

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.02.049>  
УДК 550.93

**Л.М. Степанюк**, д-р геол. наук, чл.-кор. НАН України, проф., заст. дир.  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34  
E-mail: [stepaniuk@nas.gov.ua](mailto:stepaniuk@nas.gov.ua); <https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>

**С.І. Курило**, канд. геол. наук, наук. співроб.  
Інститут наук про Землю Словацька академія наук  
974 01, м. Банська-Бистриця, Словаччина, Думбієрська, 1  
E-mail: [kurylo.sergiy@gmail.com](mailto:kurylo.sergiy@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-4466-6851>

**О.В. Ковтун**, мол. наук. співроб., пров. інженер-геолог  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34  
Український державний геологорозвідувальний інститут (УкрДГРІ)  
04114, м. Київ, Україна, вул. Автозаводська, 78-А  
E-mail: [kovtun85@ukr.net](mailto:kovtun85@ukr.net); <https://orcid.org/0000-0003-0475-8778>

**Т.І. Довбуш**, наук. співроб.  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34  
E-mail: [tetyana.dovbush1@gmail.com](mailto:tetyana.dovbush1@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-3512-3313>

**О.Б. Висоцький**, наук. співроб.  
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34  
E-mail: [alek.vysotsky@gmail.com](mailto:alek.vysotsky@gmail.com); <http://orcid.org/0000-0002-3542-4685>

## УРАН-СВИНЦЕВА ГЕОХРОНОЛОГІЯ ЗА МОНАЦИТОМ ДВОПОЛЬОВОШПАТОВИХ ГРАНІТІВ ІНГУЛЬСЬКОГО МЕГАБЛОКУ (УКРАЇНСЬКИЙ ЩИТ)

---

*У районі с. Новоолександрівка долиною р. Боковенька перетинається потужна смуга метаморфічних порід інгуло-інгулецької серії з численними дрібними тілами гранітоїдів кіровоградського комплексу. В правому борту долини річки на північ від с. Новоолександрівка спостережено майже суцільні скельні виходи порфіроподібних переважно крупнозернистих гранат-біотитових гранітів, які січуться жилами апліто-пегматоїдних та пегматоїдних гранітів. Вивчено уран-свинцеві ізотопні системи акцесорних монацитів із порфіроподібного, пластоподібного тіла нерівномірнозернистого та жильного тіла апліто-пегматоїдного граніту. Вік перших двох, крупнозернистіших відмін становить  $2043,2 \pm 2,6$  та  $2041 \pm 2,3$  млн рр. відповідно. Значимо менший вік мають монацити із жили апліто-пегматоїдного граніту —  $2030 \pm 0,3$  млн рр. В гранітах у зазначеній послідовності, окрім структурно-текстурних характеристик (на загал зменшення розмірів зерен) зазначається зменшення кількості  $\text{SiO}_2$  (від 73,14 до 70,93 %) за досить суттєвого зростання  $\text{K}_2\text{O}$  (від 3,96 до 7,58 %), коефіцієнт зворотної кореляції становить 0,98, значного зниження вмісту  $\text{CaO}$  від 2,04 до 0,97 %, та незначного зниження вмісту  $\text{MgO}$  від 1,14 до 0,82 %, що ймовірно, обумовлено кристалізаційною диференціацією вихідного гранітного розплаву.*

**Ключові слова:** уран-свинцева геохронологія, монацит, двопольовошпатові граніти, Український щит.

---

Цитування: Степанюк Л.М., Курило С.І., Ковтун О.В., Довбуш Т.І., Висоцький О.Б. Уран-свинцева геохронологія за монацитом двопольовошпатових гранітів Інгульського мегаблоку (Український щит). *Мінерал. журн.* 2021. 43, № 2. С. 49—57. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.43.02.049>

**Вступ.** Виконано уран-свинцеве ізотопне датування двопольовошпатових гранітів Інгульського мегаблоку, зокрема визначено вік жильного тіла апліто-пегматоїдних гранітів середньої течії р. Боковенька.

У районі с. Новоолександрівка долиною р. Боковенька перетинається потужна смуга метаморфічних порід інгуло-інгулецької серії з численними дрібними тілами гранітоїдів кіровоградського комплексу [2]. Однією із площ, складених гранітоїдами є відслонення в правому борту долини річки північніше с. Новоолександрівка, де спостережено майже суцільні скельні виходи порфіроподібних переважно крупнозернистих гранат-біотитових гранітів, які січуться жилами апліто-пегматоїдних та пегматоїдних гранітів. Потужність жил варіюється від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів. На північному краю відслонення зростає роль апліто-пегматоїдних гранітів.

**Об'єкти та методи дослідження.** Вік визначали для декількох проб гранітоїдів. Порфіроподібний крупнозернистий граніт (пр. 13/15) відібраний із скельного виходу в середній частині відслонення та середньо-нерівномірнозернистий граніт (пр. 12/15), що має пластоодібне тіло, потужністю ~1,5 м серед порфіроподібних гранітів, з нечіткими переходами. На північному краї відслонення із жили апліто-пегматоїдних гранітів, потужністю орієнтовно 1,0 м, відібрано пр. 14/15.

Для визначення часу формування гранітів вручну під бінокляром для кожної із зазначених проб відібрали зерна монациту без включень інших мінералів. Методику хімічної підготовки, за якою готувалися зразки монацитів для маспектрометричного аналізу, описано в роботах [3, 4]. Для визначення вмісту урану і свинцю використали змішаний  $^{235}\text{U} + ^{206}\text{Pb}$  трасер.

