

ВІК ЦИРКОНУ З МЕТАРІОДАЦИТІВ ОЛЕКСАНДРІВСЬКОЇ СВІТИ МИХАЙЛІВСЬКОЇ СЕРІЇ (МЕГАБЛОК КМА)

Г.В. Артеменко¹

E-mail: regulgeo@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-4528-6853

Л.В. Шумлянський^{1,2}

E-mail: leonid.shumlyanskyu@curtin.edu.au; https://orcid.org/0000-0002-6775-4419

А.Ю. Беккер³

E-mail: andreymb@ucr.edu; https://orcid.org/0000-0002-1154-0585

А. Хоффман³

E-mail: andreymb@ucr.edu, hoffman@ucr.edu; https://orcid.org/0000-0002-5607-3845

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34

² Кертінський університет, Школа наук про Землю та планети
GPO Box U1987, м. Перт, Австралія, WA 6845

³ Department of Earth and Planetary Sciences, University of California, Riverside, CA 92521 USA

LA-ICP-MS U-Pb методом визначено палеоархейський (3264 ± 7 млн років) вік циркону з метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії з її розрізу у південно-східній частині Тім-Ястребовської структури Курської магнітної аномалії (КМА). За геохімічними даними, вони виплавилися, ймовірно, в коровому магматичному джерелі з давніших сіалічних порід. Ці метаріодацити близькі за складом до кислих магматичних порід типу А, які утворюються в умовах континентальних рифтів і гарячих точок. Ріодацити олександрівської світи утворились, ймовірно, під впливом плюму на тоналітовий фундамент, на початковому етапі формування зеленокам'яних поясів мегаблоку КМА. Особливостями їхнього складу є підвищений вміст калію до 6,20 %, висока залізистість X_{Fe} до 0,67, низький вміст Sr, підвищений вміст високозарядних і рідкісноземельних елементів (РЗЕ). Вони збагачені легкими РЗЕ, а важкі РЗЕ слабо диференційовані. Вирізняється глибока негативна європієва аномалія ($Eu/Eu^* = 0,5$). На відміну від них, пізніші мезоархейські (3,12 млрд років) кислі метавулканіти дічнянської світи зеленокам'яних структур КМА, подібні за складом до ТТГ, утворились за часткового плавлення метабазитів.

Ключові слова: мегаблок Курської магнітної аномалії, зеленокам'яні пояси, михайлівська серія, метаріодацит, циркон, U-Pb ізотопний вік, Тім-Ястребовська структура.

Вступ. Курський граніт-зеленокам'яний блок (Курська магнітна аномалія, далі (КМА)) розташований у південно-західній частині Воронізького кристалічного масиву. Він складений плагіогнейсами, мігматитами та різними за складом гранулітами обо-янського комплексу, зеленокам'яними поясами та великими масивами ТТГ салтиковського комплексу архейського віку [3–5].

У західній частині мегаблоку виділяються слабо деформовані Суджанський і Сторожевсько-Борисівський зеленокам'яні пояси. У центральній і східній частинах КМА зеленокам'яні структури розбурені у бортових частинах Михайлівсько-Білгородської та Орловсько-Тімської палеопротерозойських синкліорних зон. Осадово-вулканогенні породи, що складають зеленокам'яні

пояси КМА, віднесені до михайлівської серії, в якій виділяють дві світи: нижню — олександрівську, і верхню — дичнянську [5]. Через слабку розбуреність зеленокам'яні пояси КМА вивчені фрагментарно, а геохронологічно — дуже слабо.

Геохронологічні дослідження за цирконом кислих вулканітів лебединської серії та дичнянської і олександрівської світ михайлівської серії вперше виконано протягом 1992—1995 рр. в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка (ІГМР) НАН України в рамках договірної роботи з Курською ГРЕ. Ці геохронологічні дослідження виконано за мультизерновими наважками циркону методом *TIMS*. За цирконом із метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії було отримано ізохрону з ненульовим нижнім перетином, верхній перетин якої з конкордією відповідає віку 3265 ± 50 млн років [1]. Тому це датування не є реперним. Для визначення історії формування цього циркону ми здійснили нове геохронологічне дослідження методом *LA-ICP-MS*.

Мета досліджень. Визначити геохімічні особливості, генезис, *LA-ICP-MS* U-Pb вік за цирконом і вірогідні геодинамічні умови утворення метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії мегаблоку КМА.

Методика досліджень. Циркон виділений із проби масою 10 кг за стандартною методикою в лабораторії збагачення ІГМР НАН України. Вивчення морфології циркону виконано в прохідному і відбитому світлі. Внутрішню будову циркону досліджено методом катодолюмінесценції. Циркони поміщали в епоксидну шайбу і приполіровували до розкриття внутрішніх ділянок. Далі проаналізовано ізотопний склад U, Th та Pb методом *LA-ICP-MS* у лабораторії Каліфорнійського університету, Санта Барбара. Вимірювання виконано на приладі *Nu Plasma HR MC-ICP-MS* з використанням системи лазерної абляції *Photon Machines Excite 193 excimer ArF*. Абляція виконана протягом 15 хв. з частотою лазерних імпульсів 4 Гц і енергією імпульсів ~ 1 Дж/см². Глибина одержаних кратерів становила ~ 5 мкм, а розміри кратера — 15 мкм. Вимірювання зразків виконано після холостих фонових вимірювань тривалістю 15 с. Отримані результати коригували за допо-

могою стандартного циркону 91500 (вік 1062 млн років [14], який аналізували після кожних 10 вимірювань досліджуваних цирконів. Точність вимірювань була кращою за 2 % для відношення $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Усі похибки вимірювань наведено лише на рівні 2σ . Аналізи хімічного складу проб силікатних гірських порід виконали методом мокрої хімії у лабораторії ІГМР НАН України. Вміст рідкісних елементів визначено методом індукційно-зв'язаної плазми з маспектрометричним закінченням аналізу (*ICP-MS*) в аналітичному сертифікаційному випробувальному центрі Інституту проблем технології мікроелектроніки та особливо чистих матеріалів (АСІЦ ІПТМ) РАН. Розкладання зразків порід здійснено шляхом кислотного розчинення в закритій системі (2010).

Геологічна вивченість михайлівської серії КМА. За даними Ю.Б. Богданова та ін.¹, олександрівська світа михайлівської серії має тричленну будову. У її розрізі виділяються три товщі (знизу вгору): теригенно-базальтова, коматітова та туфогенна, причому розрізняються Білгородський та Тім-Ястребовський типи розрізів.

У Білгородському районі олександрівська світа вивчена на Берегівській та Смородинській ділянках, де вона знаходиться нижче палеопротерозойських супракрустальних порід, що виповнюють Білгородську грабен-синкліналь [3], (Богданов, 1991). У Берегівській монокліналі ця світа складена перидотитовими, піроксенітовими та базальтовими коматітами, метаандезитами та метаріодацитами, а на Смородинській ділянці (південно-західний борт Яковлівської синкліналі) — монотонними амфіболітами. У цьому районі олександрівська світа розділена на три товщі — нижню теригенно-базальтову, середню — коматітову та верхню — туфогенну. Туфогенна товща складає вулканічні будівлі центрального типу, або виповнює мультіподібні западини. Туфогенна товща віднесена до дичнянської світи [5]. У Білгородському типі розрізу, розкритому св. 4009, 4001 та 4011 на Смородинській ділянці, кис-

¹ Богданов Ю.Б., Петров Б.В. Супруненко Э.И. и др. Составление архейских образований КМА, Украинского и восточной части Балтийского щитов с целью последующей оценки перспектив металлоносности архейской КМА: отчет ВСЕГЕИ. СПб., 1991.

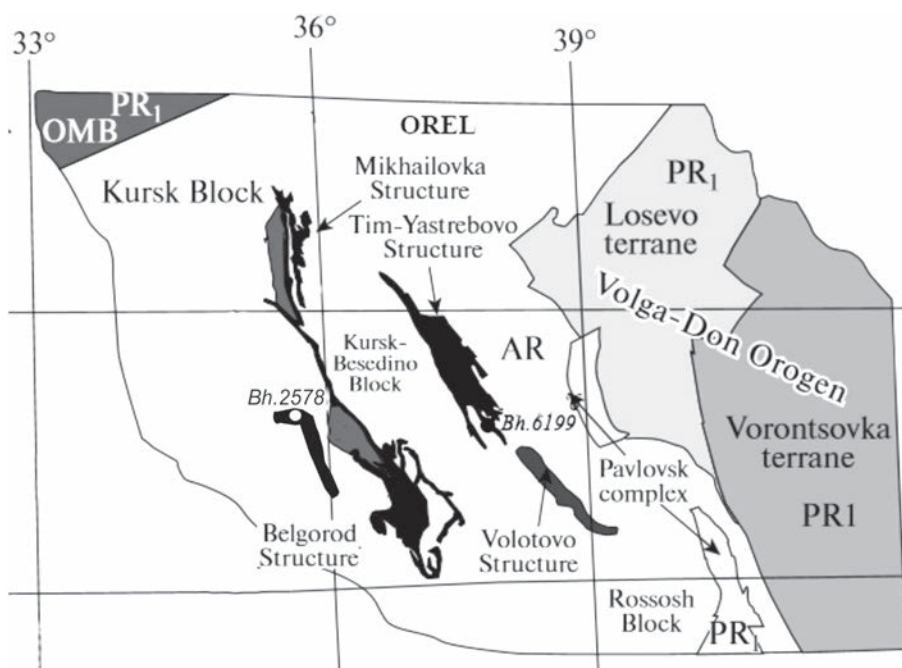


Рис. 1. Схематична геолого-структурна карта Воронежського кристалічного масиву з місцями свердловин, із яких відібрані проби, за [8] зі змінами

Таблиця 1. Силікатний хімічний склад метаморфізованих кислих метавулканітів олександрівської світи михайлівської серії (Тім-Яструбівська структура КМА)

Оксид, %	1/ 92-92	2/ 91-121	3/ 91-123	4/ 91-120	5/ 91-122	6/ 91-117	7/ 92-614
SiO ₂	70,81	76,80	71,03	73,06	75,74	71,40	66,84
TiO ₂	0,40	0,21	0,40	0,43	0,22	0,37	0,30
Al ₂ O ₃	13,63	11,29	12,41	12,35	12,24	12,87	14,83
Fe ₂ O ₃	1,54	1,00	>0,10	0,38	0,67	0,51	LoD
FeO	2,57	1,22	3,17	1,94	1,51	2,30	2,66
MnO	0,06	0,04	0,11	0,04	0,05	0,04	0,04
MgO	1,42	1,81	1,38	1,61	1,51	2,02	0,97
CaO	1,56	1,68	1,42	1,98	2,22	1,45	5,94
Na ₂ O	2,00	1,64	3,20	1,82	1,55	1,04	2,88
K ₂ O	5,20	2,52	5,72	4,45	2,57	6,20	0,72
S _{tot.}	—	LoD	>0,002	LoD	LoD	LoD	0,04
P ₂ O ₅	0,16	0,03	0,09	0,09	0,06	LoD	0,16
CO ₂	—	0,38	—	0,55	0,48	0,52	—
H ₂ O-	0,13	0,15	0,01	0,15	LoD	0,03	0,11
LOI	0,83	1,09	1,42	0,69	0,82	0,77	4,14
Total	100,31	99,86	100,36	99,54	99,64	99,52	99,63
Na ₂ O/K ₂ O	0,39	0,65	0,56	0,41	0,60	0,17	4,0
X _{Fe}	0,61	0,39	0,57	0,44	0,44	0,44	0,61

Примітки: Тім-Яструбівська структура, Олександрівська ділянка: 1 — метаріодацит, св. 6199, інт. 187—190 м (пр. 92-92); 2 — метаріоліт, св. 6199, інт. 440—445 м (пр. 91-121); 3 — метаріодацит, св. 6199, інт. 410—416 м (пр. 91-123); 4 — те саме, св. 6199, інт. 432—440 м (пр. 91-120); 5 — те саме, св. 6199, інт. 445—448 м (пр. 91-122); 6 — те саме, св. 6199, інт. 416-420 м (пр. 91-117); 7 — метадацит, Рокитнянська зеленокам'яна структура, св. 2578, інт. 557—565 м [2]. Аналізи виконані у хімічній лабораторії ІГМР НАН України. X_{Fe} = FeO / (FeO + MgO) (молярне відношення).

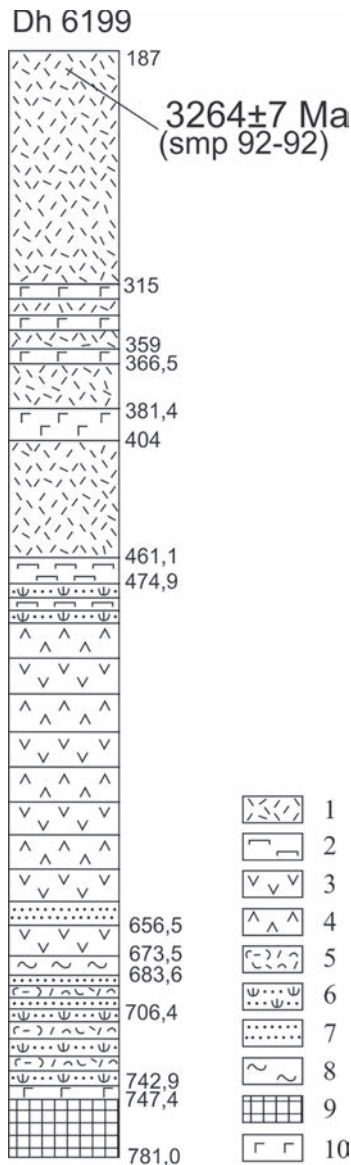


Рис. 2. Схематична геологічна колонка свердловини 6199: 1 — метаріодацити; 2 — метаморфізовані піроксенітові коматіїти; 3 — метаморфізовані толейтові базальти; 4 — метаморфізовані коматіїтові базальти; 5 — метатуфи; 6 — метатуфопісковики; 7 — метапісковики; 8 — хлорит-актинолітові сланці; 9 — залістисті кварцити; 10 — дайки габро

лі метавулканіти поширені дуже обмежено та геохронологічно не вивчені.

Інший тип розрізу розбурений у борту південно-східної частини Тім-Ястребовської палеопротерозойської сінформи (Богданов, 1991). Для цього типу розрізу характерна присутність вулканітів кислого складу. Осадково-вулканогенні породи олександрівської світи михайлівської серії розкриті профілем свердловин, розташованим на захід від Лебединського кар'єру. На цій ділянці олек-

сандрівська світа поділяється на три товщі: нижню базальтову (450 м), коматіїтову (30—100 м) та метаріодацитову (до 200 м). У св. 6199, яка перетинає коматіїтову товщу, спостерігається чергування в розрізі метаморфізованих мікроклінових кератофірів і плагіопорфірів з коматіїтами, туфами, кварцито-пісковиками та дайками габро (Богданов, 1991), (рис. 1, а, б).

На відкладах олександрівської світи михайлівської серії залягає з стратиграфічним неузгодженням лебединська серія. Вона складена грубозернистими метапісковиками, що іноді містять великі гравійні зерна блакитного кварцу, зрідка з уламками порфірових вкрапленників мікрокліну. У верхніх частинах розрізу товщі є два покрити кварцових метапорфірів, в яких порфірові виділення представлені лише вкрапленниками блакитного кварцу. Максимальна потужність товщі досягає 250 м. U-Pb ізотопний вік кварцових метапорфірів становить 2,6 млрд років [7].

Петрографічна характеристика метаріодацитів. Метаріодацити мають бластопорфірову структуру з лепідогранобластовою структурою основної маси. Вкрапленники представлені фенокристалами олігоклазу, кварцу та мікрокліну (рис. 2, а, б), які складають 6—8 % загального об'єму породи. Порфірові різновиди метаріодацитів чергуються з афіровими. Афірові різновиди мають склад і структуру основної тканини порфірових ріодацитів. Їхній мінеральний склад, %: кварц та олігоклаз 80, мікроклін 8—10, мікроклін та біотит 8—10, мусковіт 1—4, карбонат 0—3, епідот 0—1, апатит — частки відсотка, гідрослюди, титаніт та магнетит у поодиноких зернах. Деяка смугастість, що спостерігається в них, може свідчити про початкову флюїдальність.

Геохімічна характеристика. За хімічним складом досліджувані кислі метавулканіти відповідають ріодацитам нормального ряду калієвої і калієво-натрієвої серій (табл. 1) [6]. У вивчених зразках вміст кремнезему варіює в межах 70,81—76,80 % (табл. 1). У них підвищений вміст суми лугів ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) — 4,16—7,20 %. Вміст калію складає 2,52—6,20 %; калій переважає над натрієм: $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,17—0,65$. Порода є високозалізистою: X_{Fe} становить 0,39—0,67.

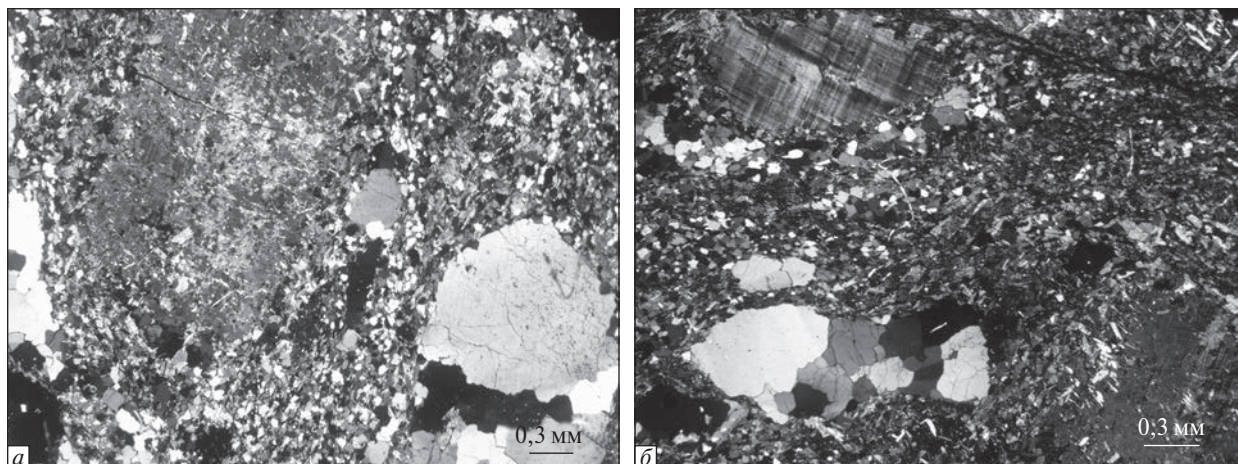


Рис. 3. Мікрофото шліфів метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії, св. 6199: *a* — зр. 92-89, гл. 184 м; *b* — зр. 92-90, гл. 187 м. Фото отримано за допомогою поляризаційного мікроскопа ECLIPSE LV100 POL, один ніколь

У метаріодацитах низький вміст Sr (45,2–81 ppm), і невисокий вміст рубідію — Rb (118–121 ppm), відношення Rb/Sr становить 1,5–2,6 (табл. 2). У них підвищений вміст високозарядних елементів, ppm: Nb 11,7–14,6, Y 33,80–37,20, Ba 1050–1445, Pb 10,2–11,7, Th 17,3–18,2, суми РЗЕ 282,95–299,7 (табл. 2). Рідкісноземельні елементи сильно диференційовані: $(La/Yb)_N$ — 13,7–14,57 за Yb_N — 11,59–15,41 (рис. 4). Вони збагачені легкими РЗЕ (табл. 2). Вирізняється глибока негативна європейська аномалія — $Eu/Eu^* = 0,5$)

Для визначення геологічних умов утворення метаріодацитів використано відпо-

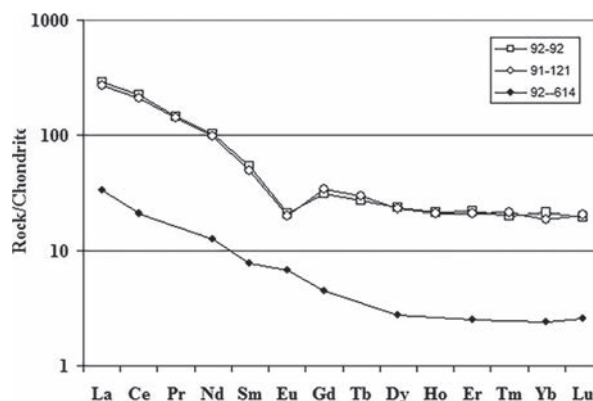


Рис. 4. Графік розподілу РЗЕ для кислих метавулканітів олександрівської (пр. 92-92, 91-121) та дічнянської (пр. 92-614) світи михайлівської серії. Нормовано на склад хондриту C1 [12]

Таблиця 2. Вміст елементів у кислих метавулканітах олександрівської світи михайлівської серії, ppm

Компонент	1/ 92-92	2/ 91-121	3/ 92-614 [2]	Компонент	1/ 92-92	2/ 91-121	3/ 92-614 [2]	Компонент	1/ 92-92	2/ 91-121	3/ 92-614 [2]
Li	12	—	—	Co	6,2	4,42	—	Eu	1,2	1,16	0,3886
Rb	121	118	—	Ni	5,3	14,90	—	Gd	6,4	6,90	0,9169
Sr	81,0	45,20	—	Cu	17,9	—	—	Tb	1,0	1,10	—
Ba	1445	1050	—	Zn	44,0	—	—	Dy	5,9	5,81	0,7066
Nb	14,6	11,70	—	Cs	1,1	—	—	Ho	1,2	1,18	—
Y	37,2	33,80	—	Sc	7,9	—	—	Er	3,6	3,44	0,4121
Zr	314	194	—	Hf	7,3	5,34	—	Tm	0,51	0,55	—
Ga	14,0	—	—	Ta	1,0	0,98	—	Yb	3,6	3,16	0,4073
Ge	—	—	—	W	0,9	—	—	Lu	0,50	0,52	0,0648
Pb	11,7	10,2*	—	La	69,0	64,20	7,787	ΣREE	299,71	282,95	30,58
Th	18,2	17,30	—	Ce	137	129,00	12,8	$(La/Yb)_N$	13,7	14,57	13,7
U	3,3	3,38	—	Pr	13,6	13,30	—	$(La/Sm)_N$	5,4	5,5	4,27
Mo	3,1	-	—	Nd	48,0	45,20	5,918	$(Yb/Gd)_N$	0,68	0,55	0,54
V	42,5	24,90	—	Sm	8,2	7,43	1,177	Eu/Eu*	0,51	0,50	1,14
Cr	5,0	16,40	—								

Таблиця 3. Результати U-Pb ізотопного датування циркону з метаяодитів олександрівської світи Михайлівської серії (проба 92-92)

Номер аналізу	Вміст, ppm		Th/U	Ізотопне відношення										Ізотопний вік, млн рр.						
	U	Th		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2σ
92-92-1	150	131	0,87	24,150	0,879	0,66	0,02	0,99	0,266	0,005	0,187	0,004	3274	10	3275	28	3460	37	3279	3
92-92-2	275	223	0,81	24,340	0,867	0,66	0,02	0,80	0,269	0,005	0,185	0,004	3282	7	3262	15	3435	28	3298	7
92-92-3	147	98	0,66	23,980	0,913	0,67	0,03	0,93	0,259	0,005	0,184	0,004	3267	15	3328	32	3419	38	3239	7
92-92-4	988	470	0,48	18,230	0,764	0,54	0,02	0,99	0,246	0,005	0,162	0,004	3001	22	2784	39	3034	33	3156	10
92-92-5	546	316	0,58	23,420	0,846	0,63	0,02	0,90	0,270	0,006	0,179	0,004	3244	9	3164	20	3327	33	3305	8
92-92-6	238	151	0,63	23,710	0,886	0,65	0,02	0,99	0,267	0,005	0,175	0,004	3256	13	3215	33	3254	42	3285	3
92-92-7	137	75	0,55	24,280	0,883	0,67	0,02	0,92	0,263	0,005	0,181	0,004	3279	10	3307	25	3357	26	3265	8
92-92-8	205	192	0,94	24,120	0,893	0,67	0,02	0,98	0,262	0,005	0,178	0,005	3273	12	3303	32	3312	48	3255	4
92-92-9	614	387	0,63	18,510	0,667	0,54	0,02	0,96	0,247	0,005	0,157	0,004	3019	9	2795	18	2941	38	3167	4
92-92-10	271	234	0,86	23,600	0,875	0,64	0,02	0,97	0,269	0,005	0,174	0,005	3252	12	3171	30	3237	54	3302	4
92-92-11	141	85	0,60	24,170	0,891	0,66	0,03	0,96	0,266	0,006	0,182	0,004	3275	12	3278	41	3376	40	3282	8
92-92-12	98	79	0,81	23,640	0,849	0,67	0,02	0,92	0,257	0,005	0,189	0,004	3255	7	3290	20	3500	38	3229	5
92-92-13	88	60	0,68	24,314	0,857	0,67	0,02	0,74	0,262	0,005	0,182	0,004	3281	4	3314	18	3385	31	3257	6
92-92-14	178	139	0,78	23,170	0,827	0,63	0,02	0,96	0,267	0,005	0,172	0,004	3234	7	3148	20	3208	27	3286	3
92-92-15	66	44	0,66	23,670	0,844	0,66	0,02	0,90	0,260	0,005	0,164	0,004	3255	6	3267	25	3069	29	3243	8
92-92-16	189	176	0,93	24,020	0,889	0,65	0,02	0,97	0,269	0,005	0,174	0,004	3269	12	3215	32	3241	46	3297	5
92-92-17	128	114	0,89	23,290	0,844	0,63	0,02	0,97	0,269	0,005	0,169	0,004	3241	8	3140	20	3155	31	3298	3
92-92-18	485	424	0,87	23,300	0,856	0,63	0,02	0,90	0,268	0,006	0,170	0,004	3242	12	3151	35	3169	36	3293	10
92-92-19	100	57	0,57	22,410	0,833	0,63	0,02	0,98	0,255	0,005	0,191	0,005	3201	12	3165	39	3537	57	3217	7
92-92-20	155	104	0,67	24,120	0,930	0,68	0,03	0,98	0,258	0,005	0,176	0,004	3273	16	3324	42	3279	48	3234	5
92-92-21	369	321	0,87	23,880	0,846	0,64	0,02	0,92	0,269	0,005	0,169	0,004	3263	5	3190	16	3161	20	3302	4

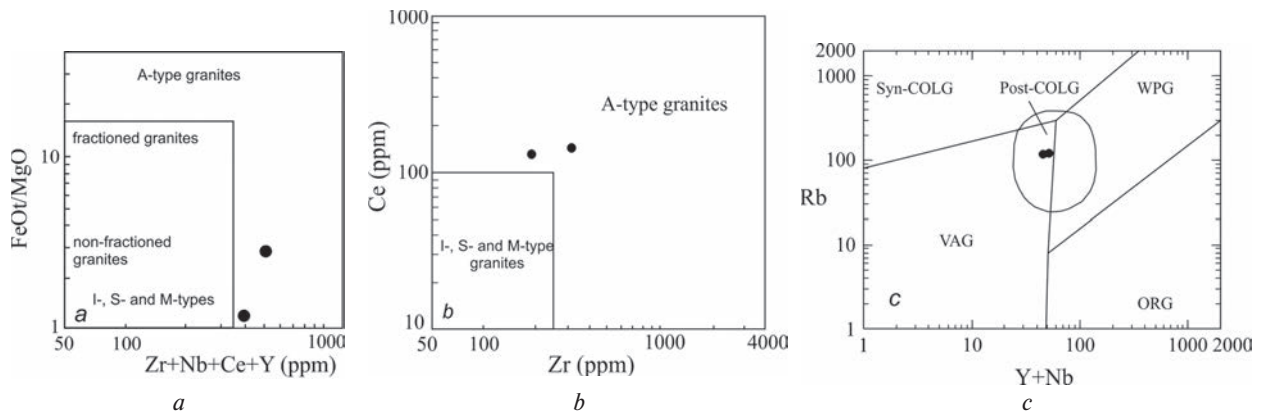


Рис. 5. Дискримінаційні діаграми для метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії: *a* — $\text{FeO}_t/\text{MgO} - (\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y})$ [14]; *b* — $\text{Ce} - \text{Zr}$ [Whalen, 1987]; *c* — $\text{Rb} - (\text{Y} + \text{Nb})$ [13]; Syn-COLG — синколізійні граніти; WPG — внутрішньоплитні граніти; VAG — граніти вулканічних дуг; ORG — граніти океанічних хребтів; post-COLG — постколізійні граніти

відні дискримінаційні діаграми [12, 13]. На діаграмах $\text{FeO}_t/\text{MgO} - (\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y})$ і $\text{Ce} - \text{Zr}$ [13] фігуративні точки метаріодацитів олександрівської світи знаходяться у полях кислих магматичних порід А-типу (рис. 5, *a* і *b*), а на діаграмі $\text{Rb} - (\text{Y} + \text{Nb})$ [12] у полі постколізійних гранітів (рис. 5, *c*).

Мінералогічна характеристика циркону. Циркон представлений зернами від коротко до довгопризматичної форми. Кристали субідоморфні, мають огранку цирконового типу. У частини кристалів поруч із гранню {111} з'являється слабо розвинена грань {311}. Розмір за $L_4 - 0,17-0,47$ мм, коефіцієнт видовження $1,8-3,5$. Колір циркону рожево-коричневий. Вони непрозорі (75 %), рідше прозорі (25 %). Прозорий циркон має скляний блиск, а непрозорий — матовий. Циркон зональний. У ньому виділяються темні, непрозорі включення без певного орієнтування.

Результати геохронологічних досліджень. Було проаналізовано 19 кристалів циркону з метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії (табл. 3). На уран-свинцевій діаграмі з конкордією аналітичні точки знаходяться поблизу перетину ізохрони з конкордією. U-Pb ізохронний вік циркону з метаріодацитів (пр. 92-92) складає 3264 ± 7 млн років ($\text{СКВВ} = 0,68$) (рис. 6).

Обговорення результатів і висновки. U-Pb (LA-ICP-MS) методом визначено палеоархейський (3264 ± 7 млн років) вік циркону з метаріодацитів олександрівської світи з розрізу михайлівської серії в південно-східній частині Тім-Ястребовської структури КМА. За геохімічними даними, ріодацити

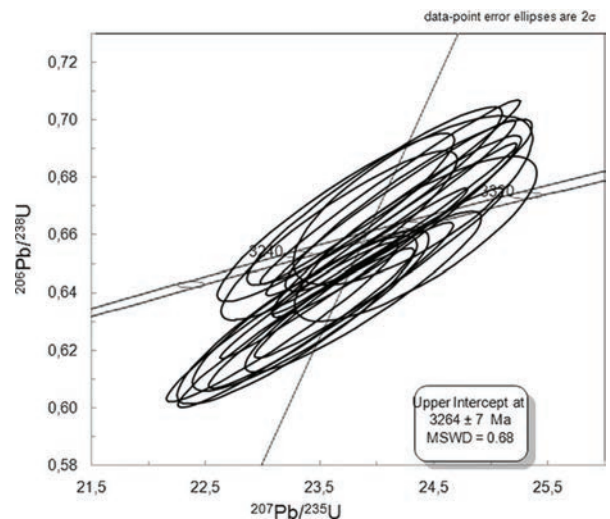


Рис. 6. U-Pb діаграма з конкордією для циркону з метаріодацитів олександрівської світи михайлівської серії (св. 6199, інт. 187–190 м, пр. 92-92)

виплавились, імовірно, у коровому магматичному джерелі з давніших сіалічних порід. Ці метаріодацити подібні за складом до кислих магматичних порід типу А, які утворюються в умовах континентальних рифтів і гарячих точок [8, 13]. Вивчені метаріодацити олександрівської світи утворились, імовірно, під впливом плюму на тоналітовий фундамент на початковому етапі формування зеленокам'яних поясів мегаблоку КМА. Особливостями складу метаріодацитів олександрівської світи є підвищений вміст калію до 6,20 %, висока залізистість — X_{Fe} до 0,67, низький вміст Sr, підвищений вміст високозарядних і рідкісноземельних елементів. Вони збагачені легкими РЗЕ, натомість важкі РЗЕ у них слабо диференційовані. Virizny-

ється глибока негативна європейська аномалія — $Eu/Eu^* = 0,5$.

На відміну від них, пізніші мезоархейські (3,12 млрд років) метадацити дічнлянської світи михайлівської серії [2, 9] є породами натрі-

євого ряду, характеризуються низьким вмістом високозарядних елементів, важких РЗЕ та відсутністю європейської аномалії, що вказує на їх утворення за часткового плавлення метабазитів із гранатовим реститом.

Литература

1. Артеменко Г.В. Геохронологическая корреляция вулканизма и гранитоидного магматизма юго-восточной части Украинского щита и Курской магнитной аномалии. *Геохимия и рудообразование*. 1995. № 21. С. 129—154.
2. Артеменко Г.В. Эволюция кислого магматизма в зеленокаменных поясах Украинского щита и Воронежского кристаллического массива. *Минерал. журн.* 1997. **19**, № 2. С. 52—59.
3. Ахмедов А.М., Ключев Н.К., Наумкин А.Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-37 — Воронеж. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 255 с.
4. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. В.Д. Полищук, Н.И. Голибкин, Ю.С. Зайцев и др. Т. I, кн. I. Докембрий. Москва: Недра, 1970. 439 с.
5. Крестин Е.М., Минкина Н.Б. Стратиграфия зеленокаменных поясов. Курская гранит-зеленокаменная область. Зеленокаменные пояса фундамента Восточно-Европейской платформы (геология и петрология вулканитов). Ленинград: Наука, 1988. С. 26—29.
6. Магматические горные породы: Классификация, номенклатура, петрография. Под ред. О.А. Богатикова, В.И. Гоньшаковой и др. Москва: Наука, 1983. Т. 1, часть 1. 365 с.
7. Савко К.А., Холина Н.В., Холин В.М., Ларионов А.Н. Возраст неархейских ультракалиевых риолитов — важный геохронологический репер эволюции раннедокембрийской коры Воронежского кристаллического массива. *Материалы VI Рос. конф. по изотоп. геохронол.* СПб.: Springer, 2015. С. 247—249.
8. Eby G.N. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*. 1990. **26**. P. 115—134.
9. Savko K.A., Samsonov A.V., Larionov A.N. Mesoarchean Silicic Volcanics in the Kursk Block of the Voronezh Crystalline Massif: Composition, Age, and Correlations with the Ukrainian Shield. *Dokl. Earth Sc.* 2019. **486**. Part 2. P. 719—723. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19060321>
10. Savko K.A., Samsonov A.V., Larionov A.N., Korish E.Kh., Bazikov N.S. An Archaean Tonalite —Trondhjemite — Granodiorite Association of the Kursk Block (Voronezh Massif): Composition, Age, and Correlation with the Ukrainian Shield. *Dokl. Earth Sc.* 2018. **478**, Iss. 1. P. 115—119. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18010269>
11. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basins*. A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds). 1989. P. 313—345. (Geol. Soc. Spec. Publ. No. 42).
12. Pearce J.A., Harris N.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*. 1984. **25**. P. 956—983.
13. Whalen J.B., Chappell B.W., Currie K.L. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Miner. Petrol.* 1987. **95**. P. 407—419.
14. Wiedenbeck M., Alle P., Corfu F., Griffin W.L., Meier M., Oberli F., Von Quadt A., Roddick J.C., Spiegel W. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis. *Geostand. Newslett.* 1995. **19**. P. 1—23.

Надійшла 16.10.2022.

References

1. Artemenko, G.V. (1995). Geochronological correlation of volcanism and granitoid magmatism of the southeastern part of the Ukrainian shield and the Kursk magnetic anomaly, *Geochemistry and ore formation*, No. 21, pp. 129-154 [in Russian].
2. Artemenko, G.V. (1997). Evolution of felsic magmatism in the greenstone belts of the Ukrainian Shield and the Voronezh crystalline massif, *Mineral. Journal (Ukraine)*, **19**, No. 2, pp. 52-59 [in Russian].
3. Akhmedov, A.M., Klyuev, N.K., Naumkin, A.N. (2011). State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Series Central European. Sheet M-37 — Voronezh. Explanatory note. St. Petersburg [in Russian].
4. Polishchuk, V.D. (Ed.). (1970). *Geology, Hydrogeology, and Iron-Ores in Kursk Magnetic Anomaly Basin*, 1. Geology, 1. Precambrian, Moscow, Nedra [in Russian].
5. Krestin, E.M., Minkina, N.B. (1988). Greenstone belts of the basement of the East European Platform (geology and petrology of volcanic rocks), *Stratigraphy of greenstone belts Kursk granite-greenstone region*, Leningrad, pp. 26-29 [in Russian].
6. Bogatikov, O.A. (Ch. ed.). (1983). *Igneous rocks. Classification, nomenclature, petrography*. Vol. 1, Ch. 2, Moscow, Nauka, pp. 366-767 [in Russian].
7. Eby, G.N. (1990). The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis, *Lithos*, **26**, pp. 115-134.
8. Savko K.A., Kholina N.V., Kholin V.M., Larionov A.N. (2015). The age of Neoproterozoic ultrapotassic rhyolites is an important geochronological benchmark for the evolution of the Early Precambrian crust of the Voronezh crystalline massif, *Proceedings of the VI Russian Conference on Isotopic Geochronology*, pp. 247-249 [in Russian].

9. Savko K.A., Samsonov A.V., Larionov A.N. (2019). Mesoarchean Silicic Volcanics in the Kursk Block of the Voronezh Crystalline Massif: Composition, Age, and Correlations with the Ukrainian Shield, *Dokl. Earth Sc.*, **486**, Part 2, pp. 719-723. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19060321>
10. Savko, K.A., Samsonov, A.V., Larionov, A.N., Korish, E. Kh., Bazikov, N.S. (2018). An Archaean Tonalite — Trondhjemite — Granodiorite Association of the Kursk Block (Voronezh Massif): Composition, Age, and Correlation with the Ukrainian Shield, *Dokl. Earth Sc.*, **478**, Iss. 1, pp. 115-119. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18010269>
11. Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in the Ocean Basins, *Geol. Society Special Publ.*, No. 42, pp. 313-345.
12. Pearce, J.A., Harris, N.W., Tindle, A.G. (1984). Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, **25**, pp. 956-983.
13. Whalen, J.B., Chappell, B.W., Currie, K.L. (1987). A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis, *Contrib. Miner. Petrol.*, **95**, pp. 407-419.
14. Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A., Roddick, J.C., Spiegel, W. (1995). Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analysis, *Geostand. Newslett*, **19**, pp. 1-23.

Received 16.10.2022.

G.V. Artemenko¹<https://orcid.org/0000-0002-4528-6853>**L.V. Shumlyansky**^{1,2}<http://orcid.org/0000-0002-6775-4419>**A.Yu. Bekker**³<https://orcid.org/0000-0002-1154-0585>**A. Hoffmann**³<https://orcid.org/0000-0002-5607-3845>¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine 0142, ave. acad. Palladina 34, Kyiv, Ukraine² Curtin University, School of Earth and Planetary Sciences, GPO Box U1987, Perth, Australia, WA 6845³ Department of Earth and Planetary Sciences, University of California, Riverside, CA 92521, USA**ZIRCON AGE OF METARHYODACITE OF THE ALEKSANDROVSK SUITE OF THE MYKHAILIVKA SERIES (MEGABLOCK KMA)**

The LA-ICP-MS U-Pb method has been used to define the Palaeoarchean (3264 ± 7 Ma) age of zircon from metarhyodacite of the Aleksandrovsk Suite of the Mykhailivka Series (the southeastern part of the Tim-Yastrebov structure of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA)). According to the geochemical data, the primary melt probably developed in a crustal magmatic source due to melting of older felsic rocks. The metarhyodacite closely resemble in composition the felsic, igneous A-type granites, formed in continental rift or hot spot settings. The studied metarhyodacite of the Aleksandrovsk Suite was probably formed in association with plume emplacement into the tonalitic basement during the initial stage in the development of greenstone belts in the KMA megablock. It has high potassium content (up to 6.20 weight %), high X_{Fe} ratio (up to 0.67), low Sr content, and high content of HFSE and REEs. They are enriched in light REEs, while heavy REEs are undifferentiated. The metarhyolite shows a highly negative Eu anomaly ($Eu/Eu^* = 0.5$). In contrast, the younger, Mesoarchean (ca. 3.12 Ga) felsic metavolcanic rocks of the Dichnya Suite of the greenstone belts of the KMA, which are close in their chemical composition to the TTGs, were generated via partial melting of mafic rocks at the vanishing stage of the mantle plume.

Keywords: Megablock of the Kursk Magnetic Anomaly, Greenstone belts, Mykhailivka Series, metarhyodacite, zircon, U-Pb age, Tim-Yastrebov structure.