

# Proceedings of Voronezh State University

SCIENTIFIC JOURNAL



**SERIES: GEOLOGY**  
First published in 2000  
Published quarterly

---

---

Series: Geology. 2024. No. 1. January – March

---

---

## CONTENTS

### GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

- Korish E. Kh., Savko K. A., Bazikov N. S., Larionov A. N.* THE AGE OF THE PALEOPROTEROZOIC DUBRAVINSKY SUPRASUBDUCTION ALKALI-CARBONATITE COMPLEX SYENITES, KURSK BLOCK, SARMATIA ..... 4
- Nenakhov V. M., Ntiharirizwa S., Barihuta B., Nindorera Zh. K.* FEATURES OF THE EVOLUTION OF THE KARAGWE-ANKOLE OROGENIC BELT (BURUNDI, CENTRAL AFRICA) ..... 14

### PALEONTOLOGY, LITHOLOGY, STRATIGRAPHY

- Kuznetsov Yu. A., Gribanov V. P., Varfolomeev S. D., Kalinichenko V. N., Dubkov A. A., Gulin A. A., Zhabin A. V., Zolotareva G. S.* CHANGES IN THE MINERAL COMPOSITION OF ROCKS IN THE SERIES “ROOT SOURCE – WEATHERING CRUST – PLACER” USING THE EXAMPLE OF THE KHLEBOPEK GOLD DEPOSIT (BODAYBINSKY DISTRICT, IRKUTSK REGION) ..... 32
- Nikulova N. Yu., Grakova O. V., Simakova Yu. S.* GEODYNAMIC AND PALEO GEOGRAPHIC FEATURES OF THE FORMATION OF METATERRIGENOUS DEPOSITS AT THE BASE OF THE PALEOZOIC SECTION OF THE MALDYNIRD RIDGE (SUBPOLAR URALS) ..... 49
- Ratnikov V. Yu., Ivanov D. L.* HOLOCENE HERPETOFAUNA FROM THE PIONERSKY LOCALITY (BELARUS) ..... 66

### PETROLOGY, VOLCANOLOGY, GEOCHEMISTRY

- Borisova E. B., Baltybaev Sh. K., Bocharov V. N.* P-T CONDITIONS, FLUID EVOLUTION, AND TIME OF FORMATION OF STAUROLITE-CONTAINING PARAGENESSES IN THE ROCKS OF THE METAMORPHIC COMPLEX OF THE NORTHERN LADOGA REGION ..... 74

### GEOLOGY, SEARCH AND INVESTIGATION OF SOLID MINERAL RESOURCES, MINERAGENY

- Gonchar N. V., Guman O. M., Kosinova I. I., Budarina V. A.* OPTIMIZATION OF TECHNOGENIC MINERAL FORMATIONS IN THE DEVELOPMENT OF PORPHYRY COPPER ORES OF THE TOMINSK ORE FIELD OF THE URALS ..... 89

### GEOPHYSICS

- Auzin A. A., Karataev D. D.* GEORADIOLOCATION SURVEY OF BRIDGE STRUCTURES: FIELD RESEARCH METHODOLOGY, PROCESSING AND INTERPRETATION OF MATERIALS. PART 2 – THE PILES FOUNDATIONS OF BRIDGE SUPPORTS ..... 102
- Pivovarov S. P., Efremenko M. A., Pivovarov R. S.* MAGNITUDE DETERMINATION CAPABILITIES MD MAN-MADE SEISMIC EVENTS, CAUSED BY INDUSTRIAL EXPLOSIONS ON THE TERRITORY OF THE VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF ..... 111

### HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY

- Yannikov A. M., Dmitriev D. G.* GAS-DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ROCKS OF THE UDACHNAYA FORMATION (C<sub>1-2</sub>) WITHIN THE MINE FIELD OF THE UDACHNAYA PIPE (REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)) ..... 118
- SUBMISSION GUIDELINES ..... 129

## Возраст сиенитов палеопротерозойского дубравинского супрасубдукционного щелочно-карбонатитового комплекса Курского блока Сарматии

©2024 Е. Х. Кориш<sup>1</sup>, К. А. Савко<sup>1✉</sup>, Н. С. Базиков<sup>1</sup>, А. Н. Ларионов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1,  
Воронеж, 394018, Воронеж, Российская Федерация

<sup>2</sup>Центр изотопных исследований Всероссийского геологического института  
им. А. П. Карпинского, Средний пр., 74, 199016, Санкт-Петербург, Российская Федерация

### Аннотация

**Введение:** Настоящая статья посвящена переоценке возраста сиенитов дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса (ЩКК) Курского блока Сарматии по U-Pb изотопному датированию титанита и Sm-Nd-Sr изотопно-геохимическим данным и, как следствие, пересмотру геодинамической модели его формирования.

**Методика:** Выполнено изотопное датирование возраста сиенитов дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса по циркону методом SIMS и титаниту методом ID TIMS, а также Sm-Nd-Sr изотопная систематика.

**Результаты и обсуждение:** Возраст циркона из сиенитов составляет ~ 2.59 млрд лет, ранее ошибочно интерпретировался как возраст их кристаллизации. Однако, данные Sm-Nd-Sr изотопии показали, что этот возраст более древний, чем возраст внедрения сиенитов, и циркон является захваченным. По данным датирования титанита возраст кристаллизации сиенитов составляет 2.07–2.08 млрд лет, что требует пересмотра модели геодинамической обстановки их формирования.

**Заключение:** Дубравинский щелочно-карбонатитовый комплекс с возрастом 2.07–2.08 млрд лет сформировался в супрасубдукционной обстановке.

**Ключевые слова:** Курский блок, геохронология, карбонатиты

**Источник финансирования:** Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-27-00007.

**Для цитирования:** Кориш Е. Х., Савко К. А., Базиков Н. С., Ларионов А. Н. Возраст сиенитов палеопротерозойского дубравинского супрасубдукционного щелочно-карбонатитового комплекса Курского блока Сарматии // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2024. № 1. С. 4–13. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/1/4-13>

### Введение

В 2021 году в журнале Доклады Академии наук нами была опубликована статья о неорархейском возрасте дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса [1]. Такие выводы были сделаны по U-Pb

изотопному датированию (SIMS) циркона из сиенитов щелочно-карбонатитовой ассоциации пород. Ранее уже имелись данные о палеопротерозойском возрасте карбонатитов ( $2080 \pm 13$  млн лет), определенные по титаниту (ID TIMS) [2], которые интерпрети-



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Савко Константин Аркадьевич, e-mail: [ksavko@geol.vsu.ru](mailto:ksavko@geol.vsu.ru)

ровались как верхняя возрастная граница их формирования. Карбонатиты подверглись метаморфизму, и эта датировка интерпретирована нами как возраст коллизионного метаморфизма  $2072 \pm 10$  млн лет [3] из-за близости значений, совпадающих в пределах ошибки. Мы продолжили геохронологическое датирование сиенитов по циркону и титаниту, дополнили их определением изотопного состава Sr и Nd, региональными корреляциями с карбонатитовым комплексом Украинского щита и пришли к заключению о палеопротерозойском возрасте щелочно-карбонатитового магматизма. Эти выводы влекут за собой изменение представлений внутриплитной геодинамической природе последнего.

