

<https://doi.org/10.15407/gpimo2022.04.068>

Л.М. Степанюк, д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, проф., заст. дир.

e-mail: stepaniuk@nas.gov.ua

ORCID 0000-0001-5591-5169

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

О.Б. Висоцький, канд. геол. наук, наук. співроб.

e-mail: alek.vysotsky@gmail.com

ORCID 0000-0002-3542-4685

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

Т.І. Довбуш, наук. співроб.

e-mail: tetyana.dovbush1@gmail.com

ORCID 0000-0002-3512-3313

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України

03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

С.І. Курило, канд. геол. наук, наук. співроб.

Інститут наук про Землю, Словацька академія наук

e-mail: kurylo.sergiy@gmail.com

ORCID 0000-0003-4466-6851

97401, м. Банська-Бистриця, Словаччина, Думбіїрська, 1

U-Pb ІЗОТОПНА ГЕОХРОНОЛОГІЯ ЗА МОНАЦИТОМ ГНЕЙСІВ «ЗЕЛЕНОЛЕВАДІВСЬКОЇ ТОВЩІ» СЕРЕДНЬОГО ПОБУЖЖЯ

Кристалічні породи спостерігаються в окремих розрізаних скельних виходах протяжністю більше, ніж 1 км уздовж правого берега долини р. Південний Буг навпроти с. Зелена Левада. Тут відслонюється пачка гіперстен-біотитових та біотитових плагіогнейсів, що на окремих ділянках зазнали калішпатизації, що проявляється у вигляді нерівномірно розміщених порфіробластів калієвого польового шпату, тонких прожилків кварц-польовошпатового складу та мігматизації. Гнейси розтинаються поодинокими жилливими та лінзоподібними тілами гранітів. Пачка гнейсів віднесена до зеленолевадівської товщі дністровсько-бузької серії. Розріз вважається стратотипом для зеленолевадівської товщі.

Наразі для монацитів із калішпатизованого плагіогнейсу та з лінзоподібного тіла граніту, відслонених в цьому районі, отримано наступні значення ізотопного віку: $2031,5 \pm 6,7$ млн років та $2030,3 \pm 1,7$ млн років, відповідно.

У даній публікації наводяться результати датування монацитів із калішпатизованого плагіогнейсу. Калішпатизація проявлена у формуванні тонких прожилків, складених кварц + мікроклін + плагіоклаз ± біотит та порфіробластів мікрокліну.

Цитування: Степанюк Л.М., Висоцький О.Б., Довбуш Т.І., Курило С.І. U-Pb ізотопна геохронологія за монацитом гнейсів «зеленолевадівської товщі» Середнього Побужжя. *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2022. **18**, № 4: 68—76. <https://doi.org/10.15407/gpimo2022.04.068>

Оптичними дослідженнями полірованих зрізів кристалів циркону виявлено, що кристали цього мінералу мають складну будову, вони утворені різномірними, часто із заокругленими контурами, світло-рожевими (бурувато-рожевими) ядрами та оболонками молочно-білого циркону. Наявність таких різномірних ядер свідчить про первинно-осадову (вулканогенно-осадову) природу плагіогнейсу.

Вік монациту (середньозважене значення за відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) за результатами уран-свинцевого ізотопного датування мультизернових наважок дорівнює $2031,5 \pm 2,7$ млн років.

Ключові слова: Плагіогнейс, монацит, уран-свинцева ізотопна система, Середнє Побужжя.

