

УДК 552.3

## МЕЗОАРХЕЙСКИЕ ТОНАЛИТ-ТРОНДЬЕМИТ-ГРАНОДИОРИТОВЫЕ АССОЦИАЦИИ ВОСТОЧНОЙ САРМАТИИ: ВОЗРАСТ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

© 2019 г. К. А. Савко<sup>1</sup>, \*, А. В. Самсонов<sup>2</sup>, Е. Б. Сальникова<sup>3</sup>, А. Б. Котов<sup>3</sup>, А. Н. Ларионов<sup>4</sup>, Е. Х. Кориш<sup>1</sup>, В. П. Ковач<sup>3</sup>, Н. С. Базиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет, Воронеж

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

<sup>3</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург

<sup>4</sup> Центр изотопных исследований Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург

\*e-mail: ksavko@geol.vsu.ru

Поступила в редакцию 01.06.2018 г.

Принята к публикации 25.10.2018 г.

В пределах Курского блока Восточной Сарматии выделены два эпизода проявления мезоархейского магматизма (около 2.95 и 3.03 млрд лет назад), которые привели к образованию гранитоидов салтыковского комплекса, отвечающих по составу гранитоидам типичных тоналит-трондьемит-гранодиоритовых (ТТГ) ассоциаций архейских кратонов. Эти эпизоды хорошо коррелируются с установленными ранее возрастными рубежами формирования мезоархейских ТТГ-ассоциаций Среднеприднепровского и Приазовского блоков Украинского щита, что подтверждает представление о принадлежности Курского блока к единому мезоархейскому ядру Восточной Сарматии. Геохимические и Sm–Nd изотопно-геохимические особенности мезоархейских гранитоидов салтыковского комплекса свидетельствуют о том, что их источниками послужили более древние ТТГ-гнейсы.

**Ключевые слова:** тоналит, трондьемит, гранодиорит, Сарматия, метаморфизм, архей.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-592X2754-18>

### ВВЕДЕНИЕ

Основной объем континентальной коры архейских кратонов слагают ортогнейсы, которые отвечают по составу тоналитам, трондьемитам и гранодиоритам (ТТГ). Образование родоначальных для протолитов этих ортогнейсов расплавов обычно рассматривается как результат плавления метабазитов в поле устойчивости граната (Moуen, Martin, 2012 и ссылки в ней). Накопленные к настоящему времени данные показывают, что ТТГ-ассоциации архейских кратонов, которые долгое время объединялись под термином “серые гнейсы” (Moуen, 2011), различаются по изотопно-геохимическим характеристикам и по возрасту. Это, возможно, отражает разные условия формирования континентальной коры на протяжении ранней истории Земли. Реконструкция этих условий является одной из наиболее актуальных фундаментальных проблем геологии докембрия, для решения которой необходимо дальнейшее накопление информации

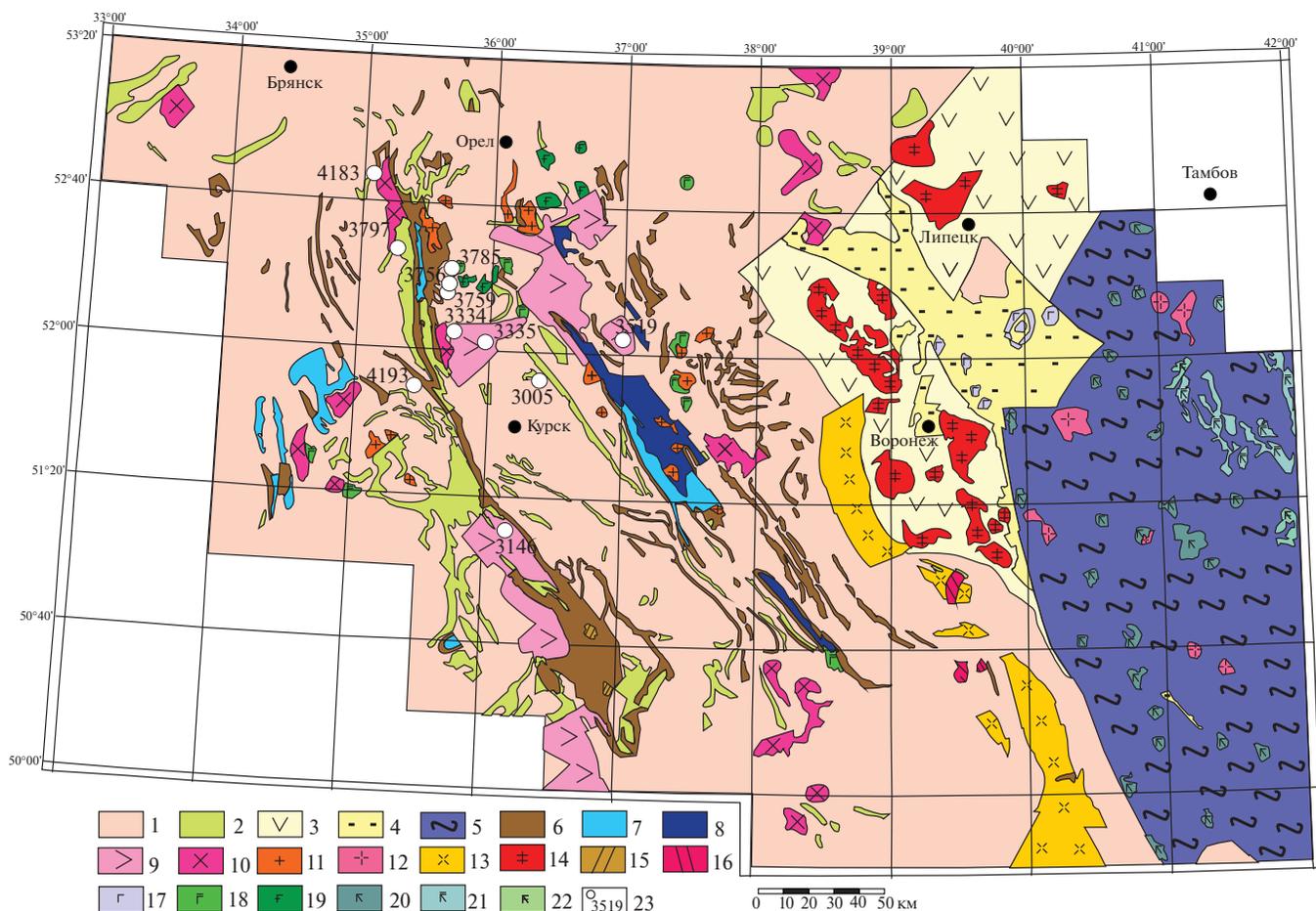
о возрасте, составе и происхождении древних ТТГ-ассоциаций.