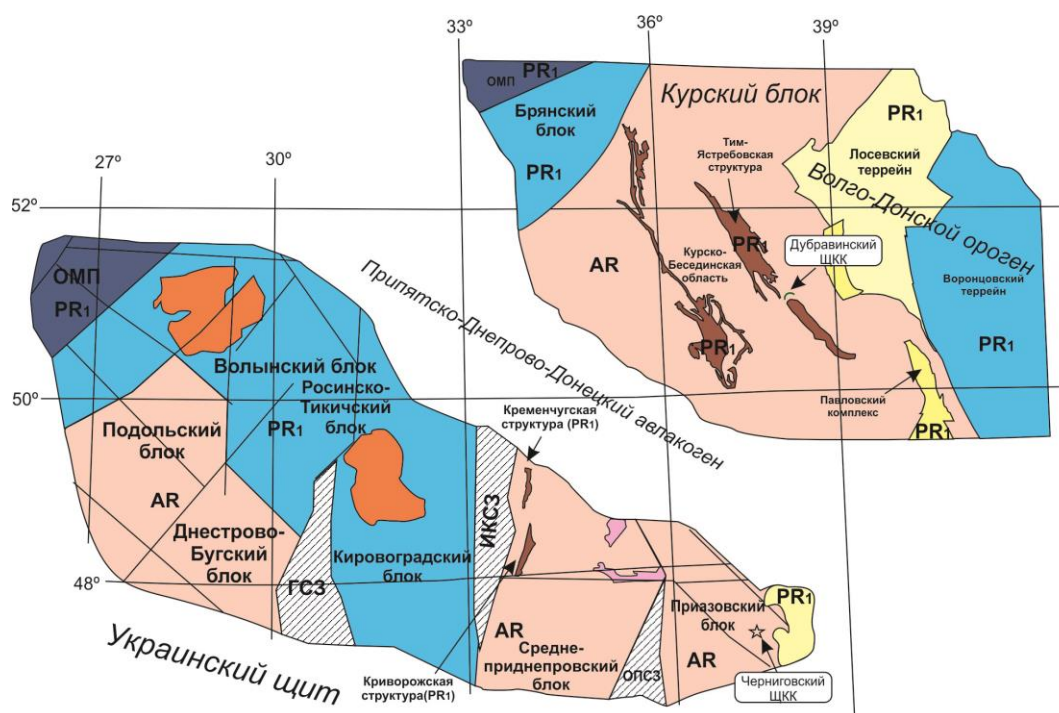
Цель настоящей статьи – переоценка возраста по данным датирования циркон и титанита из сиенитов и новых изотопно-геохимических данных и, как следствие, пересмотр геодинамической модели формирования дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса.

### Геологическая позиция

Курский блок Сарматии (рис. 1) состоит из палеоархейского Курско-Бесединского гранулит-гнейсового домена и мезоархейского Михайловского гранит-зеленокаменного террейна, которые были совмещены в результате коллизии около  $\sim 2.8$  млрд лет назад [5]. В период 2.7–2.6 млрд лет назад архейская

кора подверглась воздействию плюма, который распознается по внутриплитному кислому и базитовому магматизму и, вероятно, сопряженному рифтогенезу [6]. В раннем палеопротерозое (2.5–2.4 млрд лет назад) Курский блок представлял собой стабильную платформу. В морских бассейнах на пассивной континентальной окраине происходило накопление карбонатно-терригенных отложений и железисто-кремнистых формаций. В интервале 2.40–2.14 млрд лет назад наступил длительный перерыв в осадконакоплении, сопровождавшийся эрозией, когда накапливались только континентальные отложения. Таким образом, в интервале с 2.60 до 2.14 млрд лет назад Курский блок представлял собой стабильную платформу, пенеплен с корами выветривания и осадконакоплением на фоне эндогенного затишья.

В период 2.10–2.03 млрд лет назад происходила активная перестройка континентальной литосферы и внедрение в кору огромного объема магм, совмещенных в пространстве и времени. Палеопротерозойская платформа Курского блока претерпела интенсивную эндогенную переработку, включая магматизм, рифтогенез, складчатость и метаморфизм, которые были связаны с субдукционными и коллизионными процессами в ходе эволюции обрамляющих Курский блок палеопротерозойских структур Волго-Донского орогена. В ходе этих событий был сформирован структурный облик Восточной Сарматии.



**Рис. 1.** Схематическая структурная карта Сарматии, составленная по [4] для Украинского щита и по собственным материалам для Воронежского кристаллического массива. Аббревиатуры: ГСЗ – Голованевская сутурная зона; ИКСЗ – Ингулец-Криворожская сутурная зона; ОПСЗ – Орехово-Павлоградская сутурная зона; ОМП – Осницко-Микашевичский пояс; ЩКК – щелочно-карбонатитовый комплекс.

[Fig. 1. A sketch map of the Sarmatia. Data for Ukrainian shield after [4]. Abbreviations: ГСЗ – Golovanevsk Suture Zone, ИКСЗ – Ingulets-Krivoy Rog Suture Zone, ОПСЗ – Orekhovo-Pavlograd Suture Zone, ОМП – Osnitsk-Mikashevichi Igneous Belt; ЩКК – alkali-carbonatite complex.]

В строении Дубравинского массива принимают участие три основных группы пород (рис. 2): клинопироксениты, карбонатиты (вместе с силикокарбонатитами и фоскоритами) и сиениты (вместе с щелочными гранитами). Отмечается чередование этих пород, хотя клинопироксениты образуют несколько

небольших отдельных тел в экзоконтакте интрузии. Вмещающие палеоархейские ортогнейсы (ТТГ) и мигматиты подверглись фенитизации. Фениты представляют собой преимущественно эгирин-рихтерит-альбит-микроклиновые породы.

