

УДК 552.3

ПЕРВАЯ НАХОДКА ДАЕК ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ АЙЛЛИКИТОВ В САРМАТИИ: ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГЕНЕЗИС

© 2024 г. К. А. Савко^{1,2,*}, член-корреспондент РАН А. В. Самсонов², С. В. Цыбуляев¹, Н. С. Базиков¹, Е. Х. Кориш¹, Р. А. Терентьев¹

Поступило 22.01.2024 г.

После доработки 07.02.2024 г.

Принято к публикации 12.02.2024 г.

В Курском блоке Сарматии впервые были установлены дайки айллицитов карбонат-биотитового состава, секущих палеопротерозойские железистые кварциты. Их возраст составляет 2.10–2.07 млрд лет. Дайки айллицитов метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации (550°C, 2–3 кбар), деформированы и рассланцованы, первичные магматические оливин и клинопироксен не сохранились. По геохимии ультрамафические лампрофиры Курского блока близки к петротипическим айлликитам. Они имеют низкие содержания SiO₂ и Al₂O₃, высокие MgO, TiO₂, K₂O, Sr, Ni, Nb с резко фракционированными спектрами лёгких и тяжёлых РЗЭ. Высоко радиогенный изотопный состав неодима указывает на ювенильный обогащённый (метасоматизированный) мантийный источник для айллицитов. Положительные аномалии Nb и Ti предполагают метасоматическую переработку деплетированной литосферной мантии ОИВ-расплавами при открытии Тимского задугового бассейна.

Ключевые слова: дайки айллицитов, палеопротерозой, Курский блок, карбонатиты, источники расплавов

DOI: 10.31857/S2686739724060082

ВВЕДЕНИЕ

Айлликиты – редкие щелочные, недосыщенные SiO₂, содержащие карбонаты ультрамафитовые лампрофиры, встречающиеся в обстановках континентального рифтинга и мантийного апвеллинга. Их особенностью является промежуточный состав между глубинными мантийными породами – карбонатитами, кимберлитами и щелочными лампрофирами. Поэтому, несмотря на небольшой объём проявлений, айлликиты наряду с кимберлитами и карбонатитами служат источником информации о составе и строении литосферной мантии. Присутствие айллицитов является индикатором для обстановок растяжения литосферы, и они часто связаны с карбонатитовым магматизмом (например, [7, 8, 20]) и крупными магматическими провинциями. Широко обсуждается образование мантийных источников ультрамафитовых лампрофиров

в субдукционных обстановках и в результате действия плюмов, приводящих к метасоматозу литосферной мантии ([13, 20] и многие другие).

Публикации об айлликитах и, в целом, лампрофирах в Сарматии по нашим данным отсутствуют. Находки даек айллицитов в Курском блоке расширяют наши представления о составе и строении литосферной мантии крупного раннедокембрийского сегмента Восточно-Европейского кратона в палеопротерозое. В настоящей статье представлены первые данные о геологии, изотопно-геохимических особенностях и петрогенезисе палеопротерозойских даек айллицитов Сарматии.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

Курский блок Сарматии (рис. 1) состоит из палеоархейского гранулит-гнейсового ядра и мезоархейского зеленокаменного террейна, коллизия которых около 2.8 млрд лет назад привела к образованию архейской континентальной области восточной Сарматии [17]. В раннем палеопротерозое (2.5–2.4 млрд лет) Курский блок представлял собой стабильную платформу. В морских бассейнах на пассивной

