



## Геохронологія за монацитом жили граніту Старокримського кар'єру (Приазов'я, Український щит)

*Леонід Степанюк*<sup>1</sup>

д. геол. н., професор, чл.-кор. НАН України, заступник директора з наукової роботи,  
<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна,  
e-mail: [stepaniuk@nas.gov.ua](mailto:stepaniuk@nas.gov.ua),  <https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>;


*Василь Загнітко*<sup>2</sup>

д. геол.-мін. н., професор, кафедра геології родовищ корисних копалин,  
ННІ «Інститут геології», <sup>2</sup> Київський Національний університет імені Тараса Шевченка,  
e-mail: [zagnitko@i.ua](mailto:zagnitko@i.ua),  <https://orcid.org/0000-0002-5238-0813>;

*Геннадій Павлов*<sup>1</sup>

к. геол.-мін. н., доцент, ст. наук. співробітник,  
e-mail: [genychnpavlov@gmail.com](mailto:genychnpavlov@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-5913-042X>;

*Тетяна Довбуш*<sup>1</sup>

наук. співробітник,  
e-mail: [tetyana.dovbush1@gmail.com](mailto:tetyana.dovbush1@gmail.com),  <https://orcid.org/0000-0002-3512-3313>

Досліджено аплітоїдні біотитові граніти зі слідами реоморфних перетворень, що залягають серед гнейсів і кристалічних сланців центральноприазовської серії Українського щита, а також анатомію кристалів акцесорних цирконів і монацитів з цих гранітів. Визначений вік монацитів за мультизерновими наважками за ізотопним відношенням <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb. Граніти розкриті Старокримським гранітним кар'єром. Структура граніту неоднорідна, розмір зерен від 0,1 до 3,5 мм. За співвідношенням між зернами мінералів та їх формою структуру визначають як алотріоморфну, сплюснену. Конфігурація зерен та їх співвідношення свідчать про суміщення реліктів первинної магматичної структури з динамообластовою та крихкопластичною, викликаною реоморфізмом. Ці елементи включають гранулобластичні явища та сплюснення кристалів кварцу; гранулобластез зерен первинного плагіоклазу; мірмекітизацію ранніх і кристалізацію новоутворених польових шпатів; мікроклінізацію реліктового ортоклазу і кристалізацію новоутвореного мікрокліну, деформацію лусочок біотиту. В даний час граніти складаються з (у %) кислого плагіоклазу - 30, мікрокліну + ортоклазу - 25, кварцу - 45, хлоритованої темної слюди - 1-5. Акцесорні мінерали представлені цирконом, монацитом, апатитом, можливо, магнетитом і рутилом, який утворюється при заміщенні біотиту хлоритом. Мінерали вивітряння включають глинисті мінерали, гідроксиди заліза та карбонати. За даними мінералогічних досліджень, кристали циркону мають складну будову. Циркон в синпетрогенних гранітах росте на неоднорідних ядрах реліктового циркону, зазвичай у вигляді тонких оболонок. Присутня також невелика кількість кристалів без ядер, що складаються виключно з тонкозональних оболонок циркону. Монацит представлений двома різновидами: великими (>0,1 мм) буро-коричневими, темно-коричневими до майже чорних нерівномірно забарвленими непрозорими кристалами і дрібними світло-коричневими, коричнево-жовтими прозорими кристалами. Вік граніту визначено уран-свинцевим ізотопним методом за мультизерновими наважками темних непрозорих кристалів монациту. Середньозважений вік, заснований на співвідношенні ізотопів <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, становить 1978,8 ± 6 мільйонів років. Вік, отриманий за мультизерновими наважками світло-коричневих і коричнево-жовтих прозорих кристалів, становить 1959 ± 18 мільйонів років і теоретично являє собою мінімальний час протікання процесів реоморфізму.

**Ключові слова:** циркон, монацит, граніт, уран-свинцевий ізотопний метод, центральноприазовська серія, Український щит.

**Як цитувати:** Степанюк Леонід. Геохронологія за монацитом жили граніту Старокримського кар'єру (Приазов'я, Український щит) / Леонід Степанюк, Василь Загнітко, Геннадій Павлов, Тетяна Довбуш // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 60. – С. 80-88. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-06>

**In cites:** Stepanyuk Leonid, Zagnitko Vasyl, Pavlov Hennadiy, Dovbush Tatyana (2024). Geochronology by monazite veins of granite of the old Crimea quarry (Azov Region, Ukrainian Shield). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (60), 80-88. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-06> [in Ukrainian]

**Вступ.** Старокримським кар'єром розкрита асоціація порід: мармури, кальцифіри, діопсидові кристалічні сланці, біотитові і графітові гнейси, кварцити, характерна для темрюцької світи центральноприазовської серії, віднесеної до неогархею [6, 19]. В кар'єрі зазначені породи прориваються масивними, інколи розгнейсованими, ендербітами, біотитовими гранітами та пегматитами.

Наразі для циркону із ендербітів, поширених в Старокримському кар'єрі отримано вік 2730±24 млн. років [19].

**Постановка проблеми.** З'ясування часу накопичення осадових (вулканогенно-осадових) товщ високометаморфізованих комплексів є складною проблемою. Одним із надійних сучасних методів вирішення цієї задачі є уран-свинцеве ізотопне датування уран-вмісних мінералів. У разі наявності продуктів кислого вулканізму (вулканогенно-осадові утворення) задача вирішується датуванням U-Pb ізотопним методом акцесорного циркону, сингенетичного вулканізму. У випадку ж кластогенних (осадових ± хемогенно-осадові) утворень реально визначити

лише верхню та нижню вікові межі осадоначинення [4].

Старокримським кар'єром розкрита асоціація порід: мармури, кальцифіри, діопсидові кристалічні сланці, біотитові і графітові гнейси та кварцити (темрюцька світа центральноприазовської серії), що являють собою осадові та хомогенно-осадові утворення, для яких можливо лише визначити нижню та верхню вікову межі.

В якості нижньої вікової межі цих утворень в першому наближенні можна прийняти вік  $2730 \pm 24$  млн. років, отриманий для циркону із ендербітів [19], а за верхню вікову межу – вік біотитових гранітів, що складають жильне тіло, яке розсікає пачку гнейсів і кристалічних сланців.

Однією із проблем визначення віку гранітоїдів U-Pb ізотопним методом за цирконом є успадкування цим мінералом реліктів циркону порід субстрату (протоліту), із якого виплавилися родоначальні гранітні розплави. Подолати цю проблему можна використавши локальні методи датування (Shrimp, ICP MS), або визначити вік за іншим мінералом-геохронометром, наприклад монацитом.