С этой целью было предпринято геохронологическое, геохимическое и изотопно-геохимическое изучение гранитоидов салтыковского комплекса Курского блока (рис. 1), который вместе со Среднеприднепровским и Приазовским блоками Украинского щита рассматривается как единое мезоархейское ядро Восточной Сарматии (Shchipansky, Vоgdanova, 1996). Однако из-за слабой изученности архейских комплексов Курского блока такая корреляция до сих пор не имеет надежных геохронологических и изотопно-геохимических и обоснований.

### ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КУРСКОГО БЛОКА

Курский блок располагается в восточной части Сарматии (рис. 1). Он представляет собой типичную архейскую гранит-зеленокаменную





**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Воронежского кристаллического массива.

1 – обоянский комплекс; 2 – михайловская серия; 3 – лосевская серия; 4 – воронежская свита; 5 – воронцовская серия; 6 – курская серия; 7 – роговская свита; 8 – тимская свита; 9 – салтыковский комплекс; 10 – атаманский комплекс; 11 – стойло-николаевский комплекс; 12 – бобровский комплекс; 13 – павловский комплекс; 14 – усманский комплекс; 15 – шебекинский комплекс; 16 – лискинский комплекс; 17 – ольховский комплекс; 18 – золотухинский комплекс; 19 – смородинский комплекс; 20 – мамонский комплекс; 21 – новогольский комплекс; 22 – еланский комплекс; 23 – скважины, вскрывшие породы ТТГ-ассоциации, и их номера.

часть Приазовского блока) (Fonarev et al., 2006; Пилугин и др., 2010). Время проявления этого метаморфизма в пределах Курского блока остается неизвестным, поскольку изотопные системы в цирконах и монацитах были полностью “переуравновешены” при более позднем (около 2.82 млрд лет назад) гранулитовом метаморфизме (Савко и др., 2010; Savko et al., 2018). Вполне возможно, что с УНТ-метаморфизмом связано образование метаморфических цирконов с возрастом  $3085 \pm 5$  млн лет в гранат-биотитовых гнейсах волчанской толщи Приазовского блока (ID TIMS; Щербак и др., 2004).

В обрамлении зеленокаменных поясов, а также среди гнейсов и мигматитов обоянского комплекса закартировано несколько ТТГ-массивов, которые относят к салтыковскому комплексу. На сегодняшний день для гранитоидов этого комплекса получена только одна оценка возрас-

та –  $3013 \pm 80$  млн лет (ID TIMS по циркону; Артеменко, 1995), что затрудняет корреляцию проявлений ТТГ-магматизма Курского блока и Украинского щита.

#### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ

Определение содержаний главных элементов в породах выполнено рентгенофлюоресцентным методом в Воронежском государственном университете, а содержаний элементов-примесей – методом ICP-MS в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка) с относительной погрешностью 3–5%.

Выделение акцессорного циркона проводилось по стандартной методике с использованием тяжелых жидкостей. U–Th–Pb геохронологиче-

ские исследования выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) на ионном микрозонде SHRIMP II по методике (Larionov et al., 2004) с использованием эталонных цирконов “91500” и “Темора”. При расчетах использованы константы распада урана, предложенные в (Steiger, Jäger, 1976). Поправки на нерадиоогенный свинец введены по модели (Stacey, Kramers, 1975) на основе измеренных отношений  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Полученные результаты обработаны с помощью программ SQUID v1.12 (Ludwig, 2005) и ISOPLOT/Ex 3.22 (Ludwig, 2003).

U–Pb геохронологические исследования (ID TIMS) проведены в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). Выбранные для геохронологических исследований зерна циркона подвергались многоступенчатому удалению поверхностных загрязнений в спирте, ацетоне и 1 М  $\text{HNO}_3$ . При этом после каждой ступени они промывались особо чистой водой. Химическое разложение циркона и выделение U и Pb выполнено по модифицированной методике Т.Е. Кроу (Krogh, 1973). Для уменьшения степени дискордантности использовался метод предварительной кислотной обработки (Mattinson, 1994). Изотопные анализы выполнены на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI как в статическом, так и в динамическом режимах (при помощи счетчика ионов). Для изотопных исследований использовался изотопный индикатор  $^{235}\text{U}$ – $^{202}\text{Pb}$ . Точность определения U/Pb отношений и содержаний U и Pb составила 0.5%. Холостое загрязнение не превышало 15 пг Pb и 1 пг U. Обработка экспериментальных данных проводилась при помощи программ PbDAT (Ludwig, 1991) и ISOPLOT (Ludwig, 2003). При расчете возрастов использованы общепринятые значения констант распада урана (Steiger, Jäger, 1976). Поправки на обычный свинец введены в соответствии с модельными величинами (Stacey, Kramers, 1975). Все ошибки приведены на уровне  $2\sigma$ .

Sm–Nd изотопные исследования выполнены в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург). Изотопные составы Sm и Nd определены на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON TI в статическом режиме. Измеренные отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  нормализованы к отношению  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$  и приведены к отношению  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512115$  в Nd-стандарте JNdi-1. Средневзвешенное значение  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  в Nd-стандарте JNdi-1 за период измерений составило  $0.512102 \pm 6$  ( $n = 8$ ). Точность определения концентраций Sm и Nd составила  $\pm 0.5\%$ , изотопных отношений  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} \pm 0.5\%$ ,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 0.005\%$  ( $2\sigma$ ). Уровень холостого опыта не превышал 0.2 нг Sm и 0.5 нг Nd. При расчете величин  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  и модельных воз-

растов  $t_{\text{Nd(DM)}}$  использованы современные значения Sm–Nd отношений для однородного хондритового резервуара (CHUR) по (Jacobsen, Wasserburg, 1984) и деплетированной мантии (DM) по (Goldstein, Jacobsen, 1988).

### ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРАНИТОИДОВ САЛТЫКОВСКОГО КОМПЛЕКСА

Гранитоиды салтыковского комплекса представляют собой среднезернистые массивные и полосчатые, иногда порфирированные породы светло-серого цвета, обладающие аллотриоморфнозернистой (гранитной) структурой. Они сложены главным образом плагиоклазом ( $X_{\text{Ca}} = 0.15–0.25$ ; 45–55%), кварцем (20–25%), биотитом ( $X_{\text{Mg}} = 0.55–0.65$ ; 10–20%) и микроклином (до 5–10%). Редко присутствует зеленая роговая обманка (до 5%), которую часто замещают эпидот и хлорит. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, монацитом и сульфидами, а вторичные минералы – хлоритом, эпидотом и мусковитом.