¹ Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, Москва, Россия

*E-mail: ksavko@geol.vsu.ru

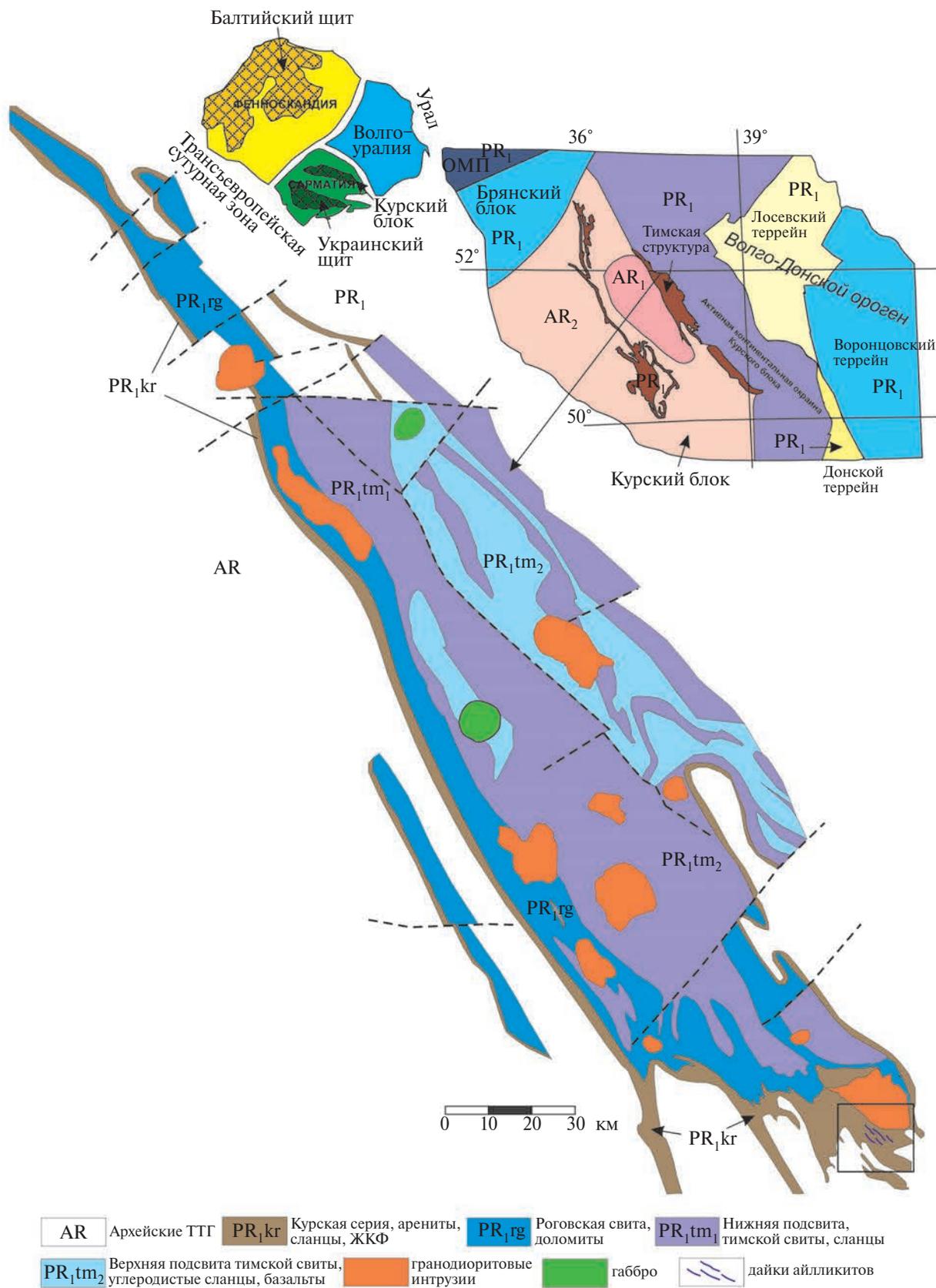


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Тимской структуры и положение даек айлликитов с врезками структурной схемы Восточной Сарматии и Восточно-Европейского кратона.

континентальной окраине происходило накопление терригенных и карбонатных осадков и железисто-кремнистых формаций (ЖКФ) [18]. 2.4 млрд лет назад трансгрессия сменилась регрессией, и наступил продолжительный перерыв в осадконакоплении. Седиментация возобновилась в континентальных рифтогенных структурах в интервале 2.2–2.1 млрд лет назад. В период 2.10–2.05 млрд лет назад палеопротерозойская платформа Курского блока подверглась мощной эндогенной переработке, включающей магматизм, рифтинг, складчатость и метаморфизм и связанной с субдукцией и коллизионными процессами в результате развития палеопротерозойских Волго-Донского и Севско-Ингулецкого орогенов на границах Сарматии.

Айлликиты в Курском блоке встречаются в виде даек, секущих железистые кварциты курской серии в южном обрамлении Тимской рифтогенной структуры (рис. 1). Во многих ранних исследованиях геологии Курской магнитной аномалии (КМА) они описывались как биотит-карбонатные дайки [1]. Нами были изучены дайки в бортах Лебединского железорудного карьера в южном замыкании Тимской структуры (рис. 1, 2). Дайки различной мощности от 0.5 до 12 м северо-западного реже субширотного простирания секут полосчатость железистых кварцитов чаще всего под углами 5°–15° (рис. 2). Протяжённость даек находится в прямой зависимости от их мощности и меняется от первых десятков до нескольких сотен метров. Вмещающие железистые кварциты Лебединского месторождения претерпели региональный метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации $T = 550^{\circ}\text{C}$ и давления 2–3 кбар [4] с возрастом около 2.07 млрд лет [16]. Айлликиты также метаморфизованы, их тела нередко деформированы, но секущие контакты сохраняются. Кроме того, с дайками айлликитов в тесной ассоциации находятся дайки известково-щелочных лампрофиров.

В 12 км юго-восточнее дайкового поля айлликитов находятся интрузии дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса, но геологических взаимоотношений карбонатитов и щелочных пород с ультрамафическими лампрофитами не установлено. И карбонатиты, и айлликиты претерпели метаморфические изменения, их тела нередко деформированы.

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

Дайки айлликитов сложены тёмно-серыми, очень мелкозернистыми, иногда почти чёрными рассланцованными породами биотит-карбонатного состава с субпараллельно ориентированными пластинками биотита. Выраженные порфиоровые вкрапленники отсутствуют. Порода представляет собой переплетение удлиненных лейст биотита (40–60 об. %), среди которых находятся ксеноморфные пойкилитовые зёрна карбоната (30–40 об. %) и рудных минералов (до 10 об. %). Карбонат представлен доломитом, кальцит встречается в незначительных количествах. В магнезиальном биотите ($X_{\text{Mg}} = 0.68\text{--}0.73$) отсутствует химическая зональность, и он имеет невысокое содержание титана ($\text{TiO}_2 = 1.7\text{--}2.2$ мас. %). В биотите отмечаются очень мелкие (<10 мкм) включения монацита (Ce). Встречаются тремолит ($X_{\text{Mg}} = 0.90\text{--}0.97$) и тальк ($X_{\text{Mg}} = 0.89$). Среди рудных минералов преобладают магнетит и рутил (иногда с примесью Nb до 2 мас. %), реже встречается титаномагнетит. Магнетит представлен крупными (0.2–0.5 мм) идиоморфными кристаллами на фоне более мелкозернистого матрикса. Рутил образует мелкую вкрапленность (10–50 мкм) и включения в биотите и титаномагнетите. В некоторых дайках рудные минералы концентрируются в тонкие полосы, сложенные мелкозернистым агрегатом магнетита и в меньшем количестве титаномагнетита.