Вступ

Відповідно до «Кореляційної хроностратиграфічної схеми...» [2] зеленолевадівська товща (лейкократові гранат- і піроксенвмісні гнейси, часто лептитоподібні) завершує розріз дністровсько-бузької серії. Разом із тим в літературі [3 та посилання в ній] неодноразово висловлювалася думка про метасоматичну природу більшості із цих утворень, зокрема біотитових гнейсів. Досить показовим є розріз розкритий Кошаро-Олександрівським кар'єром і скельними відслоненнями східніше [4]. Якщо в районі Кошаро-Олександрівського кар'єру є очевидним, що біотитові гнейси розвиваються по ендербіто-гнейсам (піроксеновим плагіогнейсам), то в районі с. Зелена Левада не калішпатизовані плагіогнейси (ендербіто-гнейси) нами не спостерігалися. В розрізнених скельних виходах правого берега р. Пд. Буг, навпроти с. Зелена Левада, серед кристалічних порід були виявлені різною мірою калішпатизовані біотитові плагіогнейси, які на окремих ділянках поступово переходять в біотитові, подекуди з поодинокими малопотужними (декілька сантиметрів) прошарками гранат-біотитових. Гнейси розтинаються малопотужними жилоподібними та лінзоподібними тілами рожевих порфіроподібних гранітів.

Для монацитів із гнейсу (проба СП-23-1) та із граніту (проба СП-23-6) отримано наступні значення ізотопного віку: $2031,5 \pm 6,7$ млн років та $2030,3 \pm 1,7$ млн років, відповідно [3]. У цій публікації наводяться результати датування монацитів із калішпатизованого плагіогнейсу (проба СП-23-3).

Мета роботи

З'ясувати час кристалізації монациту в калішпатизованому плагіогнейсі (проба СП-23-3), поширеному на правому березі р. Пд. Буг, поблизу с. Зелена Левада та з'ясувати їх первинну природу.

Об'єкти та методи досліджень

Для з'ясування первинної природи плагіогнейсу методами оптичної мікроскопії вивчили анатомію кристалів акцесорного циркону. Час кристалізації монациту визначали уран-свинцевим ізотопним методом. Проба калішпатизованого плагіогнейсу (проба СП-23-3), була відібрана у відслоненні на правому березі р. Пд. Буг, навпроти південно-східного краю с. Зелена Левада. Монацити датували класичним уран-свинцевим ізотопним методом у відділі радіогеохронології ІГМР НАН України.

Для визначення часу кристалізації монациту, із різних розмірних фракцій вручну під біноклем були відібрані дві наважки золотисто-жовтих водяно-

прозорих та одну наважку прозорих зерна цього мінералу. Наважку прозорих зерен поділили ще на три розмірні фракції скочуванням по нахиленій площині. Методика хімічної підготовки, за якою готувалися зразки монацитів для мас-спектрометричного аналізу, описана в роботах [5, 7]. Для визначення вмісту урану і свинцю використали змішаний $^{235}\text{U} + ^{206}\text{Pb}$ трасер.

Ізотопні дослідження свинцю та урану виконані на 8-колекторному мас-спектрометрі MI-1201 AT в мультиколекторному статичному режимі; математична обробка експериментальних даних — за програмами Pb Dat і ISOPLOT [8, 9]. Похибки визначення віку наведені при 2σ . Для перевірки метрологічних характеристик методу використали стандарт циркону ІГМР-1 [1].

Геологічна ситуація

Зеленолевадівська ділянка знаходиться на правому березі долини р. Пд. Буг, навпроти с. Зелена Левада. Кристалічні породи формують окремі розрізнені відслонення, протяжністю більше 1 км вздовж русла річки. Тут у скельних виходах відслонюється пачка гіперстен-біотитових та біотитових плагіогнейсів, що на окремих ділянках зазнали калішпатизації, проявленої у вигляді нерівномірно розміщених порфіробластів калієвого польового шпату (проба СП-23-1 та СП-23-3), тонких прожилків кварц-польовошпатового складу та мігматизації. Гнейси розтинаються поодинокими жильними та лінзоподібними тілами гранітів. У невеличкій закинутій каменоломні біотитові гнейси розтинаються лінзоподібним тілом рожевого порфіроподібного граніту (проба СП-23-6). Пачка гнейсів віднесена до зеленолевадівської товщі дністровсько-бузької серії. Розріз вважається стратотипом для зеленолевадівської товщі [2, 6].