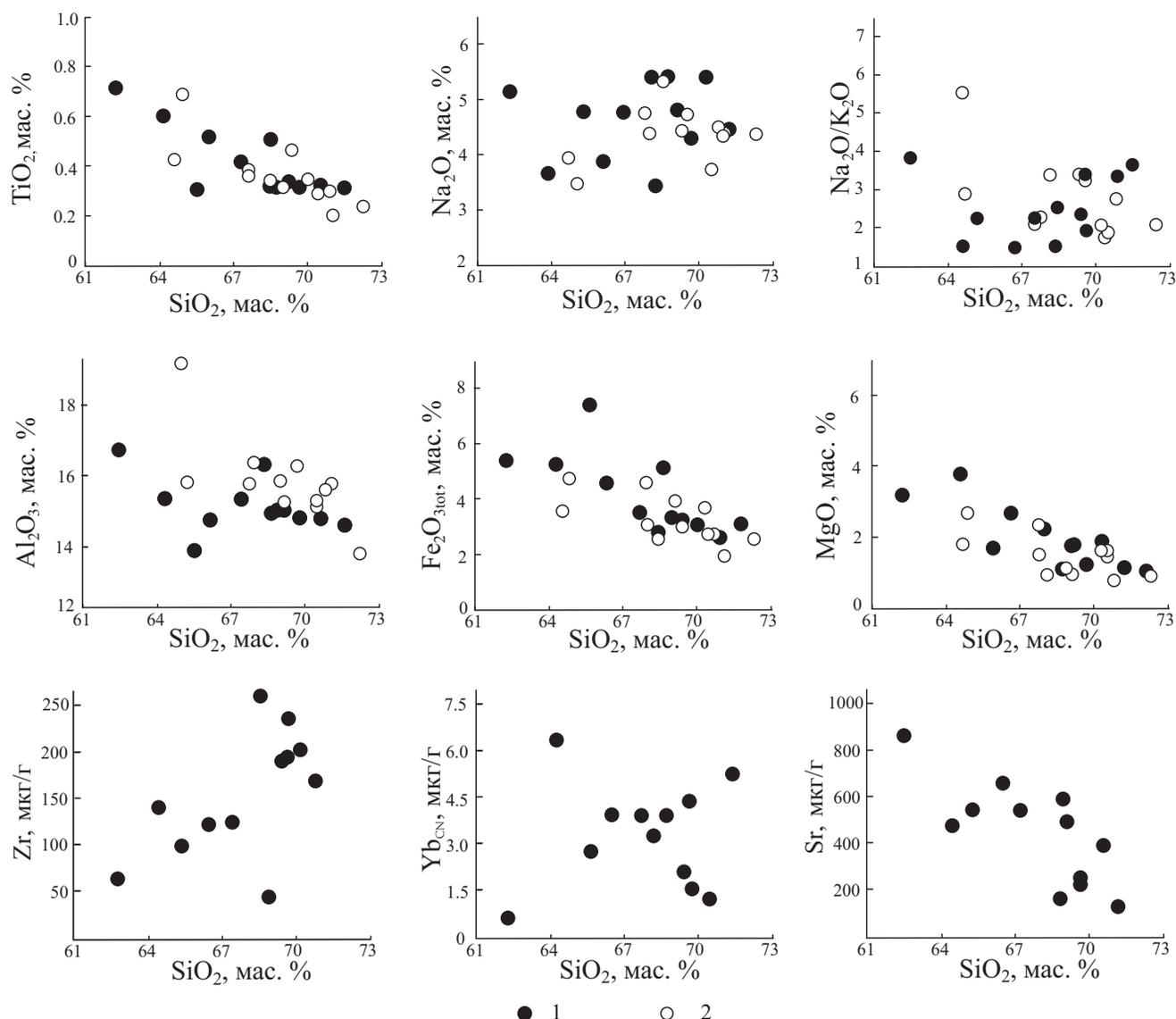
Содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в гранитоидах салтыковского комплекса изменяются в пределах 62–72 и 13.9–16.4 мас. % соответственно (табл. 1). Эти породы относятся к мета- и перглиноземистыми гранитоидам ( $A/\text{CNK} = 0.88–1.10$ ) и обогащены  $\text{Na}_2\text{O}$  (3.6–5.5 мас. %;  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1.3–3.9$ ). На диаграмме Ab–An–Or точки их составов попадают преимущественно в поля трондъемитов и гранодиоритов (рис. 3). Для них характерны повышенные содержания  $\text{MgO}$  (1.0–3.8 мас. %,  $X_{\text{Mg}} = 0.30–0.57$ ), значения суммы  $\text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2$  (4.2–10.1 мас. %) и повышенные значения суммы  $\text{FeO} + \text{MgO}$  при



Рис. 3. Составы пород ТТГ-ассоциации Курского блока на классификационной диаграмме гранитоидов.