**Огляд попередніх досліджень.** Приазов'я (Приазовський мегаблок) Українського щита є одним із найбільш складно побудованих гетерогенних поліхромних ділянок виступу фундаменту Східно-Європейської платформи. Породна асоціація Приазов'я, що наразі доступна для дослідження, сформувалася впродовж більш ніж 1,5 млрд років у віковому інтервалі древніше 3,6 млрд років – 2,0 млрд. років тому [20, 21, 22], за РТ-умов гранулітової, амфіболітової та зеленосланцевої фацій та численним проявам процесів діафторезу [6].

Наразі визначено час інтрузії гранітоїдів Добропільського масиву ( $2101 \pm 15$  млн. років тому – перша фаза і  $2078 \pm 20$  млн. років тому, друга фаза [9, 15]) які донедавна вважалися палеоархейськими [6, 20]. А також було з'ясовано, що ці гранітоїди були сформовані по поліхромному (вік реліктових ядер в середині кристалів акцесорного циркону від 3,6 до 2,6 млрд. років) субстрату [9, 15, 22].

Поліхромний характер формування породної асоціації Приазов'я проявився і в палеопротерозої, на завершальному етапі його формування. На відміну від решти (окрім Середньодніпровського, консолідація кори в якому відбулася в археї [11]) мегаблоків Українського щита, де палеопротерозойський гранітоїдний магматизм протікав у відносно вузькому віковому інтервалі: Волинський – 2,08-1,95 млрд. років тому [3, 18, 21], Дністровсько-Бузький – 2,06-1,96 млрд років тому [10, 21], Росинсько-Тикицький – 2,08-1,99 млрд років тому [5, 7, 8, 14, 21], Інгуль-

ський 2040-2030 млрд років тому [12, 21], в Приазовському цей процес тривав понад 200 млн. років (від 2,24 до 1,98 млрд. років тому) [1, 21].

Наявність реліктів давнього циркону порід субстрату в середині кристалів акцесорних цирконів гранітоїдів Українського щита є їх характерною особливістю [9, 12, 15, 16, 17], що обумовлює необхідність виконувати датування за іншими мінералами-геохронометрами, наприклад за монацитом [13].

**Мета роботи.** Визначити вік та походження жильних гранітів, розкритих Старокримським кар'єром U-Pb ізотопним методом за монацитом.

**Об'єкти та методи досліджень.** Об'єктом дослідження є біотитовий граніт (проба ПА-2-4), що складає січне жильне тіло, розкрите Старокримським кар'єром. Монацити вивчені нами класичним уран-свинцевим ізотопним методом у відділі радіогеохронології ІГМР НАН України.

Для визначення часу формування граніту вручну під біноклюром із різних розмірних фракцій були відібрані мультизернові наважки кристалів монациту із граніту (проба ПА-2-4). Методика хімічної підготовки, за якою готувалися зразки монацитів для мас-спектрометричного аналізу, описана в роботах [4, 23]. Для визначення вмісту урану і свинцю в цирконах використали змішаний  $^{235}\text{U} + ^{206}\text{Pb}$  трасер.

Ізотопні дослідження свинцю та урану виконані на 8-колекторному мас-спектрометрі MI-1201 АТ в мультиколекторному статичному режимі; математична обробка експериментальних даних – за програмами Pb Dat і ISOPLOT [24, 25]. Похибки визначення віку наведені при  $2\sigma$ . Для перевірки метрологічних характеристик методу використали стандарт циркону ІГМР-1 [2].

**Викладення основного матеріалу.** Граніт біотитовий аплітоїдний, проба ПА-2-4, Старокримський кар'єр, відбір 1991 рік. Структура граніту різнозерниста. За рахунок подовжених зерен кварцу та орієнтованих лусок біотиту порода має орієнтовану мікротекстуру. Розмір зерен від 0,1 до 3,5 мм, найчастіший розмір зерен 0,5-1,5 мм. За співвідношенням між зернами мінералів та їхньою формою структура може визначатися, як алотріоморфна, сплющена. Особливості конфігурації зерен та їх співвідношення між собою свідчать про накладання на первинну структуру елементів, притаманних діафторичному процесу, або процесу перетворення первинномагматичної породи в породу, що пройшла стадію повторного анатексису, або реоморфізму: гранулобластез та сплющення кристалів кварцу; гранулобластез плагіоклазу; мірмекітизація польових шпатів; деформація лусок біотиту, їх хлоритизація, серицитизація та пелітизація новоутвореного плагіоклазу.

Мінеральний склад: кислий плагіоклаз - 30%;

мікроклін + ортоклаз – 25%, кварц – 45%, хлоритизована темна слюда (біотит) 1-5%. Акцесорні мінерали: циркон, монацит, апатит, а також рутил, що утворюється при заміщенні біотиту хлоритом, можливо магнетит. Вторинні мінерали – серицит та глинисті мінерали, гідроксида заліза, карбонати.

**Кварц** утворює ізометричні та сплюснуті ксеноморфні зерна розміром від 0,1 до 3 мм. Найпоширенішим розміром є 1,5-2 мм по довгій осі. Сплюснуті форми нерідко є гранобластовими зростками тектонокластового кварцу, який сформувався за рахунок одностороннього тиску, що супроводжувався поперечною крихкопластичною деформацією (рис. 1а). Власне ці зерна кварцу формують лінійну структуру і орієнтовану мікротекстуру течії. Зерна кварцу характеризуються деформаційним згасанням, блокуванням та наявністю тріщин між субзернами. Особливістю конфігурації крупних зерен кварцу є дроблення, пластична направлена деформація та оплавлення фрагментів зерен. Другий різно-

вид кварцу – мирмекітовий, що виникає при міжзерновій взаємодії польових шпатів.

**Калійовий польовий шпат** представлений в породі двома різновидами: ортоклаз-мезопертитом та решітчастим мікрокліном. Мезопертит спостерігається тільки у вигляді реліктових зерен, майже повністю заміщених мікрокліном. Характеризуються ламелярною мезопертитовою будовою. Гратчастий мікроклін представлений зернами ізометричної форми розміром 0,2-1 мм (рис. 1б). Ізометрична форма пов'язана з катакластичною природою утворення окремих індивідів: дроблення, внутрішнє блокування, повторне плавлення та грануляція. В крупних зернах мікрокліну спостерігаються включення реліктових зерен серицитизованого олігоклазу. В краєвих ділянках мікроклін заміщується мирмекітом. Вздовж тріщин розвивається пелітизація. В якості включень в об'ємі кристалів спостерігаються лусочки біотиту (часто хлоритизованого) та включення циркону та монациту розміром до 0,05 мм.