Біотитовий плагіогнейс мікроклінвмісний, проба СП-23-3

Текстура гнейсоподібна, ділянками мігматитоподібна. Нечітко проявлена лінійна текстура завдяки паралельним смужкам, які більш насичені біотитом та поодиноким прожилкам, складеним кварц-польовошпатовим матеріалом (рис. 1 *a, b*).

Мікроструктура: гомео-, лепідогранобластова, дрібнозерниста з середнім розміром зерен 0,2—0,9 мм на окремих ділянках порфіробластова (рис. 1, *c*).

Мінеральний склад плагіогнейсу, %: плагіоклаз — 62—65, кварц — 25—26, біотит — 6—7, мікроклін — 2—5, сфен близько 1—2; акцесорні циркон, ортит, монацит.

Хімічний склад (ваг.%): SiO_2 — 71,43; TiO_2 — 0,3; Al_2O_3 — 14,83; Fe_2O_3 — 0,78; FeO — 1,43; MnO — 0,02; MgO — 1,00; CaO — 3,38; Na_2O — 4,91; K_2O — 1,01; P_2O_5 — 0,05; S — 0,04; H_2O — 0,14; ВПП — 0,32; Сума — 99,65.

Мінеральний склад кварц-польовошпатових виокремлень, %: плагіоклаз — 20—40, мікроклін — 20—40, кварц — 10—30, біотит — поодинокі луски.

Плагіоклаз утворює ідіоморфні, зрідка ксеноморфні зерна розміром 0,1—0,8 мм. Полісинтетичні двійники розвинуті дуже слабо, а у більшості зерен взагалі відсутні. Зрідка містить дрібні включення округлого кварцу та лусок біотиту. Зерна слабо серицитизовані, подекуди у вигляді окремих плям.

Кварц ксеноморфної, округлої, лінзоподібної форми розміром від 0,2 до 0,9 мм. Подекуди утворює лінзоподібні скупчення розміром до 3 мм, та разом з польо-

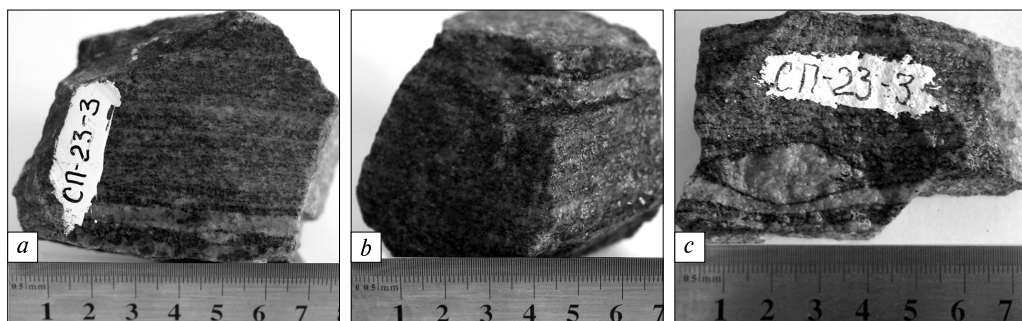


Рис. 1. Калішпатизований плагіогнейс, правий беріг р. Південний Буг, навпроти с. Зелена Левада: *a* — лінійна текстура плагіогнейсу та прожилок кварц-польовошпатового складу, *b* — те саме, тильна сторона зразка; *c* — порфіробласт КПШ

вими шпатами жилоподібні виокремлення, товщиною 1—3 мм, зрідка до 5 мм та видимою протяжністю в декілька дециметрів (рис. 1, *b*).

Біотит формує переважно ідіоморфні луски, часто з розщепленими краями, розміром 0,3—0,6 мм. Забарвлення коричневе з різким плеохроїзмом: Ng — темно-коричневий; Np — світло-жовтий.