Таблица 1. Химический состав гранитоидов салтыковского комплекса Курского блока

Компоненты	Скважина/глубина											
	3759/ 465	3146/ 304	3759/ 461.7	3756/ 524.8	3785/ 323.8	3785/ 340	3797/ 564.5	3005/ 322	4183/ 735.5	4193/ 312.6	3334/ 346.7	3335/ 422.5
SiO <sub>2</sub>	69.79	62.07	67.20	65.97	66.95	64.19	69.41	71.44	68.71	68.64	70.87	69.27
TiO <sub>2</sub>	0.33	0.73	0.42	0.31	0.51	0.64	0.34	0.34	0.51	0.33	0.33	0.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.65	16.14	15.33	13.88	14.54	15.12	14.88	14.44	14.64	16.26	14.65	14.73
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>tot</sup>	3.05	5.40	3.55	7.50	4.41	5.67	3.16	3.27	4.92	2.71	2.65	3.20
MgO	1.93	3.34	2.14	1.64	2.83	3.78	1.30	1.02	1.80	1.09	1.37	1.84
MnO	0.04	0.07	0.04	0.06	0.07	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.04	0.06
CaO	2.41	4.20	3.17	2.87	3.31	3.05	3.21	2.84	3.17	2.41	2.68	2.24
Na <sub>2</sub> O	4.16	5.11	4.76	4.70	3.70	3.60	4.71	4.25	3.17	5.38	5.22	5.45
K <sub>2</sub> O	2.22	1.33	2.23	2.11	2.80	2.64	2.08	1.21	2.48	2.22	1.51	1.76
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.46	0.21	0.12	0.26	0.18	0.15	0.06	0.25	0.10	0.13	0.14
Ппп	1.05	0.88	0.72	0.24	0.39	0.79	0.46	0.67	—	1.05	0.39	0.78
Сумма	99.73	99.93	99.77	99.66	99.76	99.70	99.73	99.57	99.70	100.25	99.84	99.87
X <sub>Mg</sub>	0.56	0.55	0.54	0.30	0.56	0.57	0.45	0.38	0.42	0.44	0.51	0.53
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1.87	3.84	2.13	2.23	1.32	1.36	2.26	3.51	1.28	2.42	3.46	3.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MgO+ +MnO+TiO <sub>2</sub>	5.35	9.54	6.15	9.51	7.82	10.13	4.83	4.66	7.28	4.19	4.39	5.49
A/CNK	1.07	0.92	0.96	0.91	0.96	1.05	0.94	1.07	1.07	1.04	0.97	0.98
V	83.5	85.4	60.1	74.3	66.5	108	33.7	53.8	35.1	54.4	36.9	40.6
Cr	43.1	13.0	26.6	37.5	22.7	34.4	11.2	21.0	<ПО	15.6	18.1	20.6
Co	10.2	14.6	8.6	8.4	10.8	17.8	5.8	5.3	7.7	5.2	6.5	10.6
Ni	32.2	15.5	24.9	28.8	30.0	48.0	5.5	8.0	25.0	16.7	9.4	12.3
Ga	19.3	21.6	18.5	17.4	17.9	18.4	16.0	14.8	14.1	13.2	16.9	16.7
Rb	70.2	18.9	66.8	59.8	50.5	64.0	45.5	34.3	54.3	45.6	33.7	49.0
Sr	483	856	586	589	656	474	258	177	197	595	410	280
Y	8.0	10.5	7.6	4.7	8.2	11.4	4.0	8.3	5.7	4.9	2.8	3.5
Zr	195	63.5	136	101	127	147	195	167	261	50.2	208	244
Nb	6.3	5.3	5.1	5.8	6.1	4.2	4.0	7.1	4.0	2.5	3.8	5.2
Ba	1103	348	600	685	736	617	497	524	444	782	543	428
La	32.4	94.4	25.1	29.2	26.4	33.8	25.1	29.3	22.7	8.0	28.2	22.4
Ce	67.8	196	50.7	59.0	50.5	66.5	45.6	48.2	41.0	15.5	53.2	42.3
Pr	6.9	20.6	5.4	6.3	5.5	7.5	4.7	4.4	4.5	1.8	5.1	4.2
Nd	24.7	67.6	19.3	22.6	19.5	28.6	15.6	14.6	16.5	7.4	17.3	15.1
Sm	4.0	7.6	3.1	2.9	3.5	4.6	2.7	2.5	2.7	1.4	2.0	2.1
Eu	1.1	1.7	1.0	0.77	0.91	1.3	0.70	0.82	0.79	0.50	0.54	0.54
Gd	3.1	4.3	2.2	1.8	2.6	3.4	1.8	2.6	2.1	1.2	1.1	1.3
Tb	0.39	0.47	0.29	0.19	0.30	0.41	0.20	0.34	0.26	0.18	0.12	0.15
Dy	1.7	2.5	0.97	0.86	1.1	2.1	0.97	1.8	1.3	1.1	0.57	0.70
Ho	0.30	0.39	0.26	0.17	0.27	0.42	0.15	0.34	0.23	0.21	0.09	0.12
Er	0.84	1.1	0.75	0.47	0.77	1.20	0.38	0.94	0.62	0.64	0.23	0.31
Tm	0.11	0.13	0.09	0.06	0.10	0.16	0.05	0.12	0.08	0.09	0.03	0.04
Yb	0.76	0.83	0.66	0.42	0.66	1.1	0.30	0.85	0.53	0.63	0.19	0.25
Lu	0.11	0.11	0.10	0.06	0.09	0.16	0.05	0.14	0.08	0.09	0.03	0.04
Hf	4.5	1.3	3.7	2.8	3.6	4.0	4.6	4.2	5.8	1.4	2.7	3.5
Ta	0.48	0.18	0.41	0.40	0.47	0.33	0.25	0.39	0.26	0.17	0.12	0.26
ΣREE	144	398	110	125	112	151	98	107	93	39	109	90
Eu/Eu*	0.96	0.91	1.17	1.03	0.92	1.00	0.97	0.98	1.01	1.18	1.11	1.00
(La/Yb) <sub>CN</sub>	30.6	81.6	27.3	49.9	28.7	22.0	60.0	24.7	30.7	9.1	106.5	64.3
Sr/Y	60	82	77	125	80	42	65	21	35	121	146	80
(La/Sm) <sub>n</sub>	5.23	8.02	5.23	6.50	4.87	4.74	6.00	7.57	5.43	3.69	9.10	6.89
(Gd/Yb) <sub>n</sub>	3.37	4.29	2.76	3.55	3.26	2.56	4.96	2.53	3.28	1.58	4.79	4.30
Nb/Nb*	1.29	0.66	1.30	1.26	1.47	0.98	1.25	1.19	1.69	—	—	23.4



**Рис. 4.** Составы пород ТТГ-ассоциации Курского блока на диаграммах Харкера. 1 – ТТГ Курского блока; 2 – ТТГ Среднеприднепровского блока, относимые к днепропетровскому комплексу (по Щербак и др., 2005; Щербаков, 2005; Великанов и др., 2012).

низких концентрациях Sr и Ni. На диаграммах Харкера отчетливо выражена отрицательная корреляция  $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{tot}}$ , MgO,  $\text{TiO}_2$  с  $\text{SiO}_2$  (рис. 4).