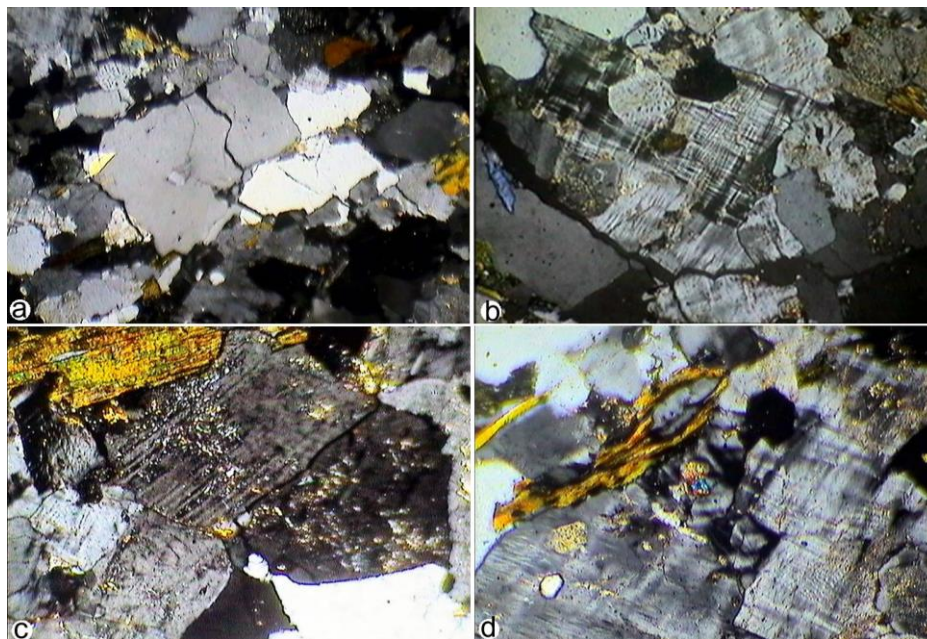


Рис.1. Мікрофотографії аплітоїдного граніту, проба ПА-2-4, Старокримський кар'єр.

Просвічуючий мікроскоп, ніколі+, Збільшення 20 раз /

Fig. 1. Photomicrographs of aplite granite, sample PA-2-4, Old Crimea quarry.

Transmission microscope, nikol+, Magnification 20 times

**Плагіоклаз** представлений олігоклазом, найвірогідніше двох генерацій. Рання – реліктова має кородовану табличчасту форму, затокоподібні контури, що часто переходять у мирмекіти. Двійникова система практично відсутня. Зерна плямисто пелітизовані та серицитизовані. Розмір табличок зрідка перевищує 0,3 мм. Друга генерація представлена табличчастими кристалами ізометричного габітусу, менш пелітизованого, з більш-менш проявленим тонким полісинтетичним двійникуванням (рис. 1с). Має кулькоподіб-

ні включення сингенетичного пойкилітового кварцу. Для цієї генерації не притаманні реакційні співвідношення з мікрокліном та кварцом. Схоже, що він кристалізувався разом з мікрокліном.

**Біотит** – головний темноколірний мінерал. Він спостерігається в інтерстиційному просторі між зернами інших породотвірних мінералів. Розмір зерен біотиту найчастіше 0,3-0,6 мм. Його зерна мають «розтягнутий» рекристалізований вигляд, облямовуючи зерна кварцу, або польових шпатів, і підкреслюють орієнтовану текстуру



(рис. 1с,d). Плеохроює в густо червоно-бурих тонах, колір насичений до непрозорого в площині Ng-Nm. Луски деформовані, в деяких спостерігаються кінк-банди, а також розщеплення в торцях зерен, що вказує на процеси транспресії – зсув-стиснення. Має поодинокі включення апатиту, монациту та циркону.

**Циркон** – світло-жовті, бурувато-рожеві до світло-бурих призматичні та коротко-призматичні малоконоподібні кристали з дещо заокругленими контурами. В ограненні кристалів беруть участь грані призми і найчастіше обох біпірамід, з переважним розвитком однієї із них, що обумовлює переважання кристалів цирконового типу.

Як поодинокі трапляються видовжено-призматичні світло-рожеві сильно тріщинуваті кристали (рис. 2 с, g, (g<sub>1</sub>)).

В полірованих зрізах (рис. 2) виявляється складна будова більшості кристалів циркону, обумовлена наявністю різнорідних ядер та, переважно, відносно тонких оболонок (рис. 2 а-d, f-j (f<sub>1</sub>-j<sub>1</sub>)). В незначній кількості присутні кристали без ядер, складені виключно цирконом оболонок (рис. 2 d, e, k (k<sub>1</sub>)). Серед ядер можна виділити декілька типів:

- Призматичні, однорідні сильно тріщинуваті з заокругленими контурами, що характерні для кластогенних кристалів (рис. 2, а, b, f (f<sub>1</sub>));
- Видовжено-призматичні однорідні тріщинуваті (рис. 2 с, g);
- Призматичні з тонкою «магматичною» зональністю та заокругленими контурами (рис. 2 і (i<sub>1</sub>));
- Призматичні з низьким двозаломленням (рис. 2 f (f<sub>1</sub>)).