Ізотопні дослідження свинцю та урану здійснено на восьмиколекторному маспектрометрі MI-1201 AT в мультиколекторному статичному режимі; математичне оброблення експериментальних даних — за програмами *Pb Dat i ISOPLOT* [5, 6]. Похибки визначення віку наведено за  $2\sigma$ . Для перевірки метрологічних характеристик методу використали стандарт циркону ІГМР-1 [1].

**Результати дослідження та їх обговорення.** *Граніт порфіроподібний (пр. 13/15).* Порода рожево-сірого кольору, трахітоїдної текстури та

порфіроподібної структури (рис. 1, а). Вкраплення представлені видовженими табличками рожевого мікрокліну розміром 0,7—3,2 см та поодинокими зернами плагіоклазу розміром 6—7 мм. Разом вони наповнюють орієнтовно 40—45 % об'єму породи. У шліфах кварц та плагіоклаз утворюють незначні за розміром скупчення.

Мікроструктура загальної маси рівномірно-, крупно-середньозерниста з середнім розміром зерен 1,2—4 мм. Інколи є деякі зерна плагіоклазів розміром 0,1—0,5 мм. Ідіоморфний плагіоклаз, зрідка ідіоморфний кварц, обумовлюють гіпідіоморфнозернисту структуру. Катаклаз слабо проявлений у хвилясто-блочному згасанні та незначній рекристалізації зерен кварцу, хвилястому згасанні плагіоклазу. Хімічний склад граніту наведено в табл. 1.

Мінеральний склад, %: головні — мікроклін — 20—25, плагіоклаз — 35—40, кварц — 30—35; другорядні — біотит — 3—4; акцесорні — апатит, циркон, монацит; вторинні мусковіт по біотиту, серицит по плагіоклазу.

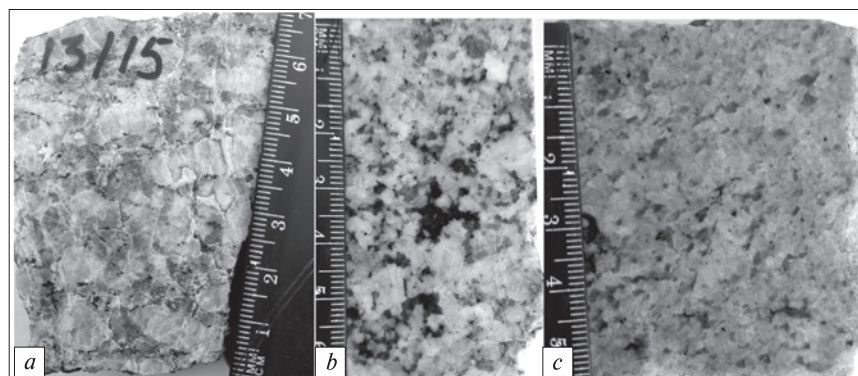
*Мікроклін* у порфіроподібних виділеннях, зазвичай має видовжену таблитчасту форму розміром від 0,7—3 см за довжиною та 0,4—0,7 мм за шириною. Двійники майже не проявлені. Містять крапле- та стрічкоподібні пертити, зрідка включення округлого монациту, ідіоморфні зерна кварцу, округлі та таблитчасті зерна плагіоклазу. Мікроклін загальною масою ксеноморфної та нечітко таблитчастої форми розміром 1,5—2,0 мм.

*Плагіоклаз* є в деяких зернах розміром від 2 до 5 мм, або утворює невеликі скупчення. Форма їх таблитчаста, видовжено таблитчаста зрідка, трапляються зерна заокругленої форми. Здебільшого зерна мають тонкі полісинтетичні двійники доброї та середньої досконалості. Більшим зернам характерні антипертити таблитчастої форми розміром до 0,1—0,2 мм, що розвиваються по одній з систем спайності. До того ж зерна містять включення біотиту, кварцу розміром до 0,4 мм. На границі з мікрокліном часто розвиваються мірмекіти. Багато зерен помітно серицитизовані.

*Кварц* ксеноморфної лінзоподібної, зрідка ідіоморфної форми розміром від 1,5 до 5 мм. Часто утворює скупчення, де границі між зернами мають кутасті обмеження. Більші зерна містять включення біотиту та польових шпатів розміром до 0,7 мм, зрідка циркону. Мають слабо хвилясто-блочне погасання. Кварц у

Рис. 1. Фотографії двопольово-шпатових гранітів, відслонених в правому борту долини р. Боковенька, що північніше с. Новоолександрівка: *a* — пр. 13/15, *b* — пр. 12/15, *c* — пр. 14/15

Fig. 1. Photographs of two-feldspar granites exposed in the right bank of the Bokovenka river valley north of the Novooleksandrivka village: *a* — smp. 13/15, *b* — smp. 12/15 and *c* — smp. 14/15



Таблиця 1. Хімічний склад гранітів, мас. %

Table 1. Chemical compositions of granites, wt. %

| Номер | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | S     | H <sub>2</sub> O | В. п. п. | Сума  |
|-------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------|------------------|----------|-------|
| 1     | 73,14            | 0,33             | 12,44                          | 0,15                           | 2,57 | 0,02 | 1,14 | 2,04 | 2,97              | 3,96             | 0,13                          | <0,02 | <0,01            | 0,77     | 99,66 |
| 2     | 72,39            | 0,18             | 13,52                          | 0,45                           | 1,29 | 0,03 | 0,86 | 1,51 | 3,03              | 5,64             | 0,16                          | <0,02 | <0,01            | 0,57     | 99,63 |
| 3     | 70,93            | 0,09             | 13,74                          | 0,33                           | 1,86 | 0,03 | 0,82 | 0,97 | 2,49              | 7,58             | 0,22                          | 0,03  | <0,01            | 0,48     | 99,57 |

Примітка. 1 — пр. 13/15, 2 — пр. 12/15, 3 — пр. 14/15.