Гранитоиды салтыковского комплекса характеризуются относительно низкими содержаниями высокозарядных элементов: Zr (50–261 мкг/г, среднее 158 мкг/г), которые возрастают с увеличением содержания  $\text{SiO}_2$  (табл. 1), Nb (2.5–10 мкг/г, среднее 5.1 мкг/г), Ta (0.1–0.7 мкг/г, среднее 0.3 мкг/г), Y (3.5–14.9 мкг/г, среднее 6.6 мкг/г), а также относительно низкими содержаниями Rb (19–70 мкг/г, среднее 49 мкг/г), повышенными содержаниями Sr (177–856 мкг/г, среднее 463 мкг/г) и высокими значениями отношений Sr/Y (21–146, среднее 78) и Nb/Ta (12–32, среднее 18). За исключением двух образцов

с аномально высокими содержаниями REE, гранитоидам салтыковского комплекса свойственны умеренные содержания REE ( $\Sigma\text{REE} = 90\text{--}151$  мкг/г, среднее 114 мкг/г), при относительно высоких содержаниях LREE ( $\text{La}_{\text{cp.}} = 31.4$  мкг/г) и низких содержаниях HREE ( $\text{Yb}_{\text{cp.}} = 0.55$  мкг/г), что определяет высокие значения отношения  $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{CN}} = 44.6$ . При этом отсутствуют отчетливо выраженные Eu-аномалии ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.9\text{--}1.2$ ) (табл. 1, рис. 5).

В целом гранитоиды салтыковского комплекса по геохимическим особенностям отвечают типичным породам архейских ТТГ-ассоциаций (Drummond, Defant, 1990; Martin, 1994; Martin et al., 2005; Condie, 2005) и близки к гранитоидам днепропетровского ТТГ-комплекса

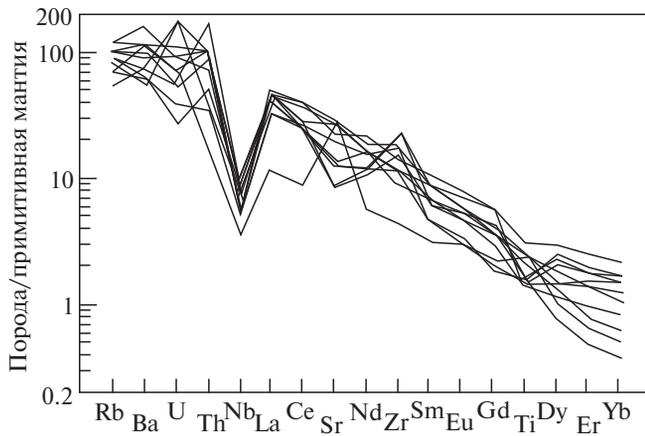


Рис. 5. Распределение малых и редких элементов в ТТГ Курского блока.

Среднеприднепровского блока (рис. 4) (Щербак и др., 2005; Щербаков, 2005; Великанов и др., 2012). Им свойственны “адакитовые” характеристики – высокие значения отношений Sr/Yb и La/Yb.

#### РЕУЛЬТАТЫ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов для U–Th–Pb и U–Pb геохронологических исследований были выбраны трондjemит (образец 3759/461.7, скважина 3759, глубина 461.7 м) и тоналит (образец 3146/304, скважина 3146, глубина 304 м) салтыковского комплекса из западной части Курского блока (район Михайловской синформы), а также трондjemит салтыковского комплекса (образец 3335/422.5, скважина 3335, глубина 422.5 м) из центральной части Курского блока (Курско-

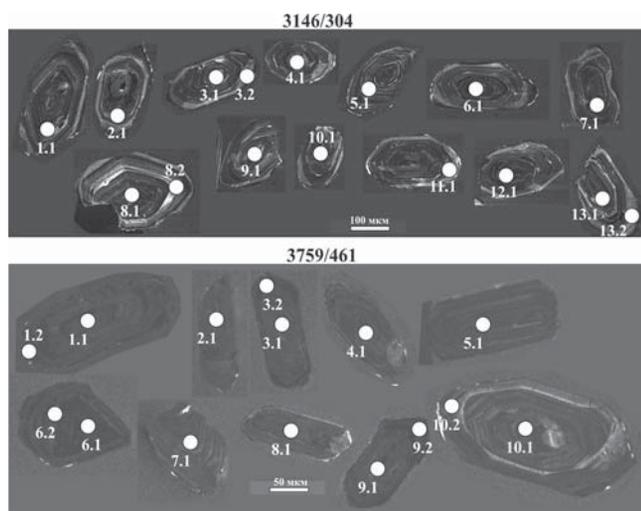


Рис. 6. Катодолуминесцентные снимки цирконов из ТТГ Курского блока и точки определения возраста их кристаллизации.

Бесединский домен). Места отбора образцов для геохронологических исследований показаны на рис. 2.

Акцессорный циркон, выделенный из трондjemита салтыковского комплекса западной части Курского блока (образец 3759/461.7), представлен субидиоморфными полупрозрачными кристаллами призматического облика (рис. 6), желтоватого и желтовато-коричневого цвета. Размер кристаллов составляет 50–100 мкм ( $K_{удл} = 2.0–3.0$ ) (рис. 6). Они характеризуются пониженной интенсивностью люминесценции, имеют зональное строение, трещиноватые, частично метамиктизированы и содержат твердофазные минеральные включения.

U–Th–Pb геохронологические исследования выполнены для 13 зерен циркона (табл. 2, рис. 7). При этом только для 5 зерен циркона удалось получить конкордантные и субконкордантные ( $D < 5\%$ ) оценки возраста (табл. 2, рис. 7). Среднее значение возраста по отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , рассчитанное для этих зерен циркона, составляет  $2956 \pm 16$  млн лет (СКВО = 1.8) (рис. 7).

Акцессорный циркон, выделенный из тоналита салтыковского комплекса западной части Курского блока (проба 3146/304), образует субидиоморфные, реже идиоморфные призматические и короткопризматические прозрачные и полупрозрачные кристаллы желтовато-коричневого цвета. Размер кристаллов изменяется от 50 до 100 мкм ( $K_{удл} = 2.0–3.0$ ). Для них характерно хорошо выраженное зональное строение (рис. 6).

В ходе U–Th–Pb геохронологических исследований получены 13 конкордантных и субконкордантных оценок возраста ( $D < 4\%$ ) циркона (табл. 2, рис. 7). Среднее значение возраста изученного циркона, рассчитанное по отношению  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , составляет  $2951 \pm 5$  млн лет (СКВО = 1.6) (рис. 7).

Акцессорный циркон из трондjemита салтыковского комплекса центральной части Курского блока (образец 3335/422.5) представлен светло-коричневыми полупрозрачными, частично метамиктизированными субидиоморфными кристаллами короткопризматического и призматического облика (рис. 8). Они огранены комбинацией призм  $\{100\}$ ,  $\{110\}$  и дипирамид  $\{101\}$ ,  $\{111\}$ ,  $\{112\}$  (рис. 8, I–IV). Размеры кристаллов варьируют от 50 до 100 мкм ( $K_{удл} = 1.0–3.0$ ). Для них характерны осциляторная зональность (рис. 8, V–VIII) и секториальность (рис. 8, VIII).