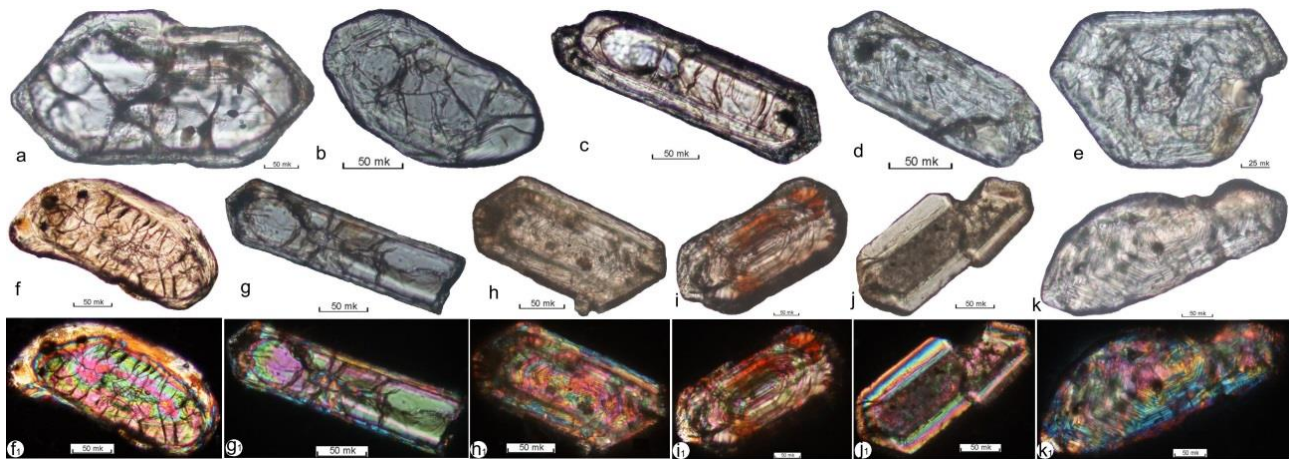


Рис. 2. Мікрофотографії полірованих зрізів кристалів циркону із аплітоїдного граніту, проба ПА-2-4, Старокримський кар'єр. Поляризаційний мікроскоп, на просвіт: а-к – за одного нікола, f<sub>1</sub>-k<sub>1</sub> – ті ж кристали (f-k), ніколи схрещені /

Fig. 2. Photomicrographs of polished sections of zircon crystals from aplite granite, sample PA-2-4, Old Crimea quarry. Polarizing microscope, on the aperture: а-к - for one nikol, f<sub>1</sub>-k<sub>1</sub> - the same crystals (f-k), nikols crossed

Наявність різнорідних ядер в середині кристалів акцесорного циркону (див. рис. 2) з високою долею вірогідності дозволяє припустити, що граніти сформувалися в результаті більш ранніх ультраметаморфічних перетворень осадових (вулканогенно-осадових) порід.

**Монацит** представлений двома різновидами: 1) крупні (>0,1 мм) буро-коричневі, темно-коричневі до майже чорних нерівномірно окрашені не прозорі кристали, переважно пампушкоподібної, зрідка псевдопризматичної форми та їх уламки. Форма зерен сильно заокруглена, ускладнена виступами та заглибленнями; 2) дрібні (<0,071) світло-коричневі, коричнево-жовті переважно прозорі пампушкоподібні, дископодібні та ізометричні, часто озалізовані (напівпрозорі) зерна. Озалізовання в переважній більшості не рівномірне, найчастіше кірочками гідроокислів заліза покритими є окремі ділянки поверхні кристалів.

В полірованих зрізах виявляється деяка не-

однорідність внутрішньої будови кристалів монациту (рис. 3), що виражена в незакономірному (хаотичному) розподілі забарвлення, наявністю тріщин (рис. 3 е, f, g, h, j, k) та пізнішими доростаннями дещо світлішим монацитом (рис. 3 а-d, f). На наш погляд це доростання обумовлено накладанням реоморфічних процесів, що досить чітко синхронізується з гранулобластезом та сплюсненням кристалів кварцу, гранулобластезом плагіоклазу, мірмекітзацією польових шпатів та деформацією лусок біотиту (рис. 1).

Час інтрузії граніту визначали спочатку за чотирма мультизерновими наважками світло-коричневих та коричнево-жовтих прозорих кристалів та двома наважками буро-коричневих до чорних не прозорих кристалів. Як видно із таблиці 1 (фракції 1-6) отримані значення віку за різними відношеннями, у тому числі за відношенням <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, значимо розрізняються. При цьому за розрахованими значеннями віку за від-

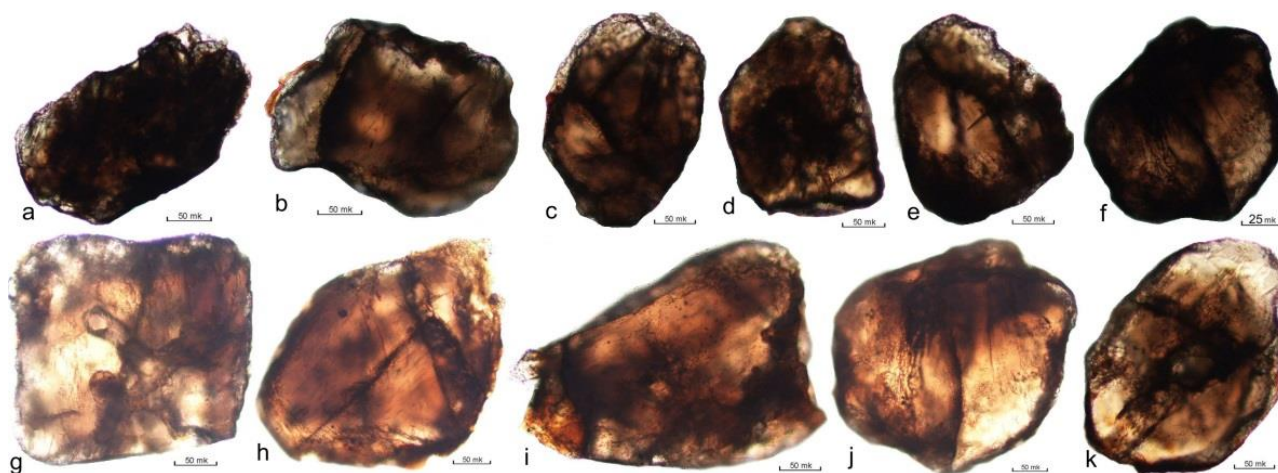


Рис.3. Мікрофотографії полірованих зрізів кристалів монациту із граніту, проба ПА-2-4, Старокримський кар'єр. Поляризаційний мікроскоп, на просвіт, за одного ніколя /  
Fig. 3. Photomicrographs of polished sections of monazite crystals from granite, sample PA-2-4, Old Crimea quarry. Polarizing microscope, on the lumen, in one nikol

Таблиця 1 / Table 1

Вміст урану, свинцю та ізоотопний склад свинцю в монацитах із аплітоїдного граніту, проба Па-2-4, Старокримський кар'єр /  
Content of uranium, lead and isotopic composition of lead in monazites from aplitoid granite, sample Pa-2-4, Old Crimea quarry

