in Russian].
- 15. Lesnaya, I.M. and Kasyanenko, E.O. (2015), *Geochemistry and ore formation*, Iss. 35, Kyiv, pp. 29-37 [in Russian]. https://doi.org/10.15407/gof.2015.35.029
- 16. Lesnaya, I.M., Plotkina, T.E., Stepanyuk, L.M. and Bartnitsky, E.N. (1995), *Geochemistry and ore formation*, No. 21, Kyiv, pp. 56-69 [in Russian].
- 17. Lobach-Zhuchenko, S.B., Stepanyuk, L.M., Ponomarenko, A.N., Balagansky, V.V., Sergeev, S.A. and Presnyakov, S.L. (2011), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 33, No. 1, Kyiv, pp. 3-14 [in Russian].
- Lobach-Zhuchenko, S.B., Balagansky, V.V., Baltybaev, Sh.K., Stepanyuk, L.M., Ponomarenko, A.N., Lokhov, K.I., Koreshkova, M.Yu., Yurchenko, A.V., Egorova, Yu.S., Sukach, V.V., Berezhnaya, N.G. and Bogomolov, E.S. (2013), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 35, No. 4, Kyiv, pp. 86-98 [in Russian].
- 19. Polovinkina, Yu.Ir. and Nalivkina, E.B. (1964), *Genesis of charnockites in Ukraine*, Reports of Soviet geologists. Problem, Nauka, Moscow, pp. 7-11 [in Russian].
- Ponomarenko, O.M., Lisna, I.M., Kasyanenko, K.O., Somka, L.V. and Kotvytska, I.M. (2018), Coll. theses XI Int. sci. and practice conf. "Problems of theoretical and applied mineralogy, geology, metallogeny of mining regions", Novem. 29 - Decem. 1, 2018, Kryvyi Rih, pp. 26-27 [in Ukrainian].
- 21. Ponomarenko, O.M., Lesnaia, I.M., Ziultsle, O.V., Gatsenko, V.A., Dovbush, T.I., Kanunikova, L.I. and Shumlyanskyy, L.V. (2010), *Geokhimiia i rudoobrazovanie*, Vyp. 28, Kyiv, UA, pp. 11-16 [in Russian].
- 22. Ponomarenko, A.N., Stepanyuk, L.M. and Shumlyanskyy, L.V. (2014), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 36, No. 2, Kyiv, pp. 48-60 [in Russian].
- 23. Syvoronov, A.A., Lysak, A.M. and Pashchenko, V.G. (2014), Coll. theses Int. of sci. conf. "Geochronology and geodynamics of the Early Precambrian (3.6-1.6 billion years ago) of the Eurasian continent (Kyiv, Septem. 16-17, 2014), IGMR of the NAS of Ukraine, Komprint, Kyiv, pp. 110-111 [in Russian].
- 24. Stepanyuk, L.M., Bibikova, E.V., Claesson, S. and Skobelev, V.M. (1998), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 20, No. 5, Kyiv, pp. 72-79 [in Russian].
- Stepanyuk, L.M., Shumlyanskyy, L.V., Gatsenko, V.O., Lisna, I.M., Dovbush, T.I., Wilde, S.A., Nemchin, A.A., Baginski, B. and Bilan, O.A. (2020), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 42, No. 3, Kyiv, pp. 50-68 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.03.050
- Stepanyuk, L.M., Shumlyanskyy, L.V., Kurylo, S.I., Syomka, V.O., Bondarenko, S.M., Wilde, S.A. and Nemchin, A.A. (2021), *Mineral. Journ. (Ukraine)*, Vol. 43, No. 1, pp. 34-50 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/ mineraljournal.43.01.034
- 27. Stepanyuk, L.M., Dovbush, T.I., Kurylo, S.I. and Lisna, I.M. (2016), *Geochem. and Ore Formation*, Vol. 36, Kyiv, UA, pp. 72-81 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/gof.2016.36.072