Мікроклін представлений ксеноморфними зернами розміром від 0,1 до 0,4 мм та ніби втиснутий між зернами плагіоклазів. Як поодинокі трапляються порфіробласти мірокліну, розміром 2—3 см. Мікроклінова ґратка майже не проявлена, недосконала. Більш крупні зерна містять включення округлого кварцу, серицитизованого плагіоклазу та зрідка біотиту.

Сфен — у вигляді поодиноких призматичних та дещо заокруглених зерен розміром 0,1—0,3 мм, часто приурочений до біотиту. Має світло-коричнєве забарвлення, з периферії частково озалізнений.

Циркон має вигляд дрібних призматичних та видовжено-призматичних зерен, які включені у польові шпати або знаходяться на міжзернових границях.

Монацит спостерігається в досить дрібних ізометричних зернах, найчастіше включених у мікроклін, зрідка знаходиться на міжзернових границях.

Мінералогія урановмісних акцесорних мінералів (циркон та монацит)

Під бінокляром циркон в основному (>99 %) представлений ізометричними, коротко-призматичними кристалами молочно-білого кольору, зрідка трапляються видовжено-призматичні зерна. Як поодинокі відмічаються світло-рожеві та бурувато-рожеві кристали на яких, як правило, подекуди на поверхні у вигляді плям спостерігається молочно-білі облямівки. Зазначимо, що в протолочці зрідка траплялися зерна циркону молочно-білого кольору, що за формою нагадували горіхові шкаралупки. Складається враження, що це оболонки молочно-білих кристалів, відколоті від зерен циркону, можливо під час подрібнення гнейсу в процесі виділення цього мінералу в лабораторії збагачення. Ми не виключаємо, що рожеві зерна циркону, в усякому разі якась частина із них являють собою ядра розколотих молочно-білих кристалів. Непрямим свідченням цього, на наш погляд, є не повні молочно-білі облямівки на їх поверхні.

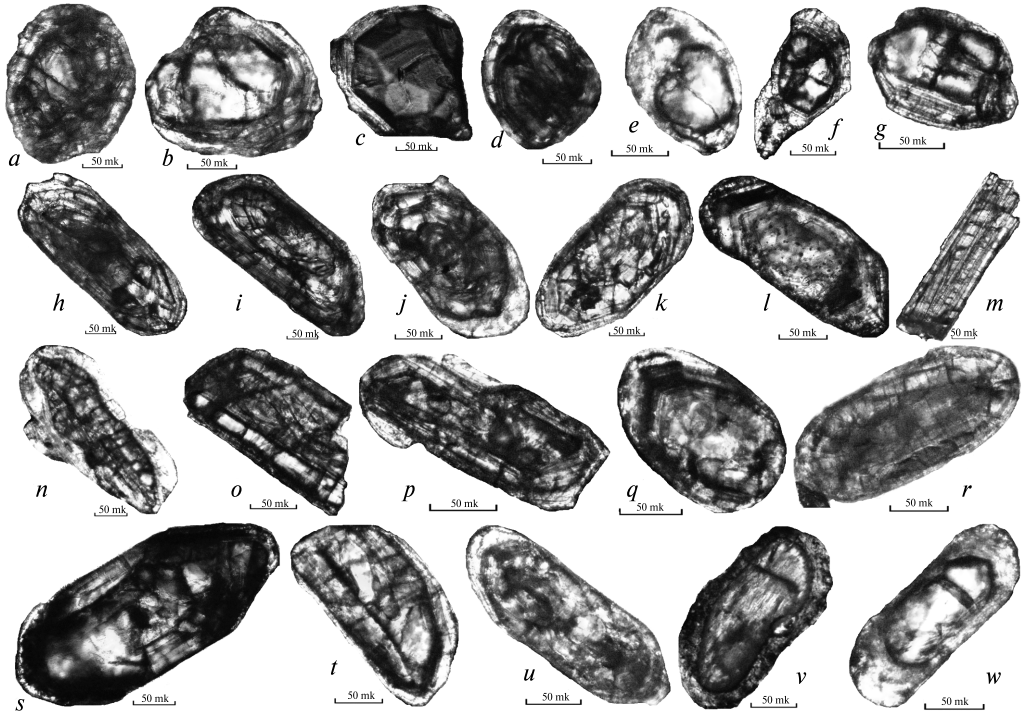


Рис. 2. Мікрофотографії полірованих зрізів кристалів циркону із калішпатизованого плагіогнейсу, проба СП-23-3, ніколі +