Фракція мінералу	Вміст (ppm)		Ізотопні відношення					Вік, млн. років			D (%)
	U	Pb	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{206}\text{Pb}_r}$	
1	2558	5194	1568	7,7730	0,19393	0,36885	6,1164	2024	1993	1960,2	-3,3
2	2690	5793	970	7,4677	0,17971	0,36471	6,0486	2004	1983	1960,4	-2,2
3	2376	5109	2074	7,9580	0,17263	0,35553	5,8502	1961	1954	1946,4	-0,7
4	2351	4863	1980	7,8616	0,18354	0,35980	5,9823	1981	1973	1965,0	-0,8
5	2585	5540	1526	7,6764	0,18228	0,36963	6,2006	2028	2005	1980,8	-2,4
6	2517	6409	1160	7,4918	0,14826	0,36747	6,1880	2017	2003	1987,6	-1,5
7	2810	7097	1055	7,4890	0,14286	0,35260	5,8837	1947	1959	1971,3	1,2
8	2654	6513	1760	7,7555	0,15295	0,36559	6,1244	2009	1994	1978,3	-1,5
9	2595	6303	1230	7,5603	0,15136	0,35725	5,9880	1969	1974	1979,3	0,5
10	2623	6617	936	7,3812	0,15122	0,36913	6,1772	2025	2001	1976,5	-2,5

*Примітка.* Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 1980 млн. років. 1-4 – світло-коричневі, коричнювато-жовті зерна, прозорі. 1 - <0,04, 2 - 0,040-0,063, 3 - 0,063-0,071, 4 - >0,071 мм. 5-6 – темно-коричневі до чорних, не прозорі зерна (>0,1), розсіяні за розміром скочуванням по нахиленій площині. 6-10 - темно-коричневі до чорних, не прозорі зерна (>0,1), розсіяні за розміром скочуванням по нахиленій площині

*Note.* The correction for ordinary lead is introduced according to Stacey and Kramers for an age of 1980 million years. 1-4 – light brown, brownish-yellow grains, transparent. 1 - <0.04, 2 - 0.040-0.063, 3 - 0.063-0.071, 4 - >0.071 mm. 5-6 – dark brown to black, non-transparent grains (>0.1), scattered by size by rolling on an inclined plane. 6-10 - dark brown to black, non-transparent grains (>0.1), scattered by size by rolling on an inclined plane

ношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , більш темні не прозорі кристали є давнішими (табл.1, фракції 1-4 та 5 і 6, відповідно), як і за мінералогічними спостереженнями (див. рис. 3 a-d, f). Не піддаються інтерпретації отримані результати і в рамках моделі Аренса-Везеріла. Тому на другому етапі додатково датували ще чотири наважки розмірних фракцій буровато-коричневих та темно-корич-

невих до чорних, не прозорих кристалів. Розмірні фракції отримали скочуванням по нахиленій площині. Результати датування наведено в таблиці 1 (фракції 6-10).

Вік, для давніших більш темних не прозорих кристалів монациту (фракції 5-10), розраховали в рамках моделі Аренса-Везеріла. За верхнім перетином конкордії дискордією отримано вік

1974±18 млн. років, та 659±719 млн. років, за нижнім, СКЗВ=8,8. Враховуючи незначну дискордантність (від +1.2 до -2.5, табл. 1) розраховали середнє зважене значення віку, за ізотопним відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  – 1978,8±6 млн. років, СКЗВ=3,3. Вік монациту цих же мультизернових наважок (фракції 5-10), розраховали в координатах  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , рівняння лінії регресії має вигляд  $y = 0,12163x + 13,06233$ , за  $R^2 = 0,99989$ . За нахилом лінії регресії отримано вік 1980±26 млн. років, що в межах похибки повністю співпадає з ізотопними датами, розрахованими за допомогою діаграм з конкордією (метод Аренса-Везеріла).

Вік прояву процесу динамометаморфізму, що супроводжувався реоморфізмом, визначали

за світло-коричневими і коричнево-жовтими прозорими кристалами (табл. 1, фракції 1-4). Вік, за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованої за даними наведеними в табл. 1 (фракція 1-4), складає 1959±18 млн. років (рис. 4). Вік монациту цих же мультизернових наважок (фракції 1-4), розраховали в координатах  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , рівняння лінії регресії має вигляд  $y = 0,11934x + 14,34893R^2 = 0,99971$ . За нахилом лінії регресії отримано вік 1947±93 млн. років.

Враховуючи велику вірогідність наявності більш ранньої генерації монациту в молодшій групі (див. рис. 4), отримане значення ізотопного віку (1947±93 млн. років), як і найменше значення, розраховане, за ізотопним відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  - 1946,4 млн. років (табл. 1, фракція 3)

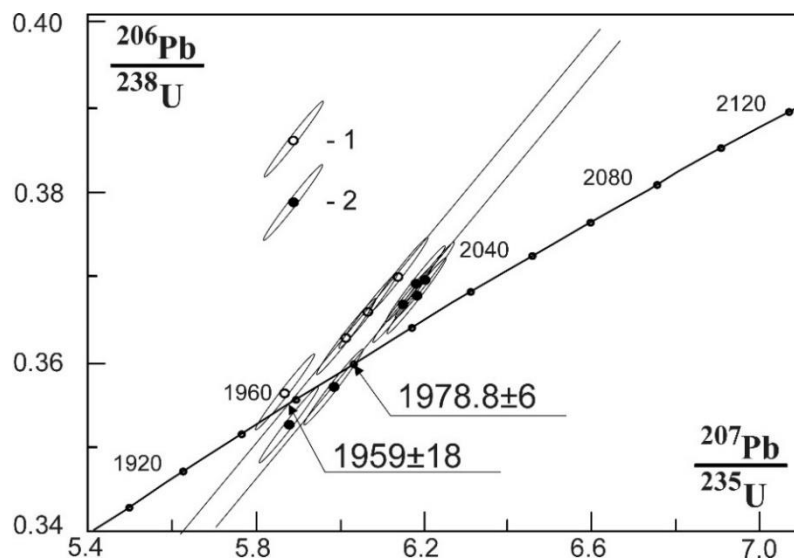


Рис. 4. Уран-свинцева діаграма з конкордією для мультизернових наважок монациту із аплітоїдного граніту, проба ПА-2-4, Старокримський кар'єр. 1 – фігуративні точки мультизернових наважок світло-коричневих і коричнево-жовтих прозорих кристалів (фракції 1-4, табл.1); 2 – теж, темно-коричневих до чорних, не прозорих кристалів (фракції 5-10, табл. 1) /

Fig. 4. Uranium-lead concordia diagram for multigrain monazite measurements from aplite granite, sample PA-2-4, Old Crimea quarry. 1 – figurative points of multigrain measurements of light-brown and brown-yellow transparent crystals (fractions 1-4, Table 1); 2 - also, dark brown to black, non-transparent crystals (fractions 5-10, Table 1)

є мінімально можливим часом кристалізації світло-коричневих і коричнево-жовтих прозорих кристалів (прояву процесу діафорезу).