Для U–Pb геохронологических исследований использованы четыре навески циркона из размерных фракций  $>100$  и  $<100$  мкм, подвергнутого предварительной кислотной обработке

**Таблица 2.** Результаты U–Th–Pb исследований цирконов из гранитоидов салтыковского комплекса Курского блока

Номер анализа	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	Содержание, мкг/г			Изотопные отношения				Rho	Возраст, млн лет		
		$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	D, %
Трондъемит салтыковского комплекса западной части Курского блока (обр. 3759/461.7)												
6_1	0.71	357	3286	1324	0.42	0.1191±6	0.1255±2	2.060±6	0.29	762±13	1943±110	155
3_2	1.03	345	2378	222	0.10	0.1515±1	0.1671±2	3.493±2	0.83	762±13	2364±21	137
9_2	0.16	285	1971	2694	1.41	0.1549±1	0.1681±2	3.590±2	0.95	996±17	2401±10	140
6_2	0.60	235	1314	317	0.25	0.1657±1	0.2067±2	4.726±2	0.93	1002±17	2516±12	108
9_1	0.32	138	432	839	2.01	0.2026±1	0.3718±2	10.39±2	0.93	1211±20	2847±12	40
11_1	0.26	148	335	130	0.40	0.2116±0.5	0.5128±1	14.97±1	0.75	2038±33	2918±8	9
10_2	0.19	106	235	107	0.47	0.2149±1	0.5228±2	15.49±2	0.93	2669±12	2943±12	9
5_2	0.08	145	313	172	0.57	0.2140±1	0.5371±1	15.85±1	0.67	2711±42	2936±9	6
15_1	0.40	89.4	190	80	0.44	0.2139±1	0.5433±1	16.03±1	0.73	2771±12	2936±10	5
10_3	0.13	56.1	118	54	0.47	0.2169±1	0.5509±1	16.48±1	0.74	2797±15	2958±12	5
7_1	0.02	130	273	145	0.55	0.2186±1	0.5520±2	16.64±2	0.96	2829±19	2970±9	5
10_1	0.18	159	334	176	0.54	0.2171±1	0.5530±2	16.55±2	0.96	2834±43	2959±9	4
19_1	0.06	116	232	152	0.68	0.2163±1	0.5819±1	17.36±1	0.68	2838±43	2954±10	0
Тоналит салтыковского комплекса западной части Курского блока (обр. 3146/304)												
13_1	0.15	61.7	151	78	0.53	0.2139±0.5	0.4743±1	13.99±1	0.78	2503±12	2936±8	17
11_1	0.33	44	102	53	0.53	0.2141±1	0.4995±1	14.75±1	0.69	2611±14	2937±11	12
6_1	0.15	84.6	189	171	0.93	0.2171±0.5	0.5198±0.5	15.56±1	0.71	2698±10	2956±7	10
3_1	0.09	78	164	165	1.04	0.2174±0.5	0.5532±0.5	16.59±1	0.78	2839±11	2962±6	4
3_2	0.26	36.1	76	31	0.42	0.2140±1	0.5540±1	16.35±1	0.78	2842±18	2936±10	3
12_1	0.12	86.1	181	115	0.66	0.2148±0.5	0.5543±0.5	16.42±1	0.67	2843±11	2942±9	3
8_1	0.07	69	143	94	0.68	0.2147±0.5	0.5608±0.5	16.60±1	0.78	2870±12	2941±7	2
5_1	0.04	63.5	131	90	0.71	0.2156±0.5	0.5642±1	16.77±1	0.92	2884±24	2948±7	2
7_1	0.09	93.5	192	136	0.73	0.2146±0.5	0.5650±0.5	16.72±1	0.81	2887±12	2941±6	2
2_1	0.09	49.6	101	46	0.47	0.2177±0.5	0.5686±1	17.07±1	0.77	2902±14	2964±8	2
13_2	0.06	32.7	67	33	0.51	0.2153±1	0.5707±1	16.94±1	0.77	2911±18	2946±10	1
10_1	0.08	70.4	143	106	0.76	0.2153±0.5	0.5715±0.5	16.97±1	0.78	2914±12	2946±7	1
1_1	0.03	125	253	279	1.14	0.2169±0.5	0.5776±1	17.27±1	0.94	2939±19	2957±5	1
9_1	0.11	65.8	132	112	0.87	0.2174±0.5	0.5782±1	17.33±1	0.81	2942±14	2961±7	1
4_1	0.06	88.3	177	146	0.85	0.2161±0.5	0.5796±0.5	17.27±1	0.74	2947±12	2952±8	0
8_2	0.12	57.3	114	74	0.67	0.2158±0.5	0.5847±1	17.40±1	0.77	2968±14	2949±8	-1

Примечание.  $^{206}\text{Pb}_c$  и  $^{206}\text{Pb}^*$  – нерадиоогенный и радиоогенный свинец; нерадиоогенный свинец скорректирован с помощью измеренного  $^{204}\text{Pb}$ ; Rho – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} - ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ; D – коэффициент дискордантности. Величины ошибок соответствуют 68%-ному доверительному интервалу (1σ).