Молочно-білі кристали мають складну будову, при натисканні біла облямівка легко розкришується і в зламах проглядаються світло-рожеві або бурувато-рожеві ділянки. Складна будова молочно-білих кристалів досить виразно спостерігається у полірованих зрізах під просвічуючим поляризаційним мікроскопом (рис. 2). Молочно-білий циркон на кристалах утворює оболонки різної товщини, але площа їх зрізу лише зрідка досягає 50 % площі зрізу кристала. У схрещених ніколях оболонка, як правило, має нижче двозаломлення, порівняно з двозаломленням циркону ядер (рис. 2). У середині практично всіх молочно-білих кристалів присутні ядра, зазвичай із вищим двозаломленням. Відмічаються ядра декількох типів. Найбільш поширеними є ядра з тонкою концентричною

Таблиця 1. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із плагіогнейсу, проба

Фракція мінералу	Вміст (ppm)		Ізотопні співвідношення				
	U	Pb	$\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{207\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}}{208\text{Pb}}$	$\frac{206\text{Pb}_\Gamma}{238\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}_\Gamma}{235\text{U}}$
1	3550	6536	4160	7,7839	0,23458	0,39240	6,7853
2	4396	7704	15850	7,9441	0,24388	0,38637	6,6680
3	3670	6605	10480	7,9145	0,24259	0,39489	6,8174
4	4091	7168	9200	7,9133	0,24230	0,38398	6,6207
5	3843	7092	6760	7,8771	0,23628	0,39617	6,8343

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2030 млн т, 3–5 — розмірні фракції мультизернових наважок золотисто-жовтих, прозорих кристалів

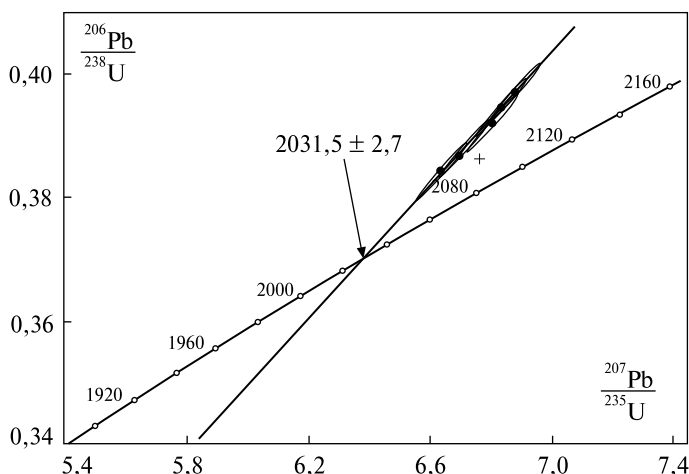


Рис. 3. Уран-свинцева діаграма з конкордією для монацитів із калішпатизованого плагіогнейсу, проба СП-23-3

«магматичною» зональністю (рис. 2, *h–i*). В окремих випадках такі ядра являють собою уламки кристалів. Для ізометричних молочно-білих кристалів характерні ізометричні ядра (рис. 2, *a–e*). У видовжено призматичних — ядра мають видовжену форму (рис. 2, *h–p*). У значних кількостях присутні також ядра з досить сильно заокругленими контурами, характерними кластогенним кристалом циркону (рис. 2 *a, b, e, v, w*). Зрідка відмічаються складні ядра (рис. 2, *d, j*). У переважній більшості ядра розбиті численними тріщинками, помітно деформовані (рис. 2, *a, b, f, k, m, n, o, p, t, u*). Деякі ядра розбиті серією паралельних тріщинок (рис. 2, *r*) трапляються ядра зі слідами розчинення (рис. 2, *n*).