**Висновки.** 1. Аплітоїдний граніт, що досліджувався, складає січне тіло по відношенню до вмісних метаморфічних порід центральноприазовської серії, виповнює тріщини в кристалічних сланцях та гнейсах. Швидше за все, його утворення пов'язане з процесами регіонального метаморфізму, що супроводжувався динамометаморфізмом в режимі розтягнення, анатексисом та

палінгенезом. На більш пізніх етапах тектогенезу граніти піддавалися інтенсивному динамометаморфізму в режимі стиснення-зсуву з локальними явищами реоморфізму.

2. За нашими уявленнями гранітна магма на ділянці, що розкрита кар'єром, розташованим поблизу с. Старий Крим, сформувалася та проникла в метаморфічну товщу 1979±6 млн. років тому. Прояв реоморфних процесів в цих гранітах, зафіксований петрографічними дослідженнями, проявився не раніше 1945 млн. років тому.

#### Список використаної літератури

1. Артеменко Г.В. Етапи раннепротерозойського колізійного гранітоїдного магматизма і метаморфізма на Приазовском и Среднеприднепровском мегаблоках Украинского щита / Г.В. Артеменко, И.А. Самборская, И.А. Швайка, К.И. Гоголев, Т.И. Довбуш // Мінерал. журн. 2018. 40, № 2. – С. 45-62. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.045>



2. Бартницкий Е.Н. ИГМР-1 – Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований / Е.Н. Бартницкий, Е.В. Бибикина, В.М. Верхогляд, Г.В. Легкова., В.М. Скобелев, Г.Я. Терещук // *Геохимия и рудообразование*, 1995, вып. 21. – С.164-167.
3. Висоцький О.Б. U-Pb геохронологія за цирконом дрібнозернистих гранітів осницького комплексу (Волинський мегаблок УЩ) / О.Б. Висоцький, Л.М. Степанюк, Т.І. Довбуш, Н.О. Коваленко // *Геохімія та рудоутворення*. 2020, вип. 41.- С. 83-86.
4. Довбуш Т.І. Методичні рекомендації з уран-свинцевого, рубідій-стронцієвого та самарій-неодимового ізотопного датування геологічних об'єктів при ГРП" Методичні рекомендації / Т.І. Довбуш, В.М. Скобелев, Л.М. Степанюк // - Київ.: УкрДГРІ, 2008. – 77с.
5. Довбуш Т.І. Уран-свинцева за монацитом геохронологія гранітів, поширених в середній течії р. Рось (Росинсько-Тікицький мегаблок УЩ) / Т.І. Довбуш, Л.М. Степанюк, О.В. Зюльцле, Т.Б. Яськевич // *Геохімія та рудоутворення*. 2021. Вип.42. - С.89-93
6. Єсипчук К.Ю. Кореляційна хроностратиграфічна схема раннього докембрію Українського щита (пояснювальна записка) / К.Ю. Єсипчук, О.Б. Бобров, Л.М. Степанюк, М.П. Щербак, Є.Б. Глеваський, В.М. Скобелев, А.С. Дранник, М.В. Гейченко // - Київ, УкрДГРІ, - 2004. – 29 с.
7. Зюльцле О.В. Радіогеохронологія порід зчленування Дністровсько-Бузького та Росинсько-Тікицького мегаблоків. Стаття 1. Геохронологія породних комплексів Росинсько-Тікицького мегаблоку / О.В. Зюльцле, Л.М. Степанюк, В.В. Зюльцле, Т.І. Довбуш, С.І. Курило // *Мінерал. журн.* 2016. 38. №1. – С. 84-93.
8. Зюльцле О.В. Радіогеохронологія порід зчленування Дністровсько-Бузького та Росинсько-Тікицького мегаблоків. Стаття 2. Геохронологія породних комплексів Дністровсько-Бузького мегаблоку / О.В. Зюльцле, Л.М. Степанюк, В.В. Зюльцле, Т.І. Довбуш, С.І. Курило // *Мінерал. журн.* 2016. 41. №4. – С.45-53.
9. Степанюк Л.М. Нові дані про радіологічний вік гранітоїдів Добропільського масиву (Західне Приазов'я, Український щит). Стаття 3. Результати радіологічного датування / Степанюк Л.М., Бобров О.Б., Шпильчак В.О., Стефанишин О.Б., Сергєєв С.А., Лепехіна О.М. // *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. №2, 2007. –С.83-89.
10. Степанюк Л.М. Фінальний етап гранітоїдного магматизму в Дністровсько-Бузькому мегаблоці Українського щита / Л.М. Степанюк, Т.І. Довбуш, С.І. Курило, І.М. Лісна // *Геохімія та рудоутворення*. 2016. Вип.36. – С. 72-81.
11. Степанюк Л.М. Геохімія двопольовошпатових гранітоїдів Середнього Придніпров'я / Л.М. Степанюк, С.І. Курило. – Київ. Наук. думка, 2019. – 207 с.
12. Степанюк Л.М. Уран-свинцевий вік гранітів Кіровоградського масиву (Інгульський мегаблок Українського щита) // Л.М. Степанюк, Н.М. Коновал, Т.І. Довбуш, О.В. Ковтун, О.Б. Висоцький // *Мінерал. журн.* 2021. 43, № 4. С. 56-62. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.04.000>
13. Степанюк Л.М. Циркон та монацит як геохронометри / Л.М.Степанюк, Т.І.Довбуш, О.Б.Висоцький, І.М. Лісна, О.В. Білан // *Мінерал. журн.* 2022. 44, №1. -С.41-55. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.01.041>
14. Степанюк Л.М. Уран-свинцева геохронологія за титанітом, переваги та обмеження / Л.М. Степанюк, Т.І. Довбуш, О.Б. Висоцький, В.М. Бельський, О.В. Зюльцле, Т.Б. Яськевич, І.М. Котвіцька // *Мінерал. журн.* 2022. 44, № 3. С. 83-98. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.83>
15. Степанюк Л.М. Геохронологія гранітоїдів Добропільського масиву Приазов'я (Український щит) / Л.М. Степанюк, О.Б. Бобров, Т.Б. Яськевич, В.О. Шпильчак // *Мінерал. журн.* 2022. 44, № 4. – С. 94-101. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.04.094>
16. Степанюк Л.М. Анатомія циркону з асоціації порід Острівського кар'єру (Росинсько-Тікицький мегаблок Українського щита) / Л.М. Степанюк, Т.Б. Яськевич, І.М. Котвіцька // *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 1. С. 41—49. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.01.041>
17. Степанюк Л.М. Новоукраїнський масив: джерело родоначальних магм і час формування / Л.М. Степанюк, О.В. Ковтун, О.Б. Висоцький, Т.І. Довбуш, В.В.Гулько // *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 3. С. 60—69. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.03.060>
18. Шумлянський Л.В. Уран-свинцева за цирконом та монацитом геохронологія гранітоїдів житомирського та шереметівського комплексів, Північно-Західний район Українського щита / Л.В. Шумлянський, Л.М. Степанюк, С. Клаессон, К.В. Руденко, А.Ю. Беккер // *Мінерал. журнал.* 2018. 40, №2. - С.63-85. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.063>
19. Щербак Н.П. Геохронологія крупних геологічних подій в Приазовському блоці УЩ / Н.П. Щербак, В.Н. Загнитко, Г.В. Артеменко, Е.Н. Бартницкий. // *Геохимия и рудообразование*, 1995. Вып.21. - С. 112-129.
20. Щербак М.П. Геохронологія раннього докембрія Українського щита архей / М.П. Щербак, Г.В. Артеменко, І.М. Лесная, О.Н. Пономаренко // - Киев, «Наук. думка», 2005. – 243 с.
21. Щербак М.П. Геохронологія раннього докембрія Українського щита. Протерозой. М.П.Щербак, Г.В. Артеменко, І.М. Лесная, О.Н. Пономаренко, Л.В. Шумлянський. – Киев: Наук. думка, 2008. – 240 с.
22. Artemenko G.V. The U-Pb age and Lu-Hf isotope systematics of zircons from the Huliaipole metavolcanics, the Azov domain of the Ukrainian shield: evidence for the Paleoproterozoic-Hadean crust / G.V.Artemenko, L.V.Shumlyanskyu, S.A. Wilde., M.J. Whitehouse, A.Yu. Bekker // *Геологічний журнал*, 2021, № 1. – С. 3-16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.2169899>
23. Krough T.E. A law contamination method for hedrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination / T.E. Krough // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1973. – 37, №3. – P.485-494.