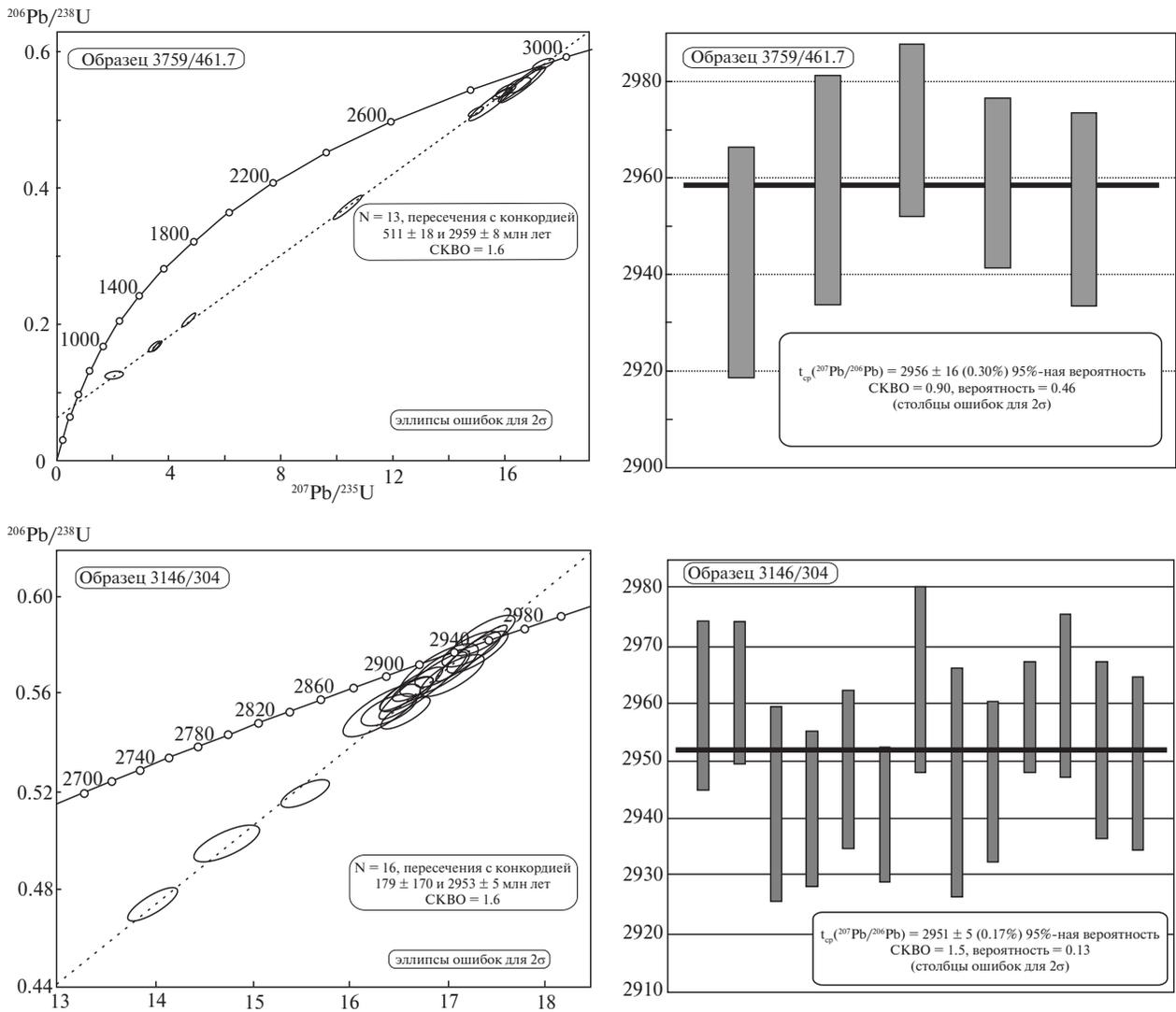


Рис. 7. Результаты U–Pb датирования цирконов из ТТГ Курского блока методом SIMS.

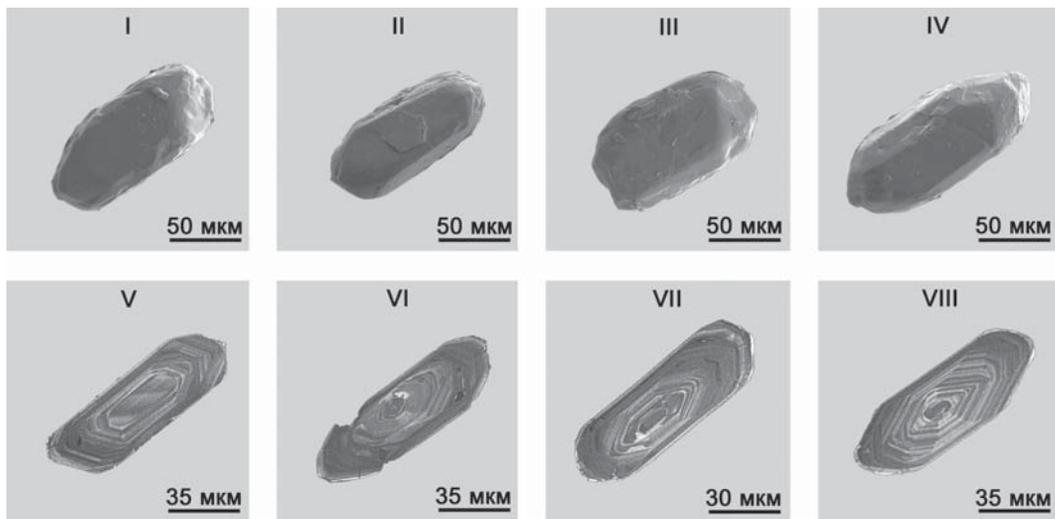


Рис. 8. Облик и внутреннее строение кристаллов циркона из ТТГ Курского блока, отобранных для геохронологических исследований.

**Таблица 3.** Результаты U–Pb геохронологических исследований акцессорного циркона из трондъемита салтыковского комплекса центральной части Курского блока (обр. 3335/422.5)

№ п/п	Размерная фракция (мкм) и характеристика циркона	U/Pb*	Изотопные отношения					Rho	Возраст, млн лет		
			$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^a$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^a$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	<100, кисл.обр = 2.0	1.76	829	0.2148±1	0.0963±1	14.8740±321	0.5021±6	0.98	2807±6	2623±6	2942±1
2	<100, кисл.обр = 2.5	1.63	2035	0.2187±1	0.0716±1	16.1245±322	0.5348±6	0.95	2884±5	2762±4	2971±1
3	>100, кисл.обр = 2.0	1.58	825	0.2200±1	0.0793±1	16.4573±410	0.5425±7	0.97	2904±7	2794±7	2981±1
4	<100, кисл.обр = 3.0	1.76	2640	0.2219±1	0.0748±1	17.0603±235	0.5575±4	0.97	2928±4	2856±4	2995±1

Примечание. <sup>a</sup> – изотопные отношения, скорректированные на бланк и обычный свинец; Rho – коэффициент корреляции ошибок отношений  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ; кисл.обр. = 2.0 – кислотная обработка циркона с заданной экспозицией (часы). Величины ошибок (2σ) соответствуют последним значащим цифрам после запятой.

**Таблица 4.** Результаты Sm–Nd изотопно-геохимических исследований гранитоидов салтыковского комплекса Курского блока Восточной Сарматии

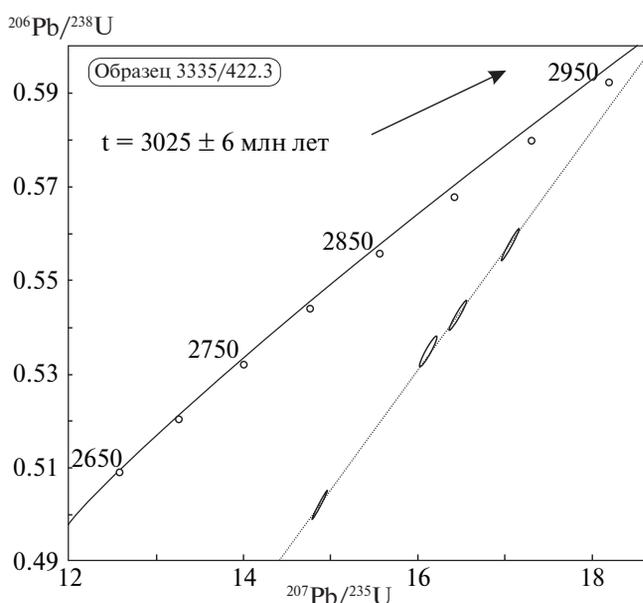
№ образца	Возраст, млн лет	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ( $\pm 2\sigma_{\text{изм.}}$ )	$\epsilon_{\text{Nd}(t)}$	$t_{\text{Nd(DM)}}$ , млн лет
3756/524.8	2960	2.60	19.92	0.0790	0.510421±3	+1.6	3069
3759/461.7	2960	2.80	18.21	0.0930	0.510648±3	+0.8	3140
3785/340	2960	4.32	27.3	0.0955	0.510675±2	+0.3	3171
3334/346.7	3025	2.16	17.79	0.0735	0.510206±4	+0.6	3180

в течение 2 или 3 часов (табл. 3). Точки их изотопного состава располагаются на дискордии, верхнее пересечение которой с конкордией соответствует возрасту  $3025 \pm 6$  млн лет, а нижнее –  $996 \pm 62$  млн лет (СКВО = 1.1) (рис. 9).

Морфологические особенности изученных цирконов из гранитоидов салтыковского комплекса Курского блока указывают на их магматическое происхождение. Следовательно, полученные для них возрастные оценки можно интерпретировать как время кристаллизации родоначальных для них расплавов.

Результаты Sm–Nd изотопно-геохимических исследований гранитоидов салтыковского комплекса приведены в табл. 4. Величины  $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$  гранитоидов этого комплекса варьируют от +0.3 до +1.6, т.е. являются значимо более низкими, чем величины  $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$  деплетированной мантии этого возраста (+3.6) (рис. 10). Nd-модельные возрасты  $t_{\text{Nd(DM)}}$  рассматриваемых гранитоидов находятся в интервале 3.2–3.1 млрд лет, что на 150–200 млн лет древнее, чем возраст их кристаллизации. Sm–Nd изотопные данные позволяют предполагать, что формирование родоначальных для гранитоидов салтыковского комплекса расплавов могло проис-

ходить посредством плавления более древних ТТГ-гнейсов или обогащенных легкими РЗЭ метабазитов с гранатом в остатке.

**Рис. 9.** Результаты U–Pb датирования цирконов из ТТГ Курского блока методом TIMS.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные геохронологические данные свидетельствуют о том, что к салтыковскому комплексу относятся гранитоиды разного возраста. Для трондьемита и тоналита этого комплекса западной части Курского блока (район Михайловской синформы) получены оценки возраста соответственно  $2956 \pm 16$  и  $2951 \pm 5$  млн лет, а для трондьемита из его центральной части —  $3025 \pm 6$  млн лет. Таким образом, в истории геологического развития Курского блока можно выделить по крайней мере три эпизода проявления ТТГ-магматизма:

- (1) формирование протолитов ТТГ-гнейсов обоянского комплекса (около 3.2–3.3 млрд лет);
- (2) становление интрузий гранитоидов салтыковского комплекса центральной части Курского блока (около 3.03 млрд лет);
- (3) становление интрузий гранитоидов салтыковского комплекса западной части Курского блока (около 2.95 млрд лет).

ТТГ-магматизм широко проявлен в архее Восточной Сарматии. Породами именно этой ассоциации сложены самые древние сохранившиеся фрагменты палеоархейской коры Приазовского блока (Щербак и др., 2005). Как видно из схемы корреляции (рис. 11), ТТГ-магматические комплексы Восточной Сарматии имеют главным образом мезоархейский возраст. В Среднеприднепровском блоке выделены следующие импульсы проявления ТТГ-магматизма: 3.20, 3.13, 3.08 и 2.97–3.03 млрд лет (Samsonov et al., 1996; Щербак и др., 2005). В Приазовском блоке установлены как палеоархейские (3.6–3.7, 3.5, 3.3 млрд лет), так и мезоархейские (2.97, 3.04, 2.89 млрд лет) ТТГ-магматические комплексы (Татарина и др., 2001; Артеменко и др., 2004,

2014; Щербак и др., 2005). В Курском блоке пока достоверно установлены только два эпизода мезоархейского гранитоидного магматизма в интервале 2.95–3.03 млрд лет, в ходе которых произошло формирование гранитоидов салтыковского комплекса, близких по возрасту и геохимическим особенностям к ТТГ-гнейсам Среднеприднепровского (2.97–3.03 млрд лет) и Приазовского (2.97–3.04 млрд лет) блоков (рис. 11).

Мезоархейская эндогенная история Восточной Сарматии завершается региональным метаморфизмом гранулитовой и амфиболитовой фаций на рубеже 2.82 млрд лет (Щербак и др., 2005; Савко и др., 2010; Savko et al., 2018), который фиксирует консолидацию континентальной коры этого мегаблока. После этого метаморфического события проявления раннедокембрийского ТТГ-магматизма в Восточной Сарматии не установлены, хотя в пределах других древних кратонов неоархейские и даже палеопротерозойские ТТГ-магматические комплексы не являются редкостью.

Вариации составов разновозрастных гранитоидов салтыковского комплекса, их изотопных (рис. 10) и геохимических характеристик, в том числе таких индикаторных параметров, как концентрации Al, Sr, Y, Yb и отношения Sr/Y, La/Yb (рис. 4, 12), скорее всего, являются следствием формирования исходных для них расплавов за счет разных источников. Как уже отмечалось, рассматриваемые гранитоиды обладают “адакитовыми” геохимическими характеристиками (рис. 12), что обычно объясняется как результат частичного плавления метабазитов в равновесии с гранатсодержащим реститом (Moyen, Martin, 2012).