ГЕОХИМИЯ

Петрогенные оксиды. Айлликиты недосыщены SiO_2 (20.5–34.0 мас. %), имеют низкие содержания Al_2O_3 (3.1–4.9 мас. %) и умеренную магнезиальность Mg\# 0.57–0.68 (табл. 1). В них высокие концентрации магния ($\text{MgO} = 10.1\text{--}17.9$ мас. %), железа ($\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{tot})} = 14.7\text{--}19.7$ мас. %), кальция ($\text{CaO} = 7.7\text{--}22.1$ мас. %) и особенно титана ($\text{TiO}_2 = 3.2\text{--}5.4$ мас. %). Из щелочей отмечаются высокие содержания калия ($\text{K}_2\text{O} = 1.9\text{--}4.6$ мас. %) и очень низкие содержания натрия (<0.2 мас. % Na_2O). Высокие значения потерь при прокаливании (ППП = 9.3–21.3 мас. %) согласуются с преобладанием в породах доломита и минералов, содержащих группу (ОН).

Редкие и редкоземельные элементы. Айлликиты имеют высокие содержания “мафических” Sr (326–1240 ppm, ср. 597 ppm) и Ni (440–1230 ppm, ср. 614 ppm) и широкие вариации концентраций литофильных элементов: Ba (185–1540 ppm, ср. 649 ppm), Sr (287–1140 ppm, ср. 684 ppm) и Rb

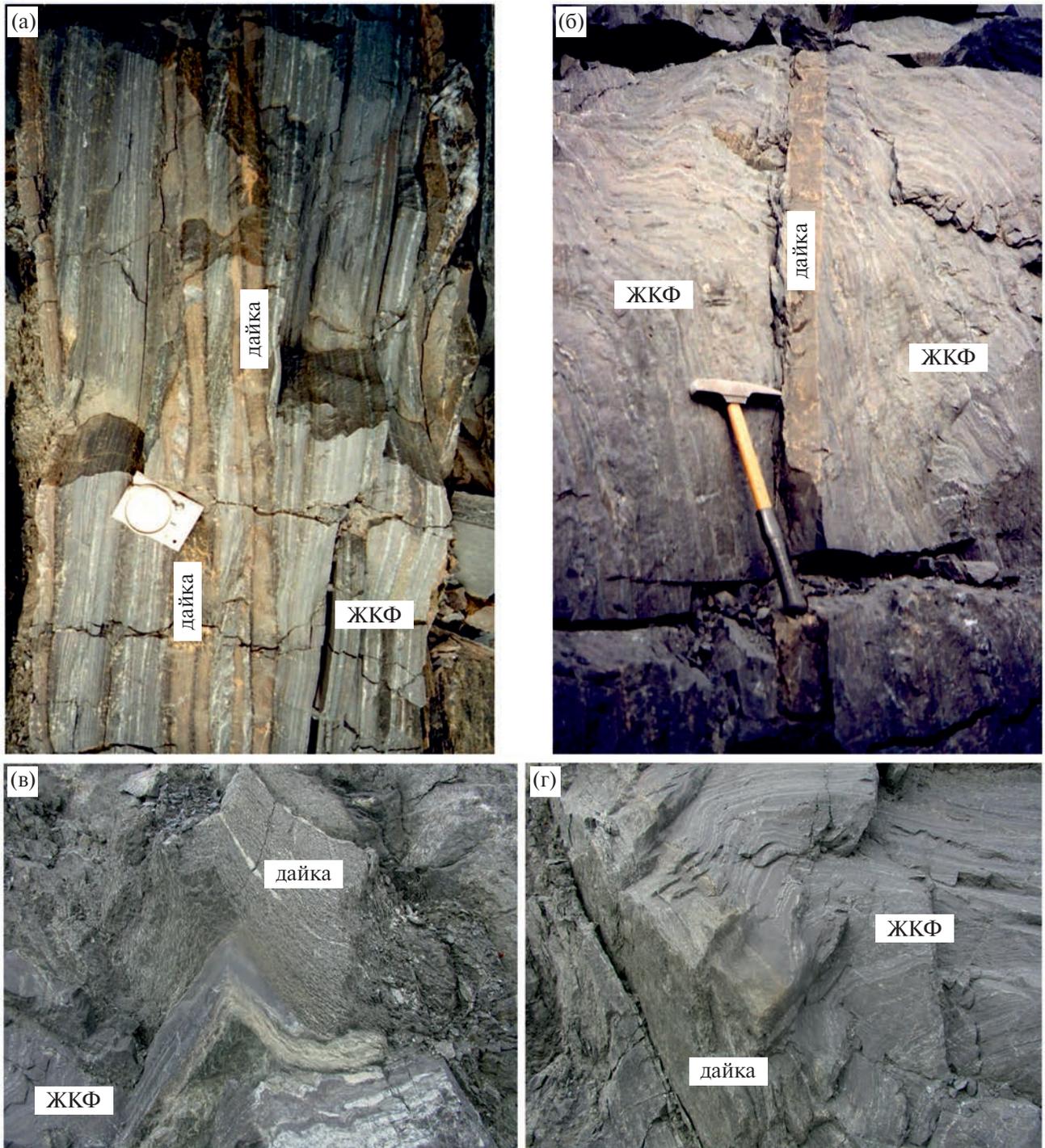


Рис. 2. Дайки айллицитов в Лебединском железорудном карьере: а, б – серия маломощных даек в ЖКФ (2.4–2.5 млрд лет); в – деформированная и рассланцованная дайка; г – прилегание деформированных ЖКФ к контакту дайки.