Note. 1 — smp. 13/15, 2 — smp. 12/15, 3 — smp. 14/15.

Таблиця 2. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із граніту порфіроподібного, р. Боковенька, пр. 13/15

Table 2. Content U, Pb and Pb isotope compositions in monazite from porphyry granite, Bokovenka river, smp. 13/15

| Фракція мінералу | Вміст, ppm |      | Ізотопні співвідношення                   |   |   |  |  | Вік, млн рр.                               |  |   |
|------------------|------------|------|---|---|---|--|--|--|--|---|
|                  | 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                | 2735       | 6475 | 18800                                     | 7,8983                                    | 0,18291                                   | 0,41357                                    | 7,1867                                     | 2231                                       | 2135                                       | 2043,3  |
| 2a               | 2959       | 6389 | 16080                                     | 7,8871                                    | 0,18996                                   | 0,38911                                    | 6,7650                                     | 2119                                       | 2081                                       | 2044,2  |
| 2б               | 2699       | 5220 | 24270                                     | 7,9058                                    | 0,20322                                   | 0,36855                                    | 6,4063                                     | 2023                                       | 2033                                       | 2043,9  |
| 2в               | 2951       | 6283 | 35090                                     | 7,9195                                    | 0,19145                                   | 0,38638                                    | 6,7135                                     | 2106                                       | 2074                                       | 2043,2  |
| 3                | 3947       | 7184 | 23200                                     | 7,9183                                    | 0,22944                                   | 0,38238                                    | 6,6349                                     | 2087                                       | 2064                                       | 2040,7  |

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом на вік 2040 млн рр.: 1 — великі (>0,1 мм), світло-жовті прозорі кристали; 2, *a*, *б*, *в* — розмірні фракції світло-жовтих прозорих кристалів, дрібніших за 0,1 мм; 3 — дрібні (<0,04 мм), світло-жовті водяно-прозорі кристали. Тут і далі: Pb<sub>r</sub> — радіогенний ізотоп.  
Note. The common lead was corrected according to Stacey and Kramers (1975) for the age 2040 Ma: 1 — large (>0.1 mm), light yellow transparent crystals; 2, *a*, *б*, *в* — dimensional fractions of light yellow transparent crystals smaller than 0.1 mm; 3 — small (<0.04 mm), light yellow water-transparent crystals. Here in after: Pb<sub>r</sub> — radiogenic isotope.

включення у польових шпатах округлої та ідіоморфної форми розміром до 0,3 мм.

**Біотит** переважно ідіоморфної форми розміром 0,5—1,5 мм, має вигляд поодиноких зерен або дрібних скупчень. Має буро-коричневе забарвлення з чітким плеохроїзмом: Ng — темно-коричневий, буро-коричневий, зі слабко-червонуватим відтінком, майже чорний; Np — коричневий, світло-коричневий. Містить дрібні включення апатиту, циркону, інколи до нього приурочені монацит та сфен (?). Деякі

луски слабо мусковізовані та лейкоксенозовані.

**Циркон** коричневого, темно-коричневого забарвлення, призматичної та округлої форми. Міститься у включеннях в плагіоклазі, кварці, біотиті на границях зерен.

**Монацити** утворюють світло-жовті прозорі та бурувато-жовті напівпрозорі, переважно пампушкоподібні, зрідка дископодібні кристали. Досить поширеними є зерна неправильної форми з напливами, наростами, різних

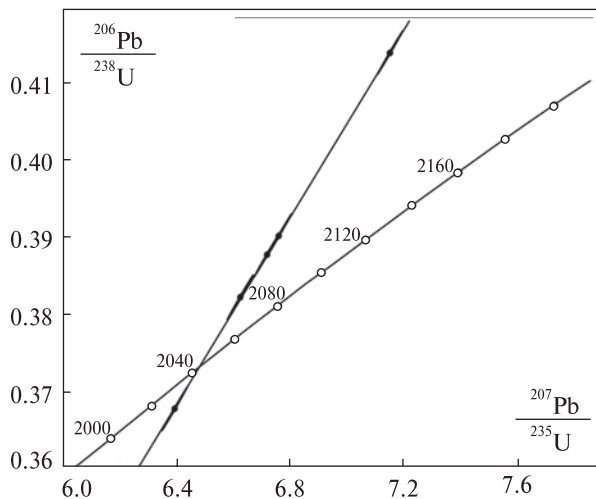


Рис. 2. Уран-свинцева діаграма з конкордією для монацитів із порфіроподібного граніту, р. Боковенька, пр. 13/15

Fig. 2. U-Pb plot with concordia for monazite from porphyry granite, Bokoventka river, smp. 13/15

розмірів і форми ямками — вірогідно слідами-відбитками мінералів сусідів. Поверхня усіх типів кристалів заокруглена, без чітких ребер, в деяких трапляються поодинокі грані, найчастіше грані пінакоїда. Трапляються вclusions та зростання з рудними мінералами, біотитом, інколи польовими шпатами та кварцом.