- Stepanyuk, L.M., Shumlyanskyy, L.V., Wilde, S.A., Nemchin, A.A. and Bilan, O.V. (2020), *Mineral. Journ.* (*Ukraine*), Vol. 42, No. 4, Kyiv, UA, pp. 84-103 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/mineraljournal. 42.04.084
- 29. Tkachuk, L.G. (1947), *Podilsky charnokite-norite complex Ukrainian crystalline massif*, Publ. Acad. of Sci. UkrSSR, Kyiv, pp. 147-187 [in Russian].
- 30. Khatuntseva, A.Ya. (1986), Geol. journ., Vol. 46, No. 5, Kyiv, pp. 64-68 [in Russian].
- 31. Shumlyanskyy, L.V. (2012), Mineral. Journ. (Ukraine), Vol. 34, No. 2, Kyiv, pp. 64-79 [in Ukrainian].
- 32. Shumlyanskyy, L.V., Stepanyuk, L.M., Claesson, S., Rudenko, K.V. and Bekker, A.Yu. (2020), *Mineral. Journ.* (*Ukraine*), Vol. 40, No. 2, Kyiv, pp. 63-85 [in Ukrainian]. https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.063
- 33. Shcherbak, N.P., Lesnaya, I.M., Bartnytskyi, E.N., Legkova, G.V., Lukashuk, A.V. and Podolyan, E.S. (1990), *Rep. Acad. Sci. UkrSSR, Ser. B*, No. 4, Kyiv, pp. 28-32 [in Russian].
- 34. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M. and Ponomarenko, A.N. (2005), *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. Archaean*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 242 p. [in Russian].
- 35. 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, UA, 240 p. [in Russian].
- 36. Artemenko, G.V., Shumlyanskyy, L.V., Wilde, S.A., Whitehouse, M.J. and Bekker, A.Yu. (2020), *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 12, pp. 48-59. https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.12.048
- Bibikova, E.V., Bogdanova, S.V., Postnikov, A.V., Popova, L.P., Kirnozova, T.I., Fugzan, M.M. and Glushchenko, V.V. (2009), *Stratigr. Geol. Correl.*, Vol. 17, pp. 561-573. https://doi.org/10.1134/S086959380906001X
- Black, L.P., Williams, J.S. and Compston, W. (1986), Contrib. Mineral Petrol., Vol. 94, pp. 427-437. https://doi. org/10.1007/BF00376336
- 39. Bouvier, A., Vervoort, J.D. and Patchett, P.J. (2008), *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 273, Iss. 1-2, pp. 48-57. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.06.010
- 40. Claesson, S., Bibikova, E., Shumlyanskyy, L., Dhuime, B. and Hawkesworth, C. (2015), *Continent Formation Through Time*, in Van Kranendonk, N.M.W., Parman, S., Shirey, S. and Clift, P.D. (eds), *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, Vol. 389, pp. 227-259.
- 41. Claesson, S., Bibikova, E.V., Shumlyanskyy, L., Whitehouse, M.J. and Billström, K. (2016), *Precam. Res.*, Vol. 273, pp. 1-11. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.11.002
- 42. Claesson, S., Artemenko, G., Bogdanova, S. and Shumlyanskyy, L. (2019), *Earth's oldest rocks*, (2nd ed.), in Van Kranendonk, N.M.W., Bennett, V. and Hoffmann, E. (eds), Elsevier, pp. 837-854.
- 43. Van Kranendonk, N.M.W., Bennett, V. and Hoffmann, E. (2019), *Earth's oldest rocks*, (2nd ed.), Elsevier, Amsterdam, 1078 p.
- 44. Koeberl, C. (2006), *Elements*, Vol. 2, No. 4, pp. 211-216. https://doi.org/10.2113/gselements.2.4.211
- 45. Ryder, G., Koeberl, C. and Mojzsis, S.J. (2000), *Origin of the Earth and Moon*, in Canup, R.M. and Righter, K. (eds), Univ. of Arizona Press, Tucson, pp. 475-492.
- Shumlyanskyy, L., Wilde, S.A., Nemchin, A.A., Claesson, S., Billström, K. and Bagiński, B. (2021), Precam. Res., Vol. 352. 106001. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.106001
- 47. Söderlund, U., Patchett, J.P., Vervoort, J.D. and Isachsen, C.E. (2004), *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 219, Iss. 3-4, pp. 311-324. http://dx.doi.org/10.1016/S0012-821X(04)00012-3
- 48. Yesypchuk, K.Yu., Bobrov, O.B., Stepanyuk, L.M., Shcherbak, M.P., Hlevaskiy, E.B., Skobelev, V.M., Drannik, A.S. and Heichenko, M.V. (2004), *Correlation chronostratigraphic chart of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield (explanatory note)*, UkrDGRI publ., Kyiv, 30 p. [in Ukrainian].