(137–442 ppm, ср. 234 ppm). Среди высокозарядных элементов выделяются очень высокие концентрации Nb (85–175 ppm, ср. 128 ppm) и Ta (4.3–10.4 ppm, ср. 7.9 ppm) и умеренные Zr (163–381 ppm) и Y (12–28 ppm). РЗЭ ($\Sigma REE = 176–469$

ppm, ср. 370 ppm) демонстрируют резкое фракционирование лёгких и тяжёлых РЗЭ ($(Gd/Yb)_n = 4.9–8.8$, $(La/Yb)_n = 30–46$) (рис. 3 а). Выраженные Eu^* -аномалии отсутствуют. На диаграмме, нормированной к примитивной мантии,

Таблица 1. Содержания петрогенных, редких и редкоземельных элементов в айлликитах Курского блока Сарматии

Скв./глуб.	ЛК-7/3	ЛК-4/1	ЛК-4/2	ЛК 8-2/2	ЛК-57-1	ЛК-57-2	ЛК-53-5	ЛК-20
SiO ₂	20.53	28.53	26.72	22.06	21.22	27.71	33.99	20.99
TiO ₂	3.22	4.95	5.09	3.41	5.42	4.72	3.77	4.88
Al ₂ O ₃	3.84	3.68	3.47	4.31	3.78	4.90	4.27	3.65
Fe ₂ O _{3tot}	16.90	14.66	14.91	18.19	19.69	19.08	18.67	15.14
MgO	13.99	12.24	10.06	17.90	13.42	14.01	17.21	15.96
MnO	0.18	0.36	0.44	0.24	0.26	0.23	0.19	0.28
CaO	16.89	19.84	22.14	20.77	13.49	9.87	7.34	15.80
Na ₂ O	0.07	0.15	0.18	0.02	0.12	0.22	0.00	0.08
K ₂ O	1.89	2.51	2.38	3.04	3.71	4.58	4.53	3.07
P ₂ O ₅	0.57	0.55	0.50	0.22	0.21	0.44	0.48	0.49
SO ₃	0.28	0.05	0.04	0.31	0.10	0.12	0.12	0.04
ППП	21.34	12.34	13.93	9.48	18.35	13.70	9.28	19.46
Сумма	99.68	99.85	99.88	99.95	99.79	99.63	99.85	99.85
Mg#	0.62	0.62	0.57	0.66	0.57	0.59	0.65	0.68
Na ₂ O+K ₂ O	2.0	2.67	2.6	3.1	3.8	4.8	4.5	3.2
Sc	17.3	22.5	20.3	19.4	31	25.1	24.9	17.6
V	183	263	286	66	289	302	301	88.2
Cr	451	496	472	1240	720	679	394	326
Co	55.9	88.3	79.3	110	97.8	110	87.1	89.2
Ni	440	530	448	1230	477	705	476	603
Cu	139	76.5	15.7	60.8	185	228	289	173
Zn	52.5	68.0	56.9	64.3	126	133	133	58.4
Ga	10.3	17.3	18.4	8.5	22.4	22.2	20.1	13.6
Rb	137	165	157	166	369	442	260	179
Sr	664	413	331	1140	1010	1150	287	480
Y	18.7	22.0	28.3	12.2	25.8	23.5	25	26.7
Zr	247	329	252	163	381	374	339	287
Nb	85.1	125	124	100	175	132	148	136
Ba	809	491	185	709	384	336	1540	737
La	50.2	71.4	88.7	36.3	90.7	81.9	103	104
Ce	105	151	188	73.8	193	168	200	203
Pr	12.8	17.0	22.1	9.26	23.9	20.4	23.2	24
Nd	50.1	65.4	86.6	35.9	93.2	77.7	85.7	90.7
Sm	9.1	11.9	15.7	6.6	16	13.5	14.8	15.8
Eu	2.38	3.14	4.08	1.89	3.99	3.42	4.23	3.95
Gd	7.19	10.3	13.7	5.4	13	11.4	12.3	13.3
Tb	0.93	1.18	1.57	0.67	1.5	1.34	1.46	1.52
Dy	4.6	5.44	6.83	3.11	6.66	6.04	6.54	6.69
Ho	0.77	0.85	1.06	0.5	1.09	0.98	1.06	1.08
Er	1.86	2.12	2.44	1.17	2.63	2.28	2.47	2.56
Tm	0.22	0.22	0.25	0.14	0.31	0.26	0.27	0.29
Yb	1.22	1.29	1.39	0.77	1.75	1.42	1.63	1.62
Lu	0.16	0.17	0.18	0.098	0.23	0.19	0.21	0.22
Hf	5.89	8.70	6.21	4.23	9.75	9.5	7.78	6.97
Ta	4.26	8.93	7.86	4.45	10.4	8.98	10.1	7.88

Окончание таблицы 1

W	1.39	5.97	14.4	2.73	6.01	4.22	2.48	12.9
Pb	14.3	<1.0	3.14	13.5	12.8	11.2	7.62	12.7
Th	7.15	8.68	10.9	4.46	11.7	9.67	11.7	12
U	1.78	2.93	2.29	1.04	1.78	2.17	2.5	2
ΣREE	247	341	433	176	448	389	457	469
Eu/Eu*	0.90	0.87	0.85	0.97	0.85	0.84	0.96	0.83
(Gd/Yb) _n	4.9	6.6	8.2	5.8	6.2	6.6	6.2	6.8
(La/Yb) _n	29.5	39.7	45.8	33.8	37.2	41.4	45.3	46.1

проявлены положительные пики Nb и Ti и отрицательные Ba (рис. 3 б).