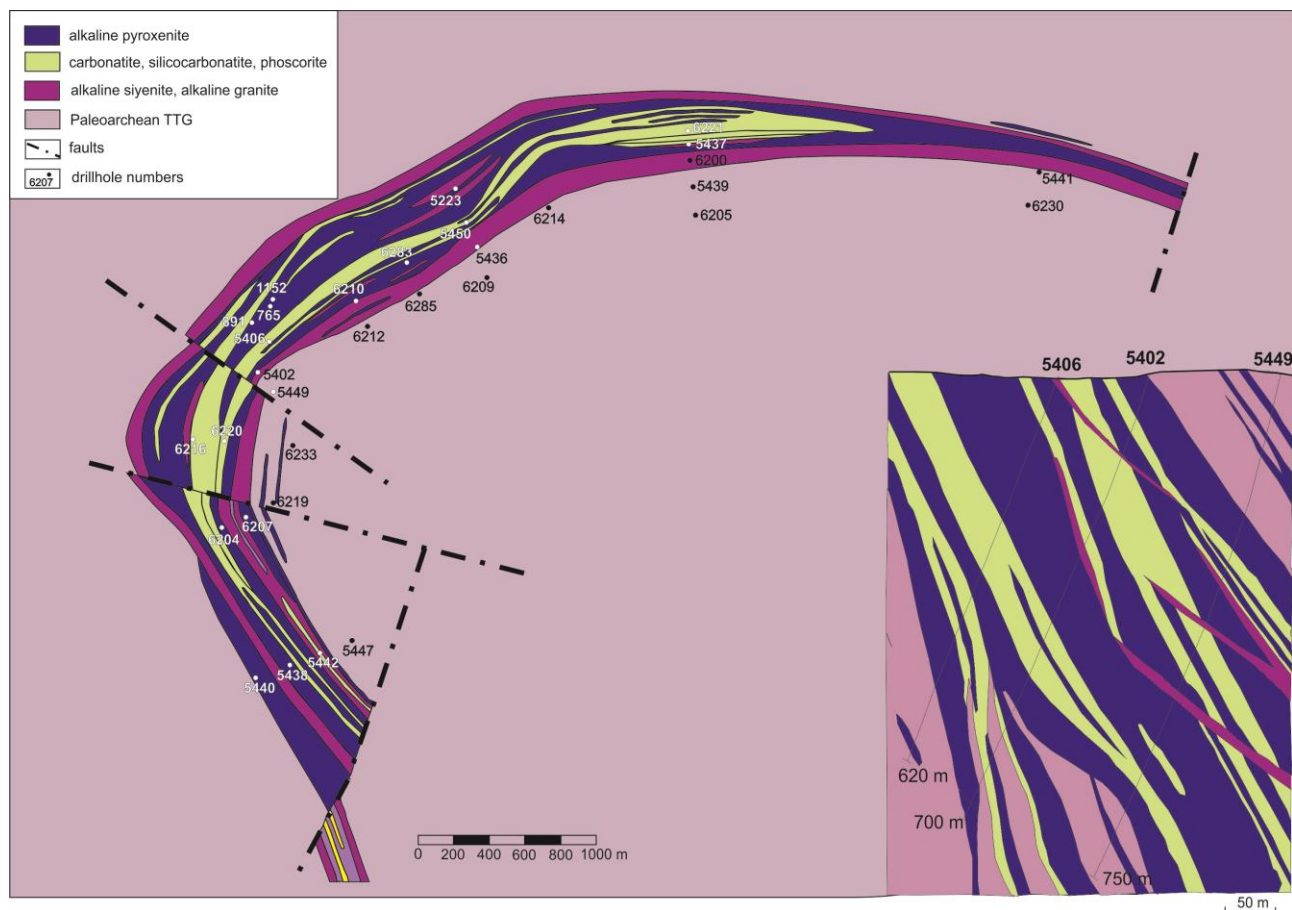


Рис. 2. Схематическая геологическая карта щелочно-карбонатитового Дубравинского массива (по материалам ГПП «Белгородгеология»).

[Fig. 2. Schematic geological map of the Dubravinka alkali-carbonatite complex.]

#### Аналитические методики

**Определение U-Pb возраста по циркону.** Выделение акцессорного циркона проводилось по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей. Зёрна циркона были помещены в эпоксидную смолу, отшлифованы приблизительно на половину своей толщины и приполированы. Микрофотографии зёрен циркона в режиме катодлюминесценции были получены на сканирующем электронном микроскопе CamScan MX2500 (ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург). Датирование циркона было произведено с помощью мультиколлекторного, вторично-ионного масс-спектрометра высокого разрешения SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург по стандартной методике, следуя процедуре, описанной Ларионовым и др. [7]. Вычисление значений U-Pb возраста и соответствующих параметрических величин производилось с помощью программы Isoplot [8].

#### U-Pb геохронология

К сожалению, попытка определения возраста по циркону методом SIMS из самих карбонатитов оказалась неудачной, так как почти все полученные значения имеют высокую степень дискордантности [9]. U-Pb изотопная система в цирконе нарушена, что предполагает влияние наложенных событий. Поэтому мы предприняли попытки датирования циркона методом SIMS и титанита методом ID TIMS из сиенитов щелочно-карбонатитового комплекса.

**SIMS.** Циркон в пробе из сиенита 5449/720.5 представлен идиоморфными и субидиоморфными удлиненными призматическими кристаллами, прозрачными и полупрозрачными, бесцветными и светло-коричневой окраски длиной 150–250 мкм и шириной 50–100 мкм. Все зерна имеют зональное строение, хорошо распознаваемое и в BSE-изображениях, и в катодлюминесценции (КЛ). В КЛ четко выделяются

иногда незональные или с осцилляционной зональностью ядра и темные незональные оболочки толщиной 10–30 мкм (рис. 3). Некоторые зёрна имеют более сложное строение – темное незональное ядро и оболочка, состоящая из внутренней светлой каймы с осцилляционной зональностью и внешней темной более узкой каймы.

Было выполнено 14 анализов в 8 зёрнах. Результа-

ты датирования ядер и кайм не выявили значимых различий значений возраста. Все результаты на графике с конкордией аппроксимируются линией регрессии (табл. 1; рис. 4). Возраст по верхнему пересечению дискордии с конкордией составляет  $2584 \pm 5$  млн лет. С этими результатами совпадает средневзвешенный  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраст –  $2584 \pm 5$  млн лет ( $N = 11$ , СКВО = 0.38, вероятность 0.75) (рис. 4).