В шліфах монацит зазвичай приурочений до біотиту, інколи включений в мікроклін, спостережений на границях зерен.

Вік визначали за чотирма мультизерновими наважками розмірних фракцій світло-жовтих прозорих кристалів та однією мультизерною наважкою дрібних (дрібніше 0,04 мм) світло-жовтих водяно-прозорих кристалів монациту. Результати визначення вмісту урану, свинцю та ізотопного складу свинцю в зазначених наважках наведені у табл. 2.

Вік монациту, за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованої за наведеними в табл. 2 даними, становить  $2043,2 \pm 2,6$  млн рр. (рис. 2) та  $-6 \pm 112$  млн рр. за нижнім перетином, СКЗВ = 3,9. Середнє зважене значення віку за ізотопним відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  —  $2043,2 \pm 2,0$  млн рр. не відмінне від віку, отриманого за верхнім перетином конкордії лінією регресії.

**Граніт нерівномірнотзернистий (пр. 12/15).** Граніт світло-рожевий біотит-гранатвмісний. Видовжені зерна мікрокліну та слабко витягнуті у тому ж напрямку зерна кварцу обумовлюють

нечітко проявлену гнейсоподібну текстуру. Більші зерна мікрокліну нерідко утворюють скупчення, зумовлюючи елементи плямистої текстури (рис. 1, b).

Структура досить неоднорідна, обумовлена більшими табличками мікрокліну, розміром від 4—7 до 10 мм, які часто утворюють скупчення та виповнюють від 25 до 40 % об'єму породи. Між зернами мікрокліну розміщені дрібніші зерна загальної маси, розмір зерен в яких сягає лише 1,7—2,0 мм. Здебільшого зерна польових шпатів не проявляють ідіоморфних обрисів, однак кварц та гранат нерідко спостерігаються у вигляді доволі чітких шестигранників.

Отже, структура породи порфіроподібна з рівномірно-середньозернистою загальною масою, ділянками нерівномірнотзерниста, нечітка гранулітова. Катаклаз слабо проявлений у блочно-хвилястому згасанні кварцу.

Мінеральний склад, %: головні — мікроклін — 30—35, плагіоклаз — 30—35, кварц — 20—25; біотит — 3—4, гранат — ~1; акцесорні — апатит, монацит, циркон; вторинні — хлорит, мусковіт по біотиту, серицит по плагіоклазу. Хімічний склад граніту наведено в табл. 1.

**Мікроклін** утворює зерна ксеноморфної, нечітко таблитчастої форми, розміром від 1,5 до 7 мм. Здебільшого зерна з недосконалою, суцільною, клітково-снопоподібною мікрокліновою ґраткою. Зерна містять чисельні пертити двох морфологічних типів: 1) чисельні дрібні, дископодібні мікро- та мезопертити доброї досконалості, які переважно мають суцільне поширення; 2) недосконалі стрічкоподібні пертити. У зернах є вclusions округлого, рідше таблитчастого плагіоклазу, округлі та ідіоморфні вclusions кварцу, монациту, зрідка ідіоморфного біотиту.

**Кварц** округлої, лінзоподібної, ксеноморфної та ідіоморфної (у вигляді шестигранників) форми, розміром від 0,5 до 2,2 мм. Зерна рівномірно розміщені у загальній масі, а також знаходяться у вclusions в мікрокліні, де вони найкраще проявляють ідіоморфні обриси. Зерна мають слабо хвилясте, інколи блочно-хвилясте згасання. Зрідка містять дрібні вclusions округлого мікрокліну

**Плагіоклаз** має вигляд дрібних зерен, розміром 0,1—0,5 мм та незначних скупчень, знаходиться на міжзернових границях переважно мікроклінів, рідше мікроклін-кварц, а також як вclusions у мікрокліні. Плагіоклаз у загальній масі ксеноморфної, зрідка таблитчас-

тої форми, у включеннях в мікрокліні таблитчастої, видовжено-таблитчастої та округлої форми. Багато зерен мають тонкі двійники. Нерідко зерна мірмекітизовані, помітно серицитизовані. По плагіоклазах, включених в мікрокліні та рідше у загальній масі, на периферії розвивається альбіт, інколи заміщується мікрокліном.

*Біотит* має вигляд ідіоморфних та субідіоморфних лусок, розміром 0,1—1,0 мм, деякі луски до 2,2 мм. Вони мають вигляд поодиноких зерен або дрібних скупчень. Забарвлений біотит у буро-коричневі кольори з чітким плеохроїзмом: *Ng* — темно-коричневий, буро-коричневий, зі слабо-червонуватим відтінком, майже чорний; *Np* — коричневий, світло-коричневий. Містить дрібні включення апатиту, кварцу та циркону, інколи приурочений до нього сфен. Деякі луски слабо мусковітизовані. Подекуди мусковіт утворює повні псевдоморфози по біотиту, водночас уздовж спайності є дрібні зернятка оксидів заліза.

*Гранат* представлений округлими, ксеноморфними та ідіоморфними зернами розміром 0,4—1,2 мм, знаходяться на границі мікроклін — кварц.

*Циркон* дуже дрібний, коричневого, темно-коричневого забарвлення, призматичної та округлої форми. Міститься у включеннях в мікрокліні, на границі кварц-мікроклін.