Received 13.08.2022

I.M. Lisna, PhD (Geology, Mineralogy), Senior Research Fellow

E-mail: Lesirmich@ukr.net; https://orcid.org/0000-0001-7545-1752

O.M. Ponomarenko, DrSc (Geology), Academician of NAS of Ukraine, Director

E-mail: pan.igmof@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-5179-6091

L.V. Shumlyanskyy, DrSc (Geology), Senior Research Fellow

E-mail: lshumlyanskyy@yahoo.com; https://orcid.org/0000-0002-6775-4419

A.L. Larikov, PhD (Physical and Mathematical), Leading Researcher

E-mail: antonlrkv1@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-2955-494X

L.V. Somka, Researcher Fellow

E-mail: liudmylas26@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-7059-2502

V.V. Gulko, Postgraduate

E-mail: vladimir.gulko@ukr.net; https://orcid.org/0000-0002-6085-8346

O.O. Kovalenko, Junior Researcher

E-mail: ok.igmr@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-5772-8970

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine

34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

THE NATURE OF ENDERBITES FROM BOUH AREA ACCORDING TO THE DATA OF Sm-Nd, U-Pb AND Lu-Hf METHODS

As a result of the mineralogical and isotopic-geochemical study of U-Pb, Lu-Hf, isotopic systems of zircons from Bouh enderbites, the existence of crustal and juvenile enderbites was established. Negative values of (ENd) and negative values of EHf in zircons from enderbito-gneisses of the Middle Bouh area, Lityn enderbite, and Sabariv enderbite indicate their crustal nature, origin by account of older (Eoarchean?) rocks series, the protolith for which was probably mafic protocrust. The transformation of these rocks occurred pulsatingly 3.6-3.4, 3.0-2.8, and 2.1-1.9 billion years ago. The presence of "typomorphic" zircons in enderbites is also evidence of their crustal nature. Juvenile enderbites 117/79, from the quarry in Tyvriv and 127/79 from the quarry in the village of Holoskove have positive ɛNd and positive ɛHf values in zircons, indicating their formation from a juvenile source. They are 2080 and 2070 million years old, respectively. It is believed that it is the juvenile rocks that give increase to the continental crust, which is consistent with the idea that the growth of continents was accompanied by the addition of new sialic material from the mantle. At the same time, rocks that are an addition to the crust may not differ in composition from older rocks. The available isotopic-geochemical and geological data indicate at least three stages of formation of enderbites (TTG association) within the Bouh granulite belt. The oldest of them is represented by enderbites (enderbito-gneisses) of the Haivoron complex. The next TTG association (Lityn complex, ~2.8 billion years ago) is more widespread, and in general forms a wide "shell" around the protocontinental core, formed by the rocks of the Haivoron complex. The youngest TTG association in the borders of the Bouh granulite belt (Berdychiv complex) is often represented by numerous intrusive bodies of juvenile enderbites, with xenoliths of more ancient rocks.

Keywords: enderbites, cowries, juveniles, zircons, Sm-Nd, U-Pb, Lu-Hf, isotopic systems.