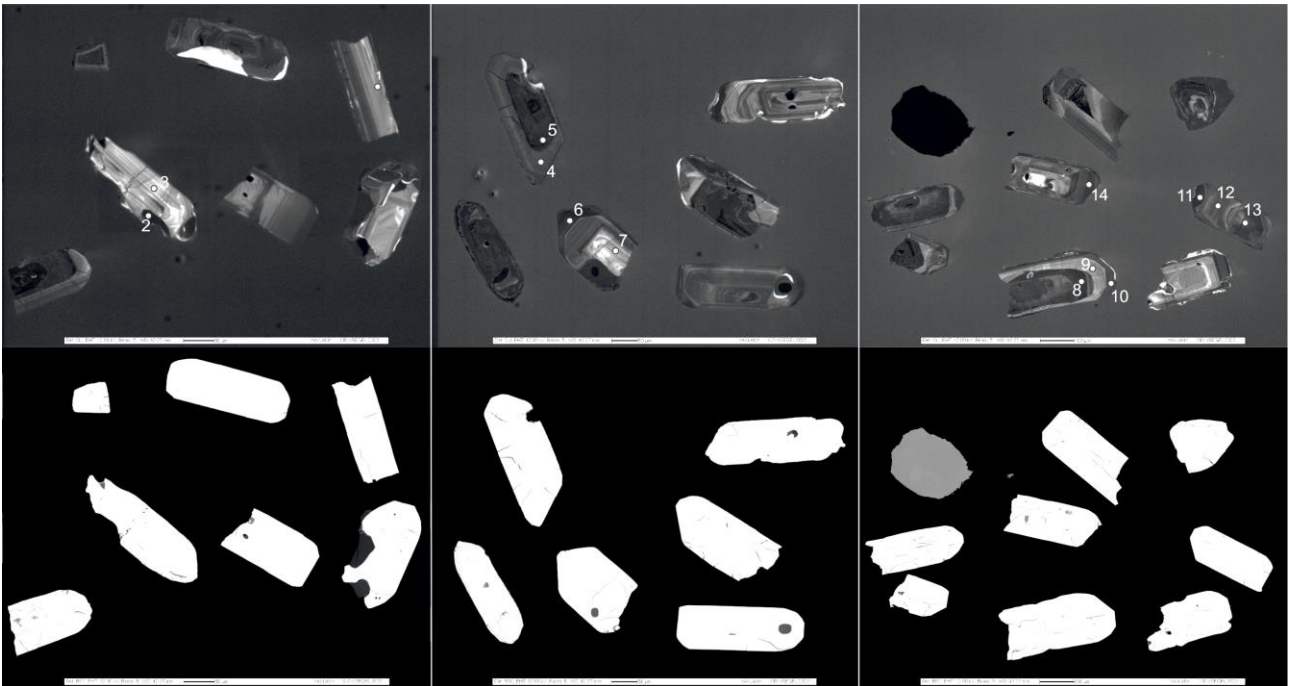


Рис. 3. Катодолуминесцентные снимки с положением аналитических точек и снимки в отраженных электронах кристаллов цирконов из пробы 5449/720.5

[Fig. 3. CL-images with analytical spots and the BSE-images of the zircon crystals from sample 5449/720.5.]

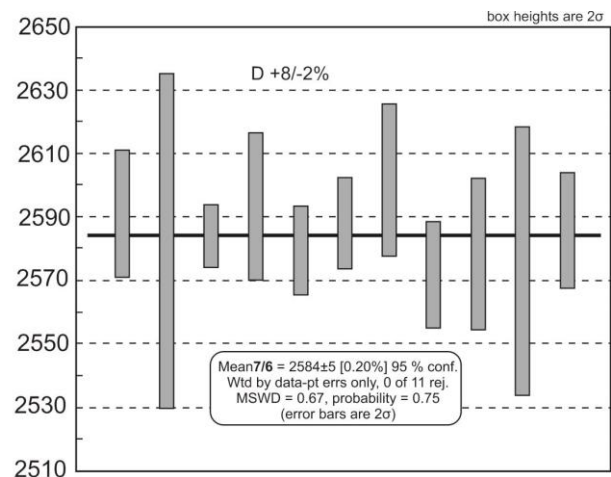
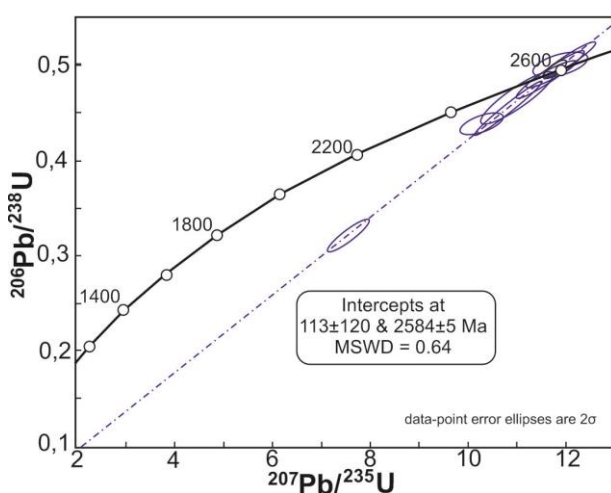


Рис. 4. Результаты U-Pb датирования пробы 5449/720.5

[Fig. 4. The results of the sample 5449/720.5 U-Pb dating.]

Ранее был определен возраст циркона из пробы 5450/653 методом SIMS [1]. Для длиннопризматических цирконов с осцилляционной зональностью в КЛ по

верхнему пересечению с конкордией (14 анализов) он составил  $2589 \pm 6$  млн лет. Задачей настоящего исследования циркона из этой же пробы был поиск и



Табл. 1. Результаты U–Pb-исследований цирконов из сyenитов дубравинского комплекса  
 [Table 1. The results of U-Pb research of zircons from the Dubravinsky complex syenites]