24. Ludwig K.R. *Pb Dat for MS-DOS, version 1.06* / K.R. Ludwig // *U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 1989. № 88 – 542. – P.40.*
25. Ludwig K.R. *ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0* / K.R. Ludwig // *U.S. Geol. Survey Open-File Rept. 1990. № 88 – 557. – P.38.*

**Внесок авторів:** всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

**Конфлікт інтересів:** автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

## Geochronology by monazite veins of granite of the old Crimea quarry (Azov Region, Ukrainian Shield)

*Leonid Stepanyuk*<sup>1</sup>

DSc (Geology), Professor, Corresponding member of the National Academy of Science of Ukraine, Deputy Director of

<sup>1</sup> M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

*Vasyl Zagnitko*<sup>2</sup>

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Institute of Geology,

<sup>2</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine;

*Hennadiy Pavlov*<sup>1</sup>

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Senior Researcher;

*Tatyana Dovbush*<sup>1</sup>

Researcher

### ABSTRACT

**The purpose.** The aplitoid biotite granites with traces of rheomorphic transformations lying among gneisses and crystalline schists of the Central-Priazovska series of the Ukrainian shield, as well as the anatomy of accessory crystals of zircon and monazite from these granites, were researched.

**Method.** The time of granite intrusion was determined by the uranium-lead isotope dating method based on multi-grain measurements of accessory monazite. The anatomy of zircon crystals was studied in artificial slices by optical microscopy methods.

**The results.** The age of monazites was determined by multigrain weighing based on the <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb isotopic ratio. The interest in these granites is related to the fact that they form a vein that breaks through the gneisses and crystalline slates of the Central-Priazovska series, discovered by the Oldcrimean granite quarry. The structure of the granite is heterogeneous, with grain sizes ranging from 0.1 to 3.5 mm. Based on the ratio between mineral grains and their shapes, the structure is identified as allotriomorphic and flattened. The configuration of the grains and their relationships indicate the coexistence of relict primary magmatic structure with dynamoblastic and brittle-plastic features caused by rheomorphism. These elements include granuloblastic phenomena and the flattening of quartz crystals; granuloblastesis of primary plagioclase grains; myrmekitization of early and crystallization of newly formed feldspars; microclinization of relict orthoclase and crystallization of newly formed microcline, and deformation of biotite flakes. Currently, the granites consist of (in %) acidic plagioclase - 30, microcline + orthoclase - 25, quartz - 45, chloritized dark mica - 1-5. Secondary transformations include biotite chloritization, as well as sericitization and pelltization of newly formed plagioclase. Accessory minerals are represented by zircon, monazite, apatite, possibly magnetite, and rutile, which forms during the replacement of biotite by chlorite. Weathering minerals include clay minerals, iron hydroxides, and carbonates. The anatomy of accessory zircon and monazite crystals has been studied. According to mineralogical research, zircon crystals have a complex structure. Zircon in synpetrogenic granites grows on heterogeneous cores of relict zircon, usually in the form of thin shells. A small number of crystals without cores are also present, consisting exclusively of fine-zonal zircon shells. The monazite is represented by two varieties: large (>0.1 mm) brownish-brown, dark brown to nearly black unevenly colored opaque crystals and small light brown, brown-yellow transparent crystals.

**Scientific novelty and Conclusions.** The age of the granite was determined using the uranium-lead isotope method on multi-grain samples of dark opaque monazite crystals. The weighted average age, based on the <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb isotope ratio, is 1978.8 ± 6 million years. The age obtained from multi-grain samples of light brown and brown-yellow transparent crystals is 1959 ± 18 million years and theoretically represents the minimum timing of rheomorphism processes.

**Keywords:** zircon, monazite, granite, uranium-lead isotope method, Central Priazovian series, Ukrainian Shield.

### References

1. Artemenko G.V., Samborskaya I.A., Shvaika I.A., Gogolev K.I., Dovbush T.I. (2018) Stages of Early Proterozoic collisional granitoid magmatism and metamorphism on the Azov and Middle Dnieper megablocks of the Ukrainian shield. *Mineral. Journal*, 40, 2, 45-62. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.045>
2. Bartnitsky E.N., Bibikova E.V., Verkhoglyad V.M., Legkova G.V., Skobelev V.M., Terets G.Ya. (1995) IGMR-1 – International zircon standard for uranium-lead isotope studies. *Geochemistry and ore formation*, 21, 164-167.