Монацит утворює дрібні (за звичай дрібніше 0,07 мм) кристали, які під біокуляром мають золотисто-жовтий колір. Кристали переважно прозорі (переважають) та водяно-прозорі ізометричні з гладенькою блискучою поверхнею, менш поширеними є пампушкоподібні зерна з сильно заокругленими контурами.

Генезис акцесорних цирконів та монациту

Анатомія кристалів циркону дозволяє з великою вірогідністю припустити, що молочно-білі оболонки кристалів утворилися в результаті накладання процесу калішпатизації плагіогнейсу, а ядра — релікти кристалів, що збереглися від роз-

СП-23-3

Вік, млн років			D (%)	$\frac{206\text{Pb}}{238\text{U}}$ %err	$\frac{207\text{Pb}}{235\text{U}}$ %err	Rho 6/8–7/5
$\frac{206\text{Pb}_r}{238\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}_r}{235\text{U}}$	$\frac{207\text{Pb}_r}{206\text{Pb}_r}$				
2134	2084	2034,6	–4,9	1,12	1,13	0,99625
2106	2068	2031,2	–3,7	1,11	1,11	0,99758
2145	2088	2031,8	–5,6	1,16	1,17	0,99254
2095	2062	2029,6	–3,2	1,11	1,12	0,99173
2151	2090	2030,4	–6,0	1,15	1,15	0,99785

років: 1, 2 — мультисерійні наважки золотисто-жовтих, водяно-прозорих кристалів монаци-монациту, D — дискордантність.

чинення в ході прояву накладених процесів деформації та калішпатизації. Слід відзначити, що прояви процесів деформації проявилися навіть в ядрах деяких кристалів, наприклад ядра (рис. 2, *n, r, t*), розбиті системою паралельних мікротріщинок. Наявність різномірних (як за формою, так і за анатомією) ядер (рис. 2) вказує на первинну осадову (вулканогенно-осадову) природу плагіогнейсу. Монацит беззаперечно кристалізувався в ході процесу калішпатизації, вірогідно одночасно з молочно-білим цирконом оболонки, свідченням чого є його просторова приуроченість до мікрокліну та границь між зернами.

Радіогеохронологічні дослідження

Для визначення часу кристалізації монациту вручну під біноклем ми відібрали дві мультізернові наважки золотисто-жовтих водяно-прозорих та одну мультізернову наважку прозорих зерен цього мінералу. Останню скочуванням по нахиленій площині розділили на три наважки. Аналітичні результати вивчення уран-свинцевих ізотопних систем усіх отриманих наважок наведені в таблиці 1.

Вік монациту за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованою за даними, наведеними в таблиці 1, складає 2020 ± 38 млн років та 380 ± 764 млн років, за нижнім — $СКЗВ = 5$. Середнє зважене значення віку за відношенням $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ дорівнює $2031,5 \pm 2,7$ млн років (рис. 3), яке повністю співпадає з уран-свинцевими ізотопними датами монацитів із інших порід породної асоціації, поширеної в районі с. Зелена Левада [3], яке ми і приймаємо за вік монациту.

Висновки

1. Плагіогнейси, розвинені в берегових відслоненнях правого берега р. Пд. Буг навпроти с. Зелена левада є парагнейсами.