Точка [Spot]	% 206Pb <sub>c</sub>	МКГ/г, U [ppm, U]	МКГ/г, Th [ppm, Th]	МКГ/г, 206Pb* [ppm, 206Pb*]	232Th/238U	(1) 206Pb/238U возраст [Age]	± млн лет [±Ma]	(1) 207Pb/206Pb возраст [Age]	± млн лет [±Ma]	D, %	(1) 238U/206Pb*	±%	(1) 207Pb*/206Pb*	±%	(1) 207Pb*/235U	±%	(1) 206Pb*/238U	±%	Корр. ошиб. [Err. corr.]
13	0.00	360	284	155	0.82	2624	24	2591	10	-2	1.99	1.1	0.173	0.60	12.0	1.3	0.502	1.1	0.9
7	0.00	67	48	28.7	0.74	2615	24	2583	26	-2	2.00	1.1	0.173	1.58	11.9	1.9	0.500	1.1	0.6
5	0.00	1394	577	599	0.43	2615	31	2584	5	-1	2.00	1.4	0.173	0.30	11.9	1.5	0.500	1.4	1.0
12	0.00	272	123	117	0.47	2623	37	2593	12	-1	1.99	1.7	0.174	0.70	12.0	1.8	0.502	1.7	0.9
14	0.00	710	541	304	0.79	2605	13	2579	7	-1	2.01	0.6	0.172	0.42	11.8	0.7	0.498	0.6	0.8
6	0.04	650	144	276	0.23	2590	14	2588	7	-0	2.02	0.6	0.173	0.43	11.8	0.8	0.494	0.6	0.8
4	0.00	284	135	121	0.49	2602	15	2602	12	+0	2.01	0.7	0.175	0.71	12.0	1.0	0.497	0.7	0.7
11	0.36	570	52	239	0.09	2559	22	2572	8	+1	2.05	1.0	0.171	0.49	11.5	1.2	0.487	1.0	0.9
10	0.69	312	106	129	0.35	2542	34	2578	12	+2	2.07	1.6	0.172	0.72	11.5	1.8	0.483	1.6	0.9
1	1.97	118	79	47	0.69	2460	49	2576	21	+5	2.15	2.4	0.172	1.26	11.0	2.7	0.465	2.4	0.9
9	2.37	536	332	209	0.64	2415	53	2586	9	+8	2.20	2.6	0.173	0.54	10.8	2.7	0.455	2.6	1.0
3	2.97	94	79	35.3	0.87	2342	19	2561	24	+10	2.28	1.0	0.170	1.44	10.3	1.7	0.438	1.0	0.6
8	7.10	351	192	96.9	0.56	1795	34	2561	14	+34	3.11	2.2	0.170	0.83	7.5	2.3	0.321	2.2	0.9
2	7.29	1150	556	216	0.50	1272	36	2186	22	+46	4.58	3.1	0.137	1.27	4.1	3.4	0.218	3.1	0.9
11-new	0.01	1105	364	350	0.34	2021	26	2068	6	2	2.72	1.5	0.128	0.31	6.5	1.5	0.368	1.5	1.0

Примечание: Ошибки 1σ. Pb<sub>c</sub> и Pb\* – обычный и радиогенный свинец соответственно. Ошибка в стандартной калибровке 0.41%. (1) Первичный Pb скорректирован на измеренный 204Pb. D, % – процент дискордантности.

[Note: Errors are 1σ. Pb<sub>c</sub> and Pb\* – common and radiogenic lead, respectively. Standard calibration error is 0.41%. (1) Common Pb corrected by measured 204Pb. D, % – percent of discordance.]

Табл. 3. Результаты U-Pb изотопного датирования титанита (ID TIMS) из сyenита (обр. 5449/720.5)  
 [Table 3. Results of U-Pb isotopic dating of titanite (ID TIMS) from syenite (sample 5449/720.5)]

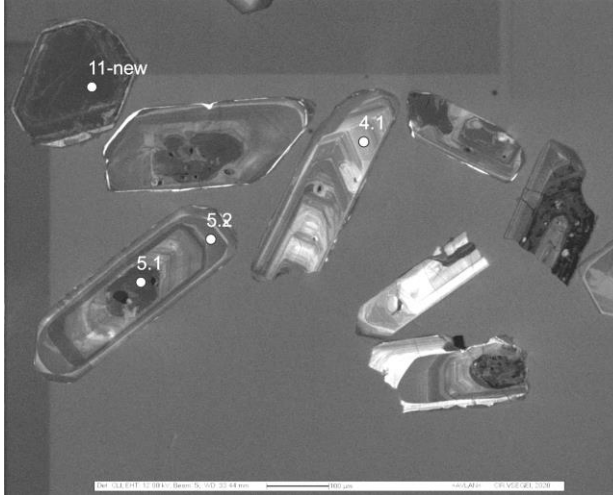
Размер фракции (мкм) и характеристика титанита [Fraction size (μm) and titanite characteristics]	Вес фракции (мг) [Fraction weight (mg)]	Pb, мкг/г [Pb, ppm]	U, мкг/г [U, ppm]	Pb <sub>c</sub> /Pb <sub>t</sub>	Изотопные отношения [Isotopic ratios]			Rho		Возраст, млн лет [Age, Ma]		
					206Pb/204Pb*	207Pb/206Pb**	208Pb/206Pb**	207Pb/235U	206Pb/238U			
> 100, 15 коричневых зёрен [> 100, 15 brown grains]	0.58	5.91	5.36	0.52	51	0.1286 ± 3	0.5419 ± 1	6.5805 ± 225	0.3710 ± 9	2057 ± 7	2034 ± 5	2080 ± 4

Примечание: Pb<sub>c</sub> – первичный Pb; Pb<sub>t</sub> – общий Pb; \* – измеренные изотопные отношения; \*\* – изотопные отношения скорректированы на первичный и радиогенный Pb; Rho – коэффициент корреляции 207Pb/235U против 206Pb/238U. Погрешности (2σ) относятся к последним цифрам соответствующих отношений

[Note: Pb<sub>c</sub> – common Pb; Pb<sub>t</sub> – total Pb; \* – measured isotopic ratios; \*\* – isotope ratio corrected for blank and common Pb; Rho – correlation coefficient of 207Pb/235U versus 206Pb/238U ratios. Uncertainties (2σ) refer to last digits of corresponding ratios.]

датирование зёрен, кристаллизовавшихся из сиени-  
тового расплава. Нами было найдено одно темное  
незональное зерно короткопризматической формы  
(точка 11-new), для которого получено субконкор-  
дантное ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $D=2$ ) значение возраста  $2068 \pm$   
 $6$  млн. лет (рис. 5).

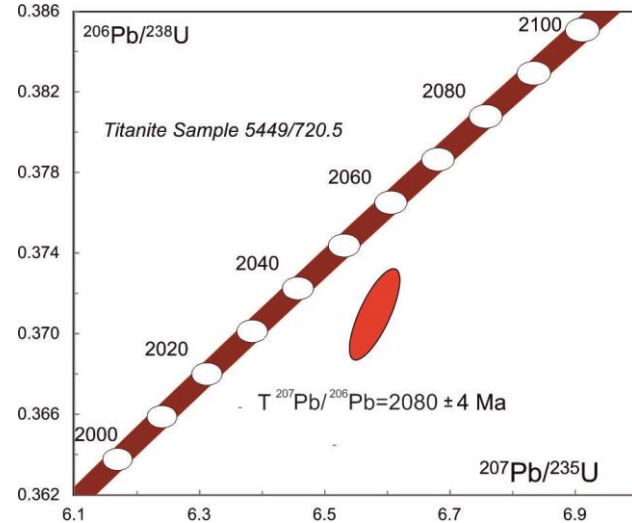
*ID TIMS.* Из той же пробы сиенита 5449/720.5  
были отобраны монофракции титанита, который



**Рис. 5.** Катодоллюминесцентные снимки кристаллов цирконов из пробы 5450/653 и положение аналитических точек

[Fig. 5. CL-images with analytical spots of the zircon crystals from sample 5450/653.]