3. Vysotsky O.B., Stepanyuk L.M., Dovbush T.I. Kovalenko N.O. (2020) U-Pb zircon geochronology of fine-grained granites of the Osnytsky complex (Volyn megablock of the Ush). *Geochemistry and ore formation*, 41, 83-86 [in Ukrainian].
4. Dovbush T.I., Skobelev V.M., Stepanyuk L.M. (2008) Methodological recommendations for uranium-lead, rubidium-strontium and samarium-neodymium isotopic dating of geological objects at the GRR" Methodological recommendations. Kyiv.: UkrDGRI, 77 [in Ukrainian].
5. Dovbush T.I., Stepanyuk L.M., Zylzle O.V., Yaskevich T.B. (2021) Uranium-lead by monazite geochronology of granites distributed in the middle course of the Ros River (Rosynsko-Tikitskyi megablock of the USh). *Geochemistry and ore formation*, 42, 89-93[in Ukrainian].
6. Yesipchuk K.Yu., Bobrov O.B., Stepanyuk L.M., Shcherbak M.P., Hlevaskyi E.B., Skobelev V.M., Drannyk A.S., Geichenko M.V. (2004) Correlative chronostratigraphic scheme of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield (explanatory note). Kyiv, UkrDGRI, 29 [in Ukrainian].
7. Zylzle O.V., Stepanyuk L.M., Zylzle V.V., Dovbush T.I., Kurylo S.I. (2016.) Radiogeochronology of rocks of the articulation zone of the Dniester-Buzka and Rosyna-Tikitka megablocks. Article 1. Geochronology of rock complexes of the Rosyna-Tikitsky megablock. *Mineral. Journal*, 38, 1, 84-93 [in Ukrainian].
8. Zylzle O.V., Stepanyuk L.M., Zylzle V.V., Dovbush T.I., Kurylo S.I. (2016) Radiogeochronology of rocks of the articulation zone of the Dniester-Buzka and Rosyna-Tikitka megablocks. Article 2. Geochronology of rock complexes of the Dniester-Buz megablock. *Mineral. Journal*, 41, 4, 45-53 [in Ukrainian].
9. Stepanyuk L.M., Bobrov O.B., Shpylchak V.O., Stefanyshyn O.B., Sergeyev S.A., Lepekhina O.M. (2007) New data on the radiological age of granitoids of the Dobropil massif (Western Azov region, Ukrainian shield). Article 3. Results of radiological dating. *Collection of scientific works of UkrDGRI*, 2, 83-89 [in Ukrainian].
10. Stepanyuk L.M., Dovbush T.I., Kurylo S.I., Lisna I.M. (2016) The final stage of granitoid magmatism in the Dniester-Buzka megablock of the Ukrainian Shield. *Geochemistry and ore formation*, 36, 72-81 [in Ukrainian].
11. Stepanyuk L.M., Kurylo S.I. (2019) Geochemistry of difeldspar granitoids of the Middle Dnieper. Kyiv, Naukova dumka, 207 [in Ukrainian].
12. Stepanyuk L.M., Konoval N.M., Dovbush T.I., Kovtun O.V., Vysotskyi O.B. (2021) Uranium-lead age of granites of the Kirovohrad Massif (Ingul Megablock of the Ukrainian Shield). *Mineral. Journal*, 43, 4, 56-62 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.04.000>
13. Stepanyuk L.M., Dovbush T.I., Vysotskyi O.B., Lisna I.M., Bilan O.V. Zircon and monazite as geochronometers. *Mineral. Journal*, 2022. 44, 1, 41-55 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.01.041>
14. Stepanyuk L.M., Dovbush T.I., Vysotskyi O.B., Belskyi V.M., Zylzle O.V., Yaskevich T.B., Kotvitska I.M. (2022) Uranium-lead geochronology by titanite, advantages and limitations. *Mineral. Journal*, 44, 3, 83-98 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.03.83>
15. Stepanyuk L.M., Bobrov O.B., Yaskevich T.B., Shpylchak V.O. (2022) Geochronology of granitoids of the Dobropil massif of the Azov region (Ukrainian shield). *Mineral. Journal*, 44, 4, 94-101 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.44.04.094>
16. Stepanyuk L.M., Yaskevich T.B., Kotvitska, I.M. (2023) Zircon anatomy from the rock association of the Ostrivskyi quarry (Rosynsko-Tikitskyi megablock of the Ukrainian Shield). *Mineral. Journal*, 45, 1, 41-49 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.01.041>
17. Stepanyuk L.M., Kovtun O.V., Vysotskyi O.B., Dovbush T.I., Gulko V.V. (2023) The Novoukrainian massif: the source of parent magmas and the time of formation. *Mineral. Journal*, 45, 3, 60-69 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.45.03.060>
18. Shumlyanskyi L.V., Stepanyuk L.M., Claesson S., Rudenko K.V., Becker A.Yu. (2018) Uranium-lead by zircon and monazite geochronology of granitoids of the Zhytomyr and Sheremetyevo complexes, North-Western region of the Ukrainian shield. *Mineral. Journal*, 40, 2, 63-85 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.02.063>
19. Shcherbak N.P., Zagnitko V.N., Artemenko G.V., Bartmytskyi E.N. (1995) Geochronology of major geological events in the Priazov block of the Ush. *Geochemistry and ore formation*, 21, 112-129.
20. Shcherbak M.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko O.N. (2005) Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Archaean Shield. Kyiv, Nauk. Dumka, 243.
21. Shcherbak M.P., Artemenko G.V., Lesnaya I.M., Ponomarenko O.M., Shumlyansky L.V. (2008) Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield. *Proterozoic*. Kyiv: Nauk. Dumka, 24.
22. Artemenko G.V., Shumlyansky L.V., Wilde S.A., Whitehouse M.J., Bekker A.Yu. (2021) The U-Pb age and Lu-Hf isotope systematics of zircon from the Huliaipole metavolcanics, the Azov domain of the Ukrainian shield: evidence for the Paleoarchean-Hadean crust. *Geol. journal*, 1, 3-16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.1.2169899>
23. Krough T.E. (1973) A law contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 3, 485-494.
24. Ludwig K.R. (1989) Pb Dat for MS-DOS, version 1.06. U.S. Geol. Survey Open-File Rept, 88 (542), 40.
25. Ludwig K.R. (1990) ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. Geol. Survey Open-File Rept, 88, (557), 38.

**Authors Contribution:** All authors have contributed equally to this work

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest

Received 12 February 2024

Accepted 21 March 2024