ВОЗРАСТ АЙЛЛИКИТОВЫХ ДАЕК

Из-за отсутствия в айлликитах минералов-геохронометров (циркона, перовскита, андрадитового граната), пока не удалось получить точных определений изотопного возраста. Тем не менее, мы можем ограничить их возраст довольно узким интервалом по геологическим критериям. Нижняя граница внедрения даек отвечает возрасту базальтов тимской свиты в Тимской структуре 2098 млн лет [5], которые секутся дайками лампрофинов. Верхним ограничением может служить возраст регионального метаморфизма 2.07 млрд лет, которому подверглись дайки айлликитов [16]. Дополнительным аргументом может служить возраст щелочно-карбонатитового магматизма дубравинского комплекса 2.07–2.08 млрд лет [19]. Таким образом, формирование даек айлликитов произошло в интервале 2.10–2.07 млрд лет, когда в восточном обрамлении Курского блока Сарматии был широко проявлен супрасубдукционный магматизм [3, 5, 19].

SM-ND-ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ

Изотопный состав Nd был измерен в валовой пробе из дайки, прорывающей железистые кварциты в Лебединском железорудном карьере. Айлликиты имеют такой же радиогенный состав Nd ($\epsilon_{Nd(2080)} = +1.7$) и модельный возраст $T_{Nd(DM)}$, как и карбонатиты дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса [19] (табл. 2), что свидетельствует об обогащении источника айлликитовых расплавов незадолго до их образования.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Классификация и номенклатура. Из клана ультрамафических лампрофинов (УМЛ) [12, 14]

только айлликиты значительно обогащены карбонатами, и основная масса породы состоит из кальцита, флогопита, аксессуарных минералов титана и фенокристаллов оливина. Карбонаты в айлликитах Курского блока представлены доломитом, кальцит встречается очень редко, и этим они отличаются от подавляющего большинства УМЛ. Содержания петрогенных оксидов редких и редкоземельных элементов в УМЛ Курского блока близки к петротипическим айлликитам залива Айлик (Лабрадор) [20] и многих других проявлений. Для них характерны низкие содержания SiO_2 и Al_2O_3 , высокие MgO , TiO_2 , K_2O , Cr и Ni . На классификационной диаграмме [14] почти все точки составов попадают в поле ультрамафических лампрофинов (рис. 4). По соотношению высокочарядных элементов айлликиты Курского блока отвечают анорогенным лампрофирам (рис. 4 б, в), что предполагает их внутриплитную природу и взаимосвязь с плюмовой обстановкой [12].

Метаморфизм. Дайки айлликитов Курского блока подверглись метаморфизму эпидот-амфиболитовой фации и вторичным гидротермальным изменениям, что привело к их деформированию, расщеплению (рис. 2), разложению Fe–Mg-силикатов (главным образом, первично магматических оливина и клинопироксена), за исключением биотита. Разложение оливина и клинопироксена сопровождалось появлением тремолита, талька и доломитизацией, например: $6Fo + 13Di + H_2O + CO_2 = 5Dol + 4Tr$, $8Fo + 13Cal + H_2O + CO_2 = 11Dol + Tr$. Кроме того, присутствуют редкие зёрна вторичного кварца. Перовскит был, по-видимому, замещён титаномагнетитом и Nb-содержащим рутилом. Почти во всех айлликитах карбонат представлен кальцитом, и только в изменённых вторичными постмагматическими процессами появляется доломит [2, 15].

Источники расплавов. Существуют три основные точки зрения на источники расплавов айлликитов: (1) частичное плавление

Таблица 2. Sm–Nd-изотопные данные для айллицитов Курского блока в сравнении с карбонатитами дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса [19]

Номер образца	Порода	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}^*$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	T, млн. лет	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	$T_{\text{Nd}}(\text{DM})^{**}$
ЛК-7/3	айллицит	9.39	51.35	0.1106	0.511545	2080	1.7	2364
6207/431	карбонатит	48.3	306	0.0954	0.511332	2080	1.6	2334
5402/5	карбонатит	83.2	535	0.0940	0.511299	2080	1.3	2349

Примечание. * Погрешность $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ принята не более 0.2%. ** Модельный возраст по [10].