представлен крупными  $> 150$  мкм фрагментами полу-  
прозрачных кристаллов светло-коричневой окраски.  
Наиболее прозрачные и без газовых и/или минераль-  
ных включений кристаллы были выбраны для U-Pb  
изотопного датирования (табл. 2). Субконкордантное  
( $D = 2\%$ ) значение возраста титанита  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ока-  
залось  $2080 \pm 4$  млн лет (рис. 6) [9].



**Рис. 6.** Результаты U-Pb TIMS анализов титанита из сиенита, проба 5449/720.5

[Fig. 6. Results of U-Pb ID-TIMS analyses of titanite from the syenite, sample 5449/720.5.]

**Табл. 2.** Rb-Sr и Sm-Nd данные для сиенитов дубравинского комплекса  
[Table 2. Rb-Sr and Sm-Nd data for the Dubravinsky complex syenites]

Образец [Sample]	Rb, мкг/г [Rb, ppm]	Sr, мкг/г [Sr, ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (2070 млн лет) [ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (2070 Ma)]	Sm, мкг/г [Sm, ppm]	Nd (ppm)	Nd, мкг/г [Nd, ppm]	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}$ (2070)	$T_{\text{Nd}}$ (DM)
5449/715.3	181	449	1.17	$0.737252 \pm 11$	0.7030	6.39	38.4	0.101	$0.511147 \pm 5$	-3.6	2696
5449/720.5	105	461	0.655	$0.724362 \pm 13$	0.7051	2.99	19.5	0.093	$0.511119 \pm 5$	-1.9	2554
5450/653	234	391	1.73	$0.754416 \pm 15$	0.7036	16.3	93.7	0.105	$0.511019 \pm 4$	-7.2	2971

*Примечание:* Погрешность  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  принята не более 0.2%. Модельный возраст по [10].  
[Note:  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  error no more than 0.2%. Model age after [10].]

#### Rb-Sr, Sm-Nd изотопная систематика

Для сиенитов дубравинского ЩКК было выполнено 3 определения изотопного состава Sr и Nd (табл. 3). Они характеризуются радиогенными начальными изотопными отношениями стронция при пересчете на возраст 2070 млн лет ( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{2070} = 0.7030$  и  $0.7051$ ), тогда как для возраста 2589 млн лет мы получаем нереальные для Земли значения ( $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{2589} < 0.7000$  (рис. 7).

Изотопный состав Nd сиенитов обнаруживает широкий диапазон отрицательных значений ( $\epsilon\text{Nd}(2070) = -1.9$ – $-7.2$ ) и архейские модельные возрасты  $T_{\text{Nd}}(\text{DM}) = 2554$ – $2971$  млн лет. Отметим, что модельный возраст

$T_{\text{Nd}}(\text{DM}) = 2554$  млн лет моложе, чем возраст циркона (2584 млн лет) для сиенита из пробы 5449/720.5, при том, что  $\epsilon\text{Nd}(2070)$  имеет отрицательное значение.

#### Интерпретация геохронологических данных

Все типы пород дубравинского ЩКК находятся в тесной пространственной ассоциации, являются щелочными и обязаны своему возникновению взаимосвязанным процессам в нижней коре и мантии. Мы полагаем, что внедрение карбонатитов, щелочных пироксенитов и сиенитов было близким по возрасту. В сиенитах почти не проявлены постмагматические процессы, за исключением реакционных зон на контактах с

карбонатитами, сложенными щелочным амфиболом, биотитом с апатитом и сульфидами. На контактах с клинопироксенитами развиты прерывистые биотит-микроклиновые зоны и обособления с биотитовыми оторочками.

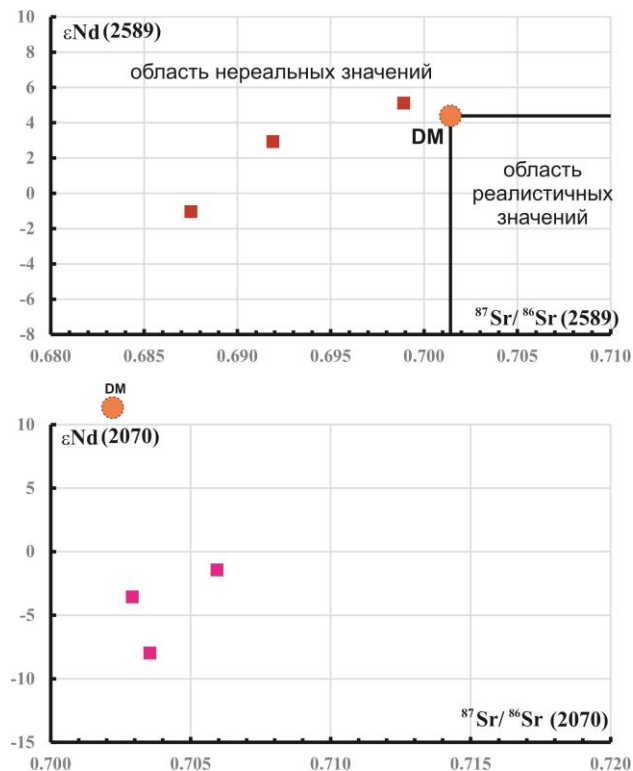


Рис. 7.  $\epsilon\text{Nd}(T) - {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$  диаграммы для дубравинского комплекса

[Fig. 7.  $\epsilon\text{Nd}(T) - {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$  diagrams for the Dubravinsky complex.]

Возраст циркона из сиенитов составляет  $\sim 2.59$  млрд лет и до получения новых изотопно-геохимических и геохронологических данных был ошибочно интерпретирован как возраст образования дубравинского ЩКК [1]. Однако, значения изотопного состава Sr и Nd, пересчитанные на 2.59 млрд лет, почти во всех образцах располагаются в области нереальных для Земли величин, предполагая более деплетированные, чем DM (Sm-Nd) и UR (Rb-Sr) источники магм (рис. 7). Модельный возраст  $\text{TNd}(\text{DM}) = 2554$  млн лет моложе, чем возраст циркона (2584 млн лет) для сиенита из пробы 5449/720.5. Это означает, что выбранный для расчетов возраст удревнён.

Исходя из этих данных, можно полагать, что циркон унаследован из источников магм с возрастом около 2.6 млрд лет, связанных с внутриплитным магматизмом (ультракислые гранитоиды и базиты) в Курском блоке [6]. Подтверждением такой интерпретации могут быть следующие факты: (1) сиениты выделяются наименее радиогенным (коровым) изотопным составом неодима; (2) морфология циркона с преобладанием длиннопризматических кристаллов не характерна для щелочных пород, циркон в которых имеет

короткопризматический габитус с гиацинтовой гранкой; (3) для единственного короткопризматического зерна в пробе 5450/653 получен возраст  $2068 \pm 6$  млн лет.