2. Монацит і, вірогідно, молочно-білий циркон, кристалізувалися в результаті прояву процесу калішпатизації плагіогнейсів у палеопротерозої 2032 ± 3 млн років тому.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Е.Н. Бартницький, Е.В. Бибикова, В.М.Верхогляд и др. ИГМР-1 — Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований. *Геохимия и рудообразование*, 1995. Вып. 21. С. 164 — 167.
2. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка) /Єсипчук К.Ю., Бобров О.Б., Степанюк Л.М., Щербак М.П., Глеваський Є.Б., Скобелев В.М., Дранник А.С, Гейченко М.В./ . Киев: УкрДГРІ, 2004. 30 с.
3. Пономаренко А.Н., Гинтов О.Б., Степанюк Л.М. О так называемой «лейкогранулитовой формации» и «зеленолевадовской свите» раннего докембрия Украинского щита. *Геофизический журнал*, 2018. № 5, Т. 40. С. 47 — 70.
4. Степанюк Л.М. Метасоматична природа біотитових та біотит-гранатових гнейсів Середнього Побужжя. *Доп. НАН України*, 1997. № 1. С. 133—136.
5. Щербак М.П. Артеменко Г.В., Бартницький Е.Н., Верхогляд В.М., Комаристый А.А., Лесная И.М., Мицкевич Н.Ю., Пономаренко А.Н., Скобелев В.М., Щербак Д.Н. Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1989. 144 с.
6. Яценко Г.М. Нижний докембрий центральной части Украинского щита (Строение и металлогенические особенности формаций). Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1980. 140 с.

7. Krough T.E. A law contamination method for hedrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1973. 37, №3. P. 485—494.
8. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06. *U.S. Geol. Survey Open-File Rept.* 1989. № 88. 542. P. 40.
9. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. *U.S. Geol. Survey Open-File Rept.* 1990. № 88. 557. P. 38.

Стаття надійшла 29.10.2022

L.M. Stepanyuk, Dr. Sc (Geology), NAS Corresp. Member, Prof., Deputy Director

e-mail: stepaniuk@nas.gov.ua

ORCID 0000-0001-5591-5169

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

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

O.B. Vysotsky, PhD (Geology), Research Fellow

e-mail: alek.vysotsky@gmail.com

ORCID 0000-0002-3542-4685

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

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

T.I. Dovbush, Researcher

e-mail: tetyana.dovbush1@gmail.com

ORCID 0000-0002-3512-331

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

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

S.I. Kurylo, Researcher

e-mail: kurylo.sergiy@gmail.com

ORCID 0000-0003-4466-6851

Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences

974 01, Banska Bystrica, Slovakia, Dumbierska, 1

U-Pb ISOTOPIC GEOCHRONOLOGY OF THE MONAZITE GNEISSES OF THE «ZELENOLEVADIVSKA SUITE» OF THE MIDDLE BUG REGION

On the right bank of the South Bug river valley, opposite the village of Zelena Levada crystalline rocks are observed in separate scattered rock outcrops, more than 1 km long along the river bed. A bundle of hypersthene-biotite and biotite plagiogneisses is exposed here, which in some areas has undergone calshpatization, manifested in the form of unevenly placed porphyroblasts of potassium feldspar, thin veins of quartz-feldspar composition and migmatization. Gneisses are dissected by single veined and lenticular bodies of granites. The gneiss pack is assigned to the Zelenolevada stratum of the Dniester-Bug series. The section is considered to be a stratotype for the Zelenolevada Formation. So far, the following values of isotopic ages have been obtained for monazites from microclinized plagiogneiss and from a lenticular body of granite exposed in this area — $2031,5 \pm 6,7$ million years and $2030,3 \pm 1,7$ million years, respectively. This publication presents the dating results of monazites from calishpatized plagiogneiss. microclination is manifested in the formation of thin veins composed of quartz+microcline+plagioclase+ biotite and porphyroblasts of microcline. Optical studies of polished sections of zircon crystals revealed that the crystals of this mineral have a complex structure, they are formed by heterogeneous, often with rounded contours, light pink (brownish pink) cores and shells of milky white zircon. The presence of heterogeneous, including cores with rounded (rolled) cores indicates the primary-sedimentary (volcanogenic-sedimentary) nature of plagiogneiss. According to the results of uranium-lead isotope dating of multigrain samples of monazite, the age of monazite (weighted average value based on the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratio) is $2031,5 \pm 2,7$ million years.

Keywords: *Plagiogneiss, monazite, uranium-lead isotope system, Middle Bug region.*