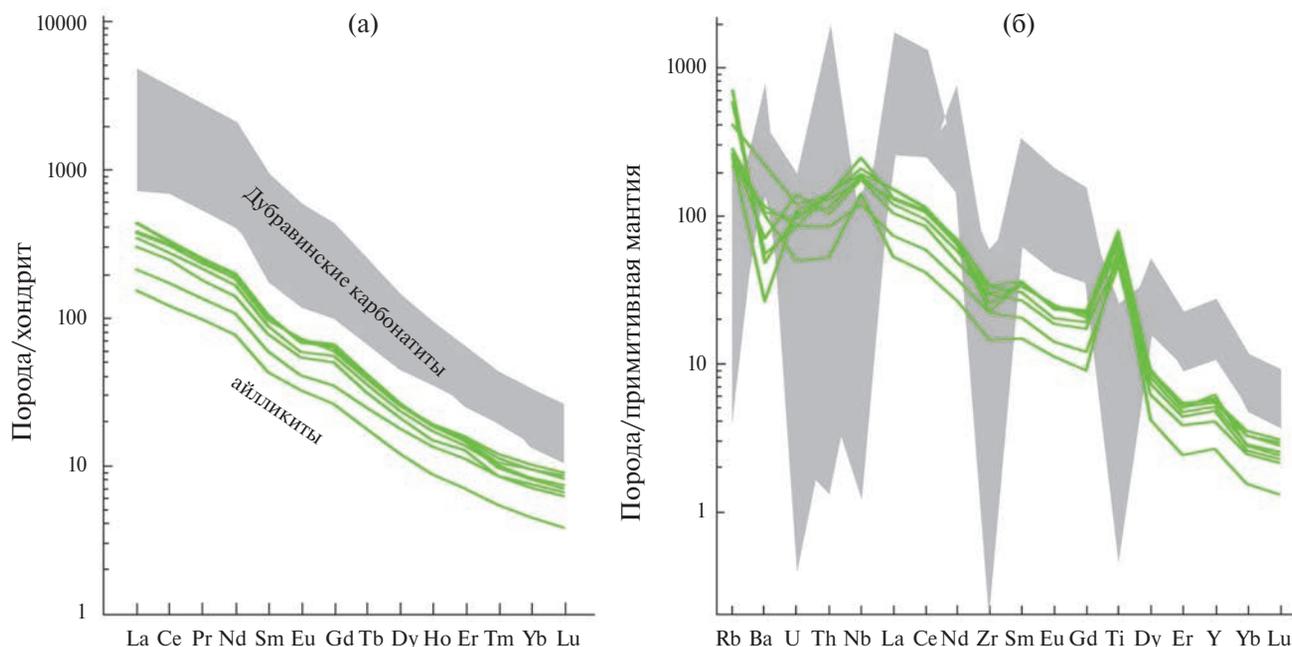


Рис. 3. Нормализованное к хондриту распределение редкоземельных (а) и нормализованное к примитивной мантии распределение малых и редких (б) элементов в дайках айллицитов Курского блока.

карбонатизированных лерцолитов при давлениях выше 2.5 ГПа [11]; (2) ассимиляция карбонатизированных флогопитовых метасоматитов плюмовыми силикатными расплавами [9]; (3) смешение карбонатитовых и силикатных расплавов в мантии или ассимиляция мантийного вещества карбонатитами [9].

Данные по геохимии айллицитов свидетельствуют, что источником расплавов была обогащённая (метасоматизированная) мантия. Высоко радиогенный изотопный состав неодима предполагает, что интервал времени между мантийным метасоматизмом и частичным плавлением мантийного источника с образованием родительских магм айллицитов был относительно коротким.

На глубинный, недавно метасоматизированный литосферный мантийный источник, в котором стабильны значительные количества

флогопита и карбоната указывают: (1) близкий возраст карбонатитов дубравинского щелочно-карбонатитового комплекса (2.07–2.08 млрд лет) и айллицитов; (2) пространственное положение – расстояние между проявлениями карбонатитов и дайками УМЛ 12–14 км, (3) одинаковый радиогенный изотопный состав Nd, (4) одинаковые значения отношения $(\text{Gd}/\text{Yb})_n$ и распределение РЗЭ при разных уровнях концентраций (рис. 3 а). В сравнении с карбонатитами, айллицитовые расплавы, по-видимому, представляют более высокие степени плавления обогащённого мантийного источника, о чём свидетельствуют более высокие концентрации MgO, Ni, Cr и низкие P_2O_5 , Sr, Ba, LREE по сравнению с дубравинскими карбонатитами.

Тектоническая модель. В период 2,5–2,1 млрд лет в пределах Курского блока не зафиксировано эндогенной активности. Первый палеопротерозойский