*Монацит* — світло-жовтий водяно-прозорий, значна частина зерен (орієнтовно 50 %) покриті гідроксидами заліза бурувато-жовті,

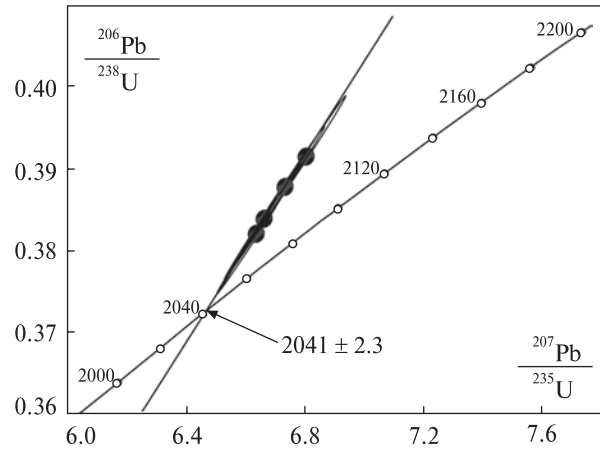


Рис. 3. U-Pb діаграма з конкордією для монацитів із дрібнозернистого граніту, р. Боковенька, пр. 12/15

Fig. 3. U-Pb plot with concordia for monazite from uneven grained granite, Bokovenka river, smp. 12/15

прозорі, напівпрозорі. Кристали зазвичай дископодібні, менше поширені пампушкоподібні, з заокругленими контурами. Поверхня світло-жовтих водяно-прозорих кристалів гладенька блискуча, в озалізненних — шагренева. Озалізнення зазвичай проявлено нерівномірно, досить часто частина зерна світло-жовта прозора, інша — бурувато-жовта практично не прозора.

Здебільшого в огранені кристалів є деякі грані, серед яких найчастіше трапляються грані пінакоїда (дископодібні), водночас ребра дещо заокруглені, що зумовлює заокруглені контури кристалів загалом.

Таблиця 3. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із нерівномірнозернистого граніту, р. Боковенька, пр. 12/15

Table 3. Content U, Pb and Pb isotope compositions in monazite from uneven grained granite, Bokovenka river, smp. 12/15

| Фракція мінералу | Вміст, ppm |      | Ізотопні відношення                 |                                     |                                     |                                      |                                      | Вік, млн pp.                         |                                      |   | D, % |
|------------------|------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|------|
|                  | U          | Pb   | $\frac{206\text{Pb}}{204\text{Pb}}$ | $\frac{206\text{Pb}}{207\text{Pb}}$ | $\frac{206\text{Pb}}{208\text{Pb}}$ | $\frac{206\text{Pb}_r}{238\text{U}}$ | $\frac{207\text{Pb}_r}{235\text{U}}$ | $\frac{206\text{Pb}_r}{238\text{U}}$ | $\frac{207\text{Pb}_r}{235\text{U}}$ | $\frac{207\text{Pb}_r}{206\text{Pb}_r}$ |      |
| 1a               | 3363       | 8732 | 8930                                | 7,8653                              | 0,15231                             | 0,38825                              | 6,7334                               | 2115                                 | 2077                                 | 2039,9                                  | -3,7 |
| 1б               | 3431       | 8962 | 12240                               | 7,8808                              | 0,14840                             | 0,38222                              | 6,6368                               | 2087                                 | 2064                                 | 2042,0                                  | -2,2 |
| 2a               | 2856       | 7748 | 9230                                | 7,8722                              | 0,14573                             | 0,39062                              | 6,7712                               | 2126                                 | 2082                                 | 2039,0                                  | -4,3 |
| 2б               | 3378       | 8690 | 18050                               | 7,9058                              | 0,15327                             | 0,38719                              | 6,7203                               | 2110                                 | 2075                                 | 2041,2                                  | -3,4 |
| 3                | 3274       | 8699 | 20920                               | 7,9076                              | 0,14578                             | 0,38308                              | 6,6528                               | 2091                                 | 2066                                 | 2042,2                                  | -2,4 |

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом (1975) на вік 2040 млн pp.: 1, a, б — розмірні фракції великих (>0,1 мм) світло-жовтих прозорих кристалів; 2, a, б — розмірні фракції світло-жовтих прозорих кристалів (0,1—0,04 мм); 3 — дрібні (<0,04 мм) світло-жовті водяно-прозорі кристали.

Note. The common lead was corrected according to Stacey and Kramers (1975) for the age 2040 Ma.: 1, a, б — size fractions of large (>0.1 mm) light yellow transparent crystals; 2, a, б — dimensional fractions of light yellow transparent crystals (0.1—0.04 mm); 3 — small (<0.04 mm) light yellow water-transparent crystals.

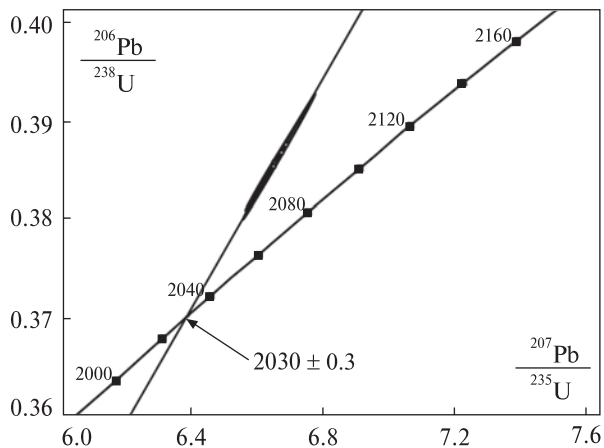


Рис. 4. U-Pb діаграма з конкордією для монацитів із апліто-пегматоїдного граніту, р. Боковенька, пр. 14/15. Вік монациту  $2030 \pm 0,3$  млн рр.

Fig. 4. U-Pb plot with concordia for monazite from aplite-pegmatoid granite, Bokovenka river, samp. 14/15. Age of monazite  $2030 \pm 0.3$  million years

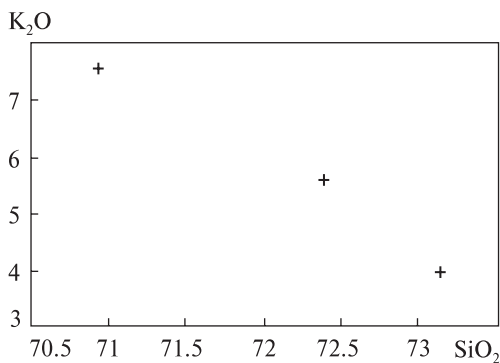


Рис. 5. Діаграма  $\text{SiO}_2\text{—K}_2\text{O}$  для гранітів середньої течії р. Боковенька

Fig. 5. Diagram of  $\text{SiO}_2\text{—K}_2\text{O}$  for granites of the middle course of the Bokovenka river

Вік визначали за мультизерновими навантаженнями двох розмірних фракцій більших ( $>0,1$  мм) світло-жовтих прозорих кристалів, двох розмірних фракцій середніх ( $0,1\text{—}0,04$  мм) світло-жовтих прозорих кристалів та однією фракцією дрібних ( $<0,04$  мм) світло-жовтих водянопрозорих кристалів. Розмірні фракції отримували скочуванням похилою площиною. Результати визначення вмісту урану, свинцю та ізотопного складу свинцю наведено в табл. 3.

Вік монациту за верхнім перетином конкордії лінією регресії, розрахованої за даними, наведеними в табл. 3, становить  $2046 \pm 4,6$  та  $-366 \pm 377$  млн рр., за нижнім, СКЗВ = 0,16. Середнє зважене значення віку за ізотопним відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  —  $2041 \pm 2,3$  млн рр. (рис. 3), яке ми, завдяки незначній дискор-

дантності (від  $-2,2$  до  $-4,3$  %, табл. 3), приймаємо за вік монациту та граніту, що його вміщує.

**Граніт апліто-пегматоїдний (пр. 14/15)** має світло-рожеве забарвлення. Порода масивна з елементами гнейсоподібної текстури, обумовленої орієнтованими в одному напрямку видовженими зернами кварцу (рис. 1, с).

Структура породи неоднорідна, обумовлена більшими табличками мікрокліну, розміром до 3—4 мм, які подекуди утворюють скупчення та виповнюють до 60 % об'єму породи. Між зернами мікрокліну розміщені дрібніші зерна кварцу, плагіоклазу та біотиту, розмір зерен яких сягає лише 1,0—1,5 мм. Здебільшого зерна польових шпатів не проявляють ідіоморфних обрисів, однак кварц, переважно включений в мікроклін, часто має вигляд чітких шестигранників. Хімічний склад апліто-пегматоїдного граніту наведено в табл. 1.

Мінеральний склад, %: головні — мікроклін — 40—45, плагіоклаз — 25—30, кварц — 20—25; біотит — 3—4, гранат — 2—3; акцесорні — апатит, монацит, циркон; вторинні хлорит, мусковіт по біотиту, серицит по плагіоклазу.

**Мікроклін**, нечіткогранчастий, вірогідно через тектонічну дислокацію, сильно пелітизований, подекуди на контакті з плагіоклазом є мірмекіти. В мікрокліні є недосконалі стрічкоподібні пертити. У зернах є включення округлого, рідше табличчастого плагіоклазу, округлі та ідіоморфні (шестигранники) включення кварцу, монациту.

**Кварц** найчастіше має округлу, лінзоподібну, зрідка ксеноморфну та ідіоморфну (у вигляді шестигранників) форму, розміром до 5 мм. Зерна рівномірно розміщені у загальній масі, а також знаходяться у включеннях у мікрокліні, де вони найкраще проявляють ідіоморфні обриси. Зерна мають слабо хвилясте, інколи блочно-хвилясте згасання.

**Плагіоклаз** має вигляд дрібних зерен, розміром від 0,1—0,5 до 1 мм, знаходиться на міжзернових границях, а також як включення у мікрокліні. Плагіоклаз найчастіше має табличчасту зрідка ксеноморфну форму. Зерна зазвичай мають тонкі двійники. Нерідко зерна мірмекітизовані, помітно серицитизовані.

**Біотит** утворює ідіоморфні та субідіоморфні луски розміром 0,1—0,5 до 3 мм. Вони мають вигляд поодиноких зерен або дрібних скупчень. Забарвлений біотит у буро-коричневій кольорі з плеохроїзмом: Ng — темно-коричневий,

Таблиця 4. Вміст урану, свинцю та ізотопний склад свинцю в монацитах із апліто-пегматоїдного граніту, р. Боковенька, пр. 14/15

Table 4. Content U, Pb and Pb isotope compositions in monazite from aplite-pegmatoid granite, Bokovenka river, smp. 14/15

| Фракція мінералу | Вміст, ppm |      | Ізотопні співвідношення                   |   |   |  |  | Вік, млн рр.                               |  |   | Дискордантність, % |
|------------------|------------|------|---|---|---|--|--|--|--|---|--------------------|
|                  | U          | Pb   | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{207}\text{Pb}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{208}\text{Pb}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}_r}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}_r}{^{206}\text{Pb}_r}$ |                    |
| Св-Ж, В-проз     | 2037       | 5649 | 32360                                     | 7,9777                                    | 0,13989                                   | 0,38608                                    | 6,6576                                     | 2105                                       | 2067                                       | 2029,7  | -3,7               |
| 1. Св-Ж, проз    | 1728       | 5953 | 29410                                     | 7,9732                                    | 0,10927                                   | 0,38593                                    | 6,6566                                     | 2104                                       | 2067                                       | 2030,1  | -3,6               |
| 2. Св-Ж, проз    | 1537       | 5239 | 30310                                     | 7,9758                                    | 0,11108                                   | 0,38746                                    | 6,6813                                     | 2111                                       | 2070                                       | 2029,7  | -4,0               |
| 3. Св-Ж, проз    | 1630       | 5663 | 29670                                     | 7,9726                                    | 0,10902                                   | 0,38845                                    | 6,7007                                     | 2116                                       | 2073                                       | 2030,3  | -4,2               |

Примітка. Поправка на звичайний свинець уведена за Стейсі та Крамерсом (1975) на вік 2030 млн рр.: Св-Ж — світло-жовті, В-проз — водяно-прозорі, проз — прозорі.

Note. The common lead was corrected according to Stacey and Kramers (1975) for the age 2040 Ma: Св-Ж — light yellow, В-проз — water-transparent, проз — transparent.

до майже чорного; *Np* — коричневий, світло-коричневий. Містить дрібні вclusions апатиту, монациту.

Монацит утворює світло-жовті водяно-прозорі, відносно дрібні (<0,04 мм) ізометричні та пампушкоподібні кристали (~10 %) з заокругленими контурами. Поширенішими (~60 %) є більші (<0,05 мм) світло-жовті та жовті прозорі та напівпрозорі ізометричні, пампушкоподібні та сильно сплюснені дископодібні кристали з заокругленими контурами. Досить часто (~30 %) трапляються прозорі кристали жовтого кольору з добре розвиненим ограненням (зазвичай більші 0,05 мм). В таких кристалах окрім пінакоїда є деякі інші грані і навіть досить виразні ребра. Поверхня здебільшого у кристалах монациту рівна блискуча, в напівпрозорих шагренева, що мабуть, і обумовлює їх низьку прозорість. В шліфах монацит міститься у вclusions в мікрокліні, зрідка в біотиті та плагіоклазі, інколи на міжзернових границях.

Вік монациту визначали за трьома мультизерновими наважками розмірних фракцій світло-жовтих прозорих кристалів, отриманих скочуванням кристалів похилою площиною та однією мультизерною наважкою світло-жовтих водяно-прозорих кристалів. Результати датування наведено в табл. 4. Вік монацитів, за верхнім перетином конкордії дискордією, становить  $2022 \pm 26$  та  $328 \pm 704$  млн рр. — за нижнім СКЗВ = 0,35. Зважаючи на незначну розтяжку фігуративних точок свинець-уранових ізотопних відношень на діаграмі з конкордією та порівняно невелику дискордантність (від -3,6 до 4,2 %, див. табл. 4), за вік

монациту, а отже, і за час становлення граніту, приймаємо середнє зважене значення віку за ізотопним відношенням  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , що дорівнює  $2030,0 \pm 0,3$  млн рр. (рис. 4).

Отже, для двох із трьох різновидів гранітів, поширених в скельних виходах правого борту р. Боковенька, отримано практично однаковий вік, в межах похибки. Вік для двох перших, більших відмін (проби 13/15 та 12/15) становить  $2043,2 \pm 2,6$  млн рр. та  $2041 \pm 2,3$  млн рр. відповідно. Значимо менший вік мають монацити із жили апліто-пегматоїдного граніту (пр. 14/15) —  $2030 \pm 0,3$  млн рр.

Окрім зменшення розміру польових шпатів досліджених гранітів (13/15, 12/15 і 14/15) (див. рис. 1) та значимого відставання в часі формування останнього, спостерігається поступове незначне зменшення кількості  $\text{SiO}_2$  за досить суттєвого зростання  $\text{K}_2\text{O}$  (див. табл. 1 та рис. 5), коефіцієнт зворотної кореляції становить 0,98 та істотне зниження вмісту  $\text{CaO}$  від 2,04 до 0,97 %, на незначному зниженні вмісту  $\text{MgO}$  від 1,14 до 0,82 % (див. табл. 1), що найвірогідніше є наслідком кристалізаційної диференціації гранітного розплаву.

Пластоподібна форма тіла нерівномірностерного граніту (пр. 12/15) та чітка жильна форма залягання апліто-пегматоїдного граніту (пр. 14/15) надають змогу припустити, що їх родоначальна магма виповнила розривні порушення, викликані крихкими деформаціями.

**Висновки.** 1. Формування двопольовошпатових гранітів, поширених в середній течії р. Боковенька, північніше с. Новоолександрівка, тривало орієнтовно 10 млн рр. у віковому інтервалі 2,04—2,03 млрд рр. тому.

2. Кристалізація гранітного розплаву переривалася двома етапами тектонічних деформацій. Розривні порушення першого етапу деформації залічені нерівномірно зернистим гранітом (пр. 12/15), другого — жилами аплітопегматоїдних гранітів (наприклад, пр. 14/15),

хімічний склад яких зумовлений кристалізаційною диференціацією вихідного гранітного розплаву.

*Роботу виконано в рамках відомчої теми "Апліто-пегматоїдні граніти Українського щита: геохімія, геохронологія, рудоносність".*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бартницкий Е.Н., Бибикина Е.В., Верхогляд В.М., Легкова Г.В., Скобелев В.М., Терец Г.Я. ИГМП-1. Международный стандарт циркона для уран-свинцовых изотопных исследований. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 164—167.
2. Державна геологічна карта України. Аркуш М-36-XXXIII (Кіровоград). Центральноукраїнська серія. 1 : 200 000. Київ, 2007. 102 с.
3. Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н., Верхогляд В.М., Комаристый А.А., Лесная И.М., Мищевич Н.Ю., Пономаренко А.Н., Скобелев В.М., Щербак Д.Н. Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1989. 144 с.
4. Krough T.E. A law contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochim. et cosmochim. acta*. 1973. **37**, № 3. P. 485—494.
5. Ludwig K.R. Pb Dat for MS-DOS, version 1.06. U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 1989. **542**, No 88. P. 40.
6. Ludwig K.R. ISOPLOT for MS-DOS, version 2.0. U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 1990. **557**, No 88. P. 38.

Надійшла 22.02.2021

#### REFERENCES

1. Bartnitskiy, E.N., Bibikova, E.V., Verhoglyad, V.M., Legkova, G.V., Skobelev, V.M. and Terets, G.Ya. (1995), *Geokhimiya i rudoobrazovanie*, No. 21, Kyiv, UA, pp. 164-167 [in Russian].
2. (2007) State geological map of Ukraine. Scale 1 : 200 000. Sheet M-36-XXXIII (Kirovograd). State geol. survey, Kyiv, UA, 102 c. [in Ukrainian].
3. Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Bartnitskiy, E.N., Verkhoglyad, V.M., Komaristyi, A.A., Lesnaia, I.M., Mitskevich, N.Yu., Ponomarenko, A.N., Skobelev, V.M. and Shcherbak, D.N. (1989), *Geochronological Scale of Precambrian of Ukrainian Shield*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 144 p. [in Russian].
4. Krough, T.E. (1973), *Geochim. et Cosmochim. Acta*, Vol. 37, No. 3, pp. 485-494.
5. Ludwig, K.R. (1989), *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.*, Vol. 542, No. 88, p. 40.
6. Ludwig, K.R. (1990), *U.S. Geol. Surv. Open-File Rept.*, Vol. 557, No. 88, p. 38.

Received 22.02.2021



*L.M. Stepanyuk*, DrSc (Geology), Corresponding  
Member of NAS of Ukraine, Prof., Deputy Director M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,  
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua; <https://orcid.org/0000-0001-5591-5169>

*S.I. Kurylo*, Science Researcher, Earth Science Institute, Slovak Academy of Sciences  
974 01, Banska Bystrica, Slovakia, Ďumbierska, 1  
E-mail: kurylo.sergiy@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4466-6851>

*O.V. Kovtun*, Junior Researcher, Leading Geologist Engineer  
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy  
and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
Ukrainian State Geological Research Institute (UkrSGRI)  
78A, Avtozavodska Str., Kyiv, Ukraine, 04114  
E-mail: kovtun85@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-0475-8778>

*T.I. Dovbush*, Researcher Fellow  
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
E-mail: tetyana.dovbush1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3512-3313>

*O.B. Vysotsky*, Research Fellow  
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142  
E-mail: alek.vysotsky@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-3542-4685>

#### URANIUM-LEAD GEOCHRONOLOGY OF TWO-FELDSPAR GRANITES OF THE INHUL MEGABLOCK (UKRAINIAN SHIELD) BY MONAZITE

In the area of the Novooleksandrivka village, the valley of the Bokovenka river crosses a powerful strip of metamorphic rocks of the Inhulo-Inhulets series with numerous small granitoid bodies of the Kirovohrad complex. In the right bank of the river valley north of Novooleksandrivka there are almost continuous rock outcrops of porphyry-like, mostly coarse-grained garnet-biotite granites, which are cut by veins of aplite-pegmatoid and pegmatoid granites. Uranium-lead isotope systems of accessory monazites from porphyry-like granite, layered body of uneven-grained granite and from veined body of aplite-pegmatoid granite have been studied. The age of the first two, more coarse-grained granite varieties, is  $2043.2 \pm 2.6$  and  $2041 \pm 2.3$  million years, respectively. Significantly younger are the monocytes from the vein of aplite-pegmatoid granite —  $2030 \pm 0.3$  million years. In granites in this sequence, in addition to structural and textural characteristics (in general, decrease in grain size), there is a decrease in the amount of  $\text{SiO}_2$  (from 73.14 to 70.93%) connected with a significant increase in  $\text{K}_2\text{O}$  (from 3.96 to 7.58%), (their inverse correlation coefficient is 0.98), a significant decrease in the CaO content from 2.04 to 0.97%, and a slight decrease in the MgO content from 1.14% to 0.82%. These changes are probably caused by the crystallizational differentiation of the original granite melt.

*Keywords:* uranium-lead geochronology, monazite, two-feldspar granites, Ukrainian Shield.