Возраст титанита  $2080 \pm 4$  млн лет из сиенитов, титанита из карбонатитов  $2080 \pm 13$  млн лет [2] в пределах ошибки совпадают с возрастом НТ/ЛР зонального метаморфизма при коллизии Сарматии и Волго-Уралии [3]. Поэтому возможно два варианта интерпретации этих возрастов: (1) возраст наложенного метаморфизма и (2) возраст магматической кристаллизации незначительно более древний чем, метаморфическое событие. Температуры закрытия U-Pb изотопной системы титанита в диапазоне  $650-700^\circ\text{C}$  выше, чем температуры метаморфизма, определенные в метапелитах и железистых кварцитах палеопротерозойской Приоскольской структуры [11] в 2 км западнее Дубравинского массива (рис. 2).

Подобная проблема была решена для диорит-гранодиоритового магматизма, широко проявленного немного севернее Дубравинского массива в Тим-Ястребовской рифтогенной структуре (рис. 1). Оценки возраста гранитоидных интрузий по циркону (SIMS) попадали в интервал 2.05–2.07 млрд лет [12]. С помощью реперного датирования циркона и титанита методом ID TIMS было показано, что они кристаллизовались из расплава в интервале 2.08–2.07 млрд лет до коллизионного метаморфизма в супрасубдукционной обстановке [13].

Таким образом, возраст магматического протолита для пород дубравинского ЩКК, вероятно, находится в интервале 2.07–2.08 млрд лет и немного древнее возраста метаморфизма. Кроме того, мы можем ориентироваться на возраст Черниговского щелочно-карбонатитового комплекса с возрастом около 2.07 млрд лет на Украинском щите [14, 15], который находится вместе с дубравинским ЩКК в пределах единой палеоархейской структуры Азовско-Курского домена [5].

### Тектоническая обстановка

Ранее считалось, что дубравинский ЩКК сформировался в неархее во внутриплитной обстановке [1]. Полученные оценки возраста  $\sim 2.07-2.08$  млрд лет отвечают этапу активного роста палеопротерозойской коры в результате субдукционных и коллизионных событий на границе архейского Курского блока и палеопротерозойского Волго-Донского орогена. По этой причине геодинамическая позиция известково-щелочного диорит-гранодиоритового магматизма I-типа должна быть пересмотрена. В период  $\sim 2.10-2.07$  млрд лет назад в пределах Донского и Лосевского террейнов происходит внедрение огромного объема гранитоидов и, соответственно, переработка базитовых островных дуг в обстановке активной континентальной окраины [16]. На восточной окраине Курского блока формированию дубравинского ЩКК предшествовал базальтовый магматизм возрастом 2.1 млрд лет [17]. При раскрытии рифта начало магматизма фиксируется излияниями ферропикритов и основных



вулканитов OIB-типа с гранат-равновесными глубинными источниками, которые впоследствии сменяются базитами MORB-типа с малоглубинными источниками. Они связаны с процессами апвеллинга расплавов из астеносферной мантии в зоне деструкции субдуцированной океанической плиты (slab-window). Причиной отрыва слэба стало аккреционно-коллизийное взаимодействие типа вулканическая дуга – континент на окраине Курского блока и Волго-Донского орогена на рубеже около 2.1 млрд лет назад [17]. Под континентальной корой Курского блока после прекращения субдукции не прекратилась мантийная конвекция, связанная с отмиранием слэба (roll-back) (2.10–2.07 млрд лет назад) и растяжение литосферы, когда произошло внедрение пород дубравинского ЩКК. Источником для щелочных пироксенитов и карбонатитов могли быть обогащенные протолиты из субконтинентальной литосферной мантии при плавлении субдуцированного океанического слэба около 2.1 млрд лет назад [9]. Сиениты являются производными мантийно-корового плавления в результате взаимодействия с поднимающимися щелочно-карбонатитовыми магмами. Таким образом, их внедрение в интервале 2.08–2.07 млрд лет назад имело место в надсубдукционной обстановке.

*Конфликт интересов.* Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Savko K. A., Tsybulyaev S. V., Samsonov A. V., Bazikov N. S., Korish E. X., Terentiev R. A., Panevin V. V. Архейские карбонатиты и щелочные породы Курского блока Сарматии: возраст и геодинамическая обстановка // *ДАН*. 2021. Т. 498. № 1. С. 69–75. DOI: 10.31857/S2686739721050169
2. Альбеков А. Ю., Чернышов Н. М., Рыборак М. В., Кузнецов В. С., Сальникова Е. Б., Холин В. М. Изотопный U-Pb возраст апатитоносных карбонатитов Курского блока Воронежского кристаллического массива // *ДАН*. 2017. Т. 473. № 3. С. 320–321. DOI: 10.7868/S0869565217090134
3. Savko K. A., Samsonov A. V., Kotov A. B., Sal'nikova E. B., Korish E. H., Larionov A. N., Anisimova I. V., Bazikov N. S. The early Precambrian metamorphic events in Eastern Sarmatia // *Precambrian Research*. 2018. Vol. 311. P. 1–23. DOI: 10.1016/j.precamres.2018.04.009
4. Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Guterch A., Janik T., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L. EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. *European Lithosphere Dynamics*. Eds.: Gee, D.G., Stephenson, R.A. *Geol. Soc. London Mem.* 2006. Vol. 32. P. 599–628. DOI: 10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.36
5. Savko K. A., Samsonov A. V., Larionov A. N., Chervyakovskaya M. V., Korish E. H., Larionova Yu. O., Bazikov N. S., Tsybulyaev S. V. A buried Paleoarchean core of the Eastern Sarmatia, Kursk block: U-Pb, Lu-Hf and Sm-Nd isotope mapping and paleotectonic application // *Precambrian Research*. 2021. Vol. 353. 106021. DOI: 10.1016/j.precamres.2020.106021
6. Savko K. A., Samsonov A. V., Kholina N. V., Larionov A. N., Zaitseva M. V., Korish E. H., Bazikov N. S., Terentiev R. A. 2.6 Ga high-Si rhyolites and granites in the Kursk Domain, Eastern Sarmatia: Petrology and application for the Archaean palaeocontinental correlations // *Precambrian Research*. 2019. Vol. 322. P. 170–192. DOI: 10.1016/j.precamres.2019.01.006
7. Larionov A. N., Andreichev V. A., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica*. Eds. Gee D.G., Pease V.L. London, Geol. Soc. London Mem. 2004. Vol. 30. P. 69–74. DOI: 10.1144/gsl.mem.2004.030.01.07
8. Ludwig K. R. User's Manual for ISOPLOT/Ex. 3.22. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication. <http://www.bgc.org/klprogrammenu.html>
9. Savko K.A., Samsonov A. V., Salnikova E. B., Stifeeva M. V., Kuznetsov A. B., Kotov A. B., Larionova Yu. O., Korish E. H., Larionov A. N., Chervyakovskaya M. V., Tsybulyaev S. V., Bazikov N. S. Paleoproterozoic alkaline-carbonatite magmatism in the convergent tectonic setting: evidences from 2.07 Ga Dubravinsky complex in the Eastern Sarmatia // *Precambrian Research*. 2023. Vol. 395. 107153. DOI: 10.1016/j.precamres.2023.107153
10. Goldstein S. J., Jacobsen S. B. Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: implications for crustal evolution // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 1988. Vol. 87. P. 249–265. DOI: 10.1016/0012-821X(88)90013-1
11. Савко К. А., Кальмуцкая Н. Ю. Петрология недосыщенных калием метapelитов Воронежского кристаллического массива с рассмотрением парагенезиса оливин-жидрит-ортопироксен-гранат магнетит // *Петрология*. 2002. Т. 10. № 3. С. 283–311.
12. Савко К. А., Самсонов А. В., Базиков Н. С., Козлова Е. Н. Палеопротерозойские гранитоиды Тим-Ястребовской структуры Воронежского кристаллического массива: геохимия, геохронология и источники расплавов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2014. № 2. С. 56–78.
13. Кориш Е. Х., Савко К. А., Сальникова Е. Б., Самсонов А. В., Иванова А. А., Ларионов А. Н., Цыбуляев С. В. Палеопротерозойский диорит-гранодиоритовый магматизм Курского блока Сарматии: расшифровка сближенных во времени геологических событий // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2022. № 5. С. 60–63. DOI: 10.17076/geo1655
14. Rukhlov A. S., Bell K. Geochronology of carbonatites from the Canadian and Baltic Shields, and the Canadian Cordillera: clues to mantle evolution // *Miner. Petrol.* 2010. Vol 98. P. 11–54. DOI: 10.1007/s00710-009-0054-5
15. Shumlyansky L. V., Dubyna O. V., Kryvdik S. G. New Paleoproterozoic U-Pb ages for mafic-ultramafic and alkaline intrusions in the Ukrainian Shield. *Developing the full potential of the large igneous province (LIP) record for multi-commodity, multi-scale exploration targeting*. Toronto, Ontario, Canada. 2021.
16. Terentiev R. A., Savko K. A., Santosh M. Paleoproterozoic evolution of the arc-back-arc system in the East Sarmatian Orogen (East European Craton): zircon SHRIMP geochronology and geochemistry of the Losevo volcanic suite // *Amer. J. Sci.* 2017. Vol. 317. P. 707–753. DOI: 10.2475/06.2017.03
17. Цыбуляев С. В., Савко К. А., Самсонов А. В., Кориш Е. Х. Палеопротерозойские рифтогенные вулканиты OIB- и MORB-типа Курского блока восточной Сарматии: петрология и геодинамика // *Петрология*. 2021. Т. 29. № 2. С. 136–171. DOI: 10.31857/S0869590321020060

## The age of the Paleoproterozoic Dubravinsky suprasubduction alkali-carbonatite complex syenites, Kursk block, Sarmatia

©2024 E. Kh. Korish<sup>1</sup>, K. A. Savko<sup>1✉</sup>, N. S. Bazikov<sup>1</sup>, A. N. Larionov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University, Universitetskaya sq., 1, Voronezh, 394018, Voronezh, Russian Federation

<sup>2</sup>Centre for Isotope Research, Karpinsky Russian Geological Research Institute (CIR VSEGEI), Sredniy pr., 74, 199016, Saint-Petersburg, Russian Federation

### Abstract

**Introduction:** The paper is intended to reconsider the age of Dubravinsky alkali-carbonatite complex (Kursk block, Sarmatia) syenites according to the zircon and titanite U-Pb dating and Sm-Nd-Sr isotopic geochemical data in order to revise the geodynamical model of its forming.

**Methodology:** We carried out the isotopic dating of the Dubravinsky alkali-carbonatite complex syenites by zircon (SIMS) and titanite (ID TIMS), and also the Sm-Nd-Sr isotopic systematics.

**Results and discussion:** The age of zircon from syenites is ca. 2.59 Ga and previously was wrongly interpreted as the crystallization age. However, Sm-Nd-Sr isotopic data revealed this age being older than the age of syenites intrusion and so the zircon is captured. According to the titanite dating, the syenites crystallization age is 2.07–2.08 Ga, hence the geodynamical model of their forming needs to be revised.

**Conclusion:** Dubravinsky alkali-carbonatite complex aged 2.07–2.08 Ga has been formed in the suprasubductional environment.

**Keywords:** Kursk block, geochronology, carbonatite.

**Funding:** The work was carried out with financial support by RSCF, project No.23-27-00007.

**For citation:** Korish E. Kh., Savko K. A., Bazikov N. S., Larionov A. N. The age of the Paleoproterozoic Dubravinsky suprasubduction alkali-carbonatite complex syenites, Kursk block, Sarmatia // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2024, no. 1, pp. 4–13. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/1/4-13>

**Conflict of interests:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

### REFERENCES

- Savko K. A., Tsybulyaev S. V., Samsonov A. V., Bazikov N. S., Korish E. Kh., Terentiev R. A., Panevin V. V. Archean carbonatites and alkaline rocks of the Kursk block, Sarmatia: age and geodynamic setting. *DAN – Doklady Earth Sciences*. 2021, vol. 498, part 1, pp. 412–417. DOI: 10.1134/S1028334X21050160
- Albekov A. Y., Chernyshov N.M., Ryborak M. V., Kuznetsov V. S., Salnikova E. B., Kholin V. M. U-Pb isotopic age of apatite-bearing carbonatites in the Kursk block, Voronezh

crystalline massif (central Russia). *DAN – Doklady Earth Sciences*. 2017, vol. 473, pp. 271–272. DOI: 10.1134/S1028334X17030205

- Savko K. A., Samsonov A. V., Kotov A. B., Sal'nikova E. B., Korish E. H., Larionov A. N., Anisimova I. V., Bazikov N. S. The early Precambrian metamorphic events in Eastern Sarmatia. *Precambrian Res.*, 2018, vol. 311, pp. 1–23. DOI: 10.1016/j.precamres.2018.04.009
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Guterch A., Janik T., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlaite G., Starostenko V.,



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Konstantin A. Savko, e-mail: [ksavko@geol.vsu.ru](mailto:ksavko@geol.vsu.ru)