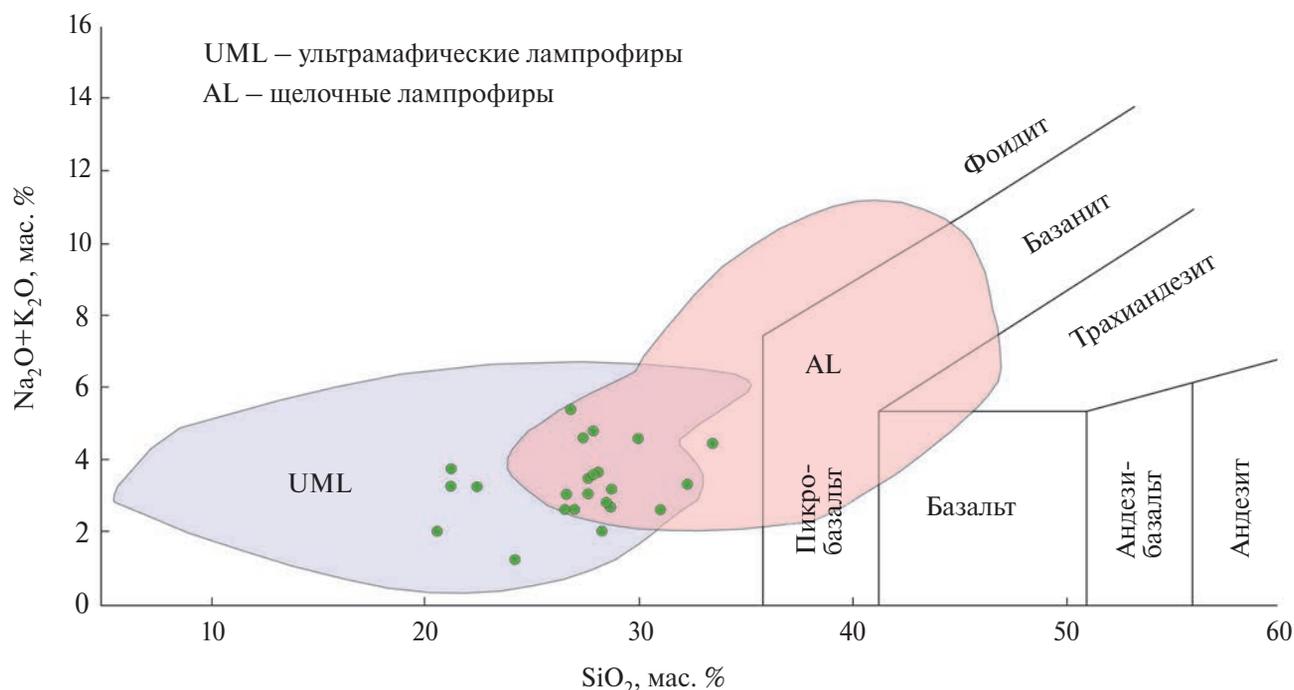


Рис. 4. Составы айлликов Курского блока Сарматии на диаграмме SiO₂–(K₂O+Na₂O) с полями ультрамафических и щелочных лампрофиров [14].

импульс магматизма связан с астеносферным апвеллингом при разрыве слэба субдуцированной океанической коры и излияниями базальтов 2099±8 млн лет назад [5]. Причиной отрыва слэба стала коллизия островной дуги с континентом на активной континентальной окраине Курского блока и Волго-Донского орогена около 2.1 млрд лет назад. Источником для карбонатитов могли быть обогащённые протолиты субконтинентальной литосферной мантии, образованные при плавлении и высвобождении флюидов из субдуцированного слэба океанической коры [19]. Однако для айлликов, демонстрирующих положительные аномалии Ti и Nb, такой механизм обогащения маловероятен. Скорее можно предполагать метасоматоз литосферной мантии за счёт плюмового источника.

Геолого-структурные данные ограничивают время внедрения айлликовых даек интервалом 2.10–2.07 млрд лет, вскоре после завершения субдукционных процессов в Восточной Сарматии. Это указывает на «орогенную» природу изученных лампрофиров и предполагает надсубдукционное обогащение литосферной мантии, служившей источником айлликов. Этой модели, однако, противоречат отчётливо проявленные в айлликах положительные аномалии Nb и Ti, которые невозможно увязать с плавлением

метасоматически переработанной надсубдукционной литосферной мантии, и которые предполагают, что метасоматическим агентом служил расплав или флюид из обогащённого мантийного источника. Совмещение таких условий в Тимском террейне могло быть реализовано за счёт эпизода метасоматической переработки деплетированной литосферной мантии ОИВ-расплавами при открытии Тимского задугового бассейна [6]. Можно предположить также, что выплавление айлликов из метасоматизированной ОИВ-расплавами литосферной мантии происходило синхронно с метасоматозом под влиянием привнесённого тепла. Позже около 2.07 млрд лет назад обширная коллизия континент–континент Волгоуралии и Сарматии [16] привела к деформации и метаморфизму как карбонатитовых тел, так и даек айлликов.

ВЫВОДЫ

1. В Курском блоке Сарматии впервые установлены дайки айлликов карбонат-биотитового состава. Они метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации ($T = 550^{\circ}\text{C}$, давление 2–3 кбар), деформированы и рассланцованы. Первичные магматические минералы (оливин, клинопироксен, перовскит) не сохранились.

2. Внедрение айлликитовых даек произошло в интервале 2.10–2.07 млрд лет назад по геологическим данным.

3. По геохимии айлликиты Курского блока близки к петротипическим айлликитам многих проявлений. Они имеют низкие содержания SiO_2 и Al_2O_3 , высокие MgO , TiO_2 , K_2O , Cr , Ni , Nb с резко фракционированными спектрами лёгких и тяжёлых РЗЭ.

4. Высоко радиогенный изотопный состав неодима указывает на ювенильный обогащенный (метасоматизированный) мантийный источник для айлликиотов.

5. Положительные аномалии Nb и Ti в айлликитах предполагают метасоматическую переработку деплетированной литосферной мантии OIB-расплавами при открытии Тимского задугового бассейна.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 23-27-00007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голивкин Н. И. Интрузивные и метасоматические породы / Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т. 1. Кн. 1. Докембрий. М.: Недра, 1970. С. 386–421.
2. Каргин А. В., Носова А. А., Постников А. В., Чугаева А. В., Постникова О. В., Попова Л. П., Пошибаев В. В., Сазонова Л. В., Докучаев А. Я., Смирнова М. Д. Девонские ультрамафические лампрофиры Иркинеево-Чадобецкого прогиба юга-запада Сибирской платформы: возраст, состав и значение для прогноза алмазности // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 5. С. 430–450.
3. 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.
4. Савко К. А. Фазовые равновесия в породах палеопротерозойской железистой формации Лебединского месторождения Курской магнитной аномалии и петрогенезис щелочно-амфиболовых железистых кварцитов // Петрология. 2006. Т. 14. № 6. С. 621–642.
5. Цыбуляев С. В., Савко К. А., Самсонов А. В., Кориш Е. Х. Палеопротерозойские вулканиты тимской свиты Курского блока Сарматии: возраст и геодинамическая обстановка // Доклады Академии Наук. 2020. Т. 495. № 1. С. 36–40.
6. 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.
7. Ashchepkov I., Zhmodik S., Belyanin D., Kiseleva O. N., Medvedev N., Travin A., Yudin D., Karmanov N. S., Downes H. Aillikites and Alkali Ultramafic Lamprophyres of the Beloziminsky Alkaline Ultrabasic-Carbonatite Massif: Possible Origin and Relations with Ore Deposits // Minerals. 2020. V. 10. 404.
8. Doroshkevich A. G., Chebotarev D. A., Sharygin V. V., Prokopyev I. R., Nikolenko A. M. Petrology of alkaline silicate rocks and carbonatites of the Chuktukon massif, Chadobets upland, Russia: Sources, evolution and relation to the Triassic Siberian LIP // Lithos. 2019. V. 332–333. P. 245–260.
9. Foley S. F., Pinter Z. Primary melt compositions in the Earth's mantle. In: Magmas Under Pressure; Elsevier Inc.: Amsterdam, The Netherlands, 2018. P. 3–42
10. Goldstein S. J., Jacobsen S. B. Nd and Sr isotopic systematics of river water suspended material: implications for crustal evolution // Earth and Planetary Science Letters. 1988. V. 87. P. 249–265.
11. Gudfinnsson G. H., Presnall D. C. Continuous gradations among primary carbonatitic, kimberlitic melilititic, basaltic, picritic, and komatiitic melts in equilibrium with garnet lherzolite at 3–8 GPa // Journal of Petrology. 2005. V. 46. P. 1645–1659.
12. Krmíček L., Rao N. V. C. Lamprophyres, lamproites and related rocks as tracers to supercontinent cycles and metallogenesis // Geological Society, London, Special Publications. 2022. V. 513. P. 1–16.
13. Nosova A. A., Kopylova M. G., Sazonova L. V., Vozniak A. A., Kargin A. V., Lebedeva N. M., Volkova G. D., Peresetskaya E. V. Petrology of lamprophyre dykes in the Kola Alkaline Carbonatite Province (N Europe) // Lithos. 2021. V. 398–399. 106277.
14. Rock N. M. S. Lamprophyres. Blackie, Glasgow and London, 1991. 285 p.
15. Pandey R., Pandey A., Chalapathi N. V. R., Belyatsky B., Choudhary A. K., Lehmann B., Pandit D., Dhote P. Petrogenesis of end-Cretaceous/Early Eocene lamprophyres from the Deccan Large Igneous Province: Constraints on plume-lithosphere interaction and the post-Deccan lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) beneath NW India // Lithos. 2019. V. 346–347. 105139.

16. 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. V. 311. P. 1–23.
17. 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 Paleoproterozoic core of the Eastern Sarmatia, Kursk block: U-Pb, Lu-Hf and Sm-Nd isotope mapping and paleotectonic application // *Precambrian Research*. 2021. V. 353. 106021.
18. Savko K. A., Samsonov A. V., Santosh M., Ovchinnikova M. Yu. Neoproterozoic-Paleoproterozoic sedimentary basins in the Sarmatian Craton: global correlations and connections // *Geological Journal*. 2021. V. 56. № 9. P. 4479–4498.
19. Savko K. A., Samsonov A. V., Salnikova E. B., Stifeva 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. V. 395. 107153.
20. Tappe S., Foley S. F., Jenner G. A., Heaman L. M., Kjarsgaard B. A., Romer R. L., Stracke A., Joyce N., Hoefs J. Genesis of ultramafic lamprophyres and carbonatites at Aillik Bay, Labrador: a consequence of incipient lithospheric thinning beneath the North Atlantic Craton // *Journal of Petrology*. 2006. V. 47. P. 1261–1315.

THE FIRST DISCOVERY OF THE PALEOPROTEROZOIC AILLIKITE DYKES IN SARMATIA: GEOCHEMISTRY AND PETROGENESIS

K. A. Savko^{1,2,*}, Corresponding Member of the RAS A. V. Samsonov², S. V. Tsybulyaev¹, N. S. Bazikov¹, E. H. Korish¹, R. A. Terentiev¹

¹*Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation*

²*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

*E-mail: ksavko@geol.vsu.ru

The aillikite dykes of carbonate-biotite composition, intersecting the Paleoproterozoic banded iron formations, were discovered in the Kursk block of Sarmatia for the first time. Their age is 2.10–2.07 Ga. The aillikite dykes have undergone epidote-amphibolite facies metamorphism (550 °C, 2–3 kbar), they are deformed and fouled; primary magmatic olivine and pyroxene did not survive. Geochemically, the ultramafic lamprophyres of the Kursk block are close to the petrotypical aillikites. They have low SiO₂ and Al₂O₃ concentrations, high MgO, TiO₂, K₂O, Cr, Ni, Nb and strongly fractionated LREE and HREE. According to available data, the aillikites and the Dubravinsky complex carbonatites could have been formed at different stages of melting of the uniform deep lithospheric source, which was enriched by lithophile elements shortly before the melting episode, possibly at the suprasubduction environment at ca. 2.1 Ga.

Keywords: aillikite dykes, Paleoproterozoic, Kursk block, carbonatites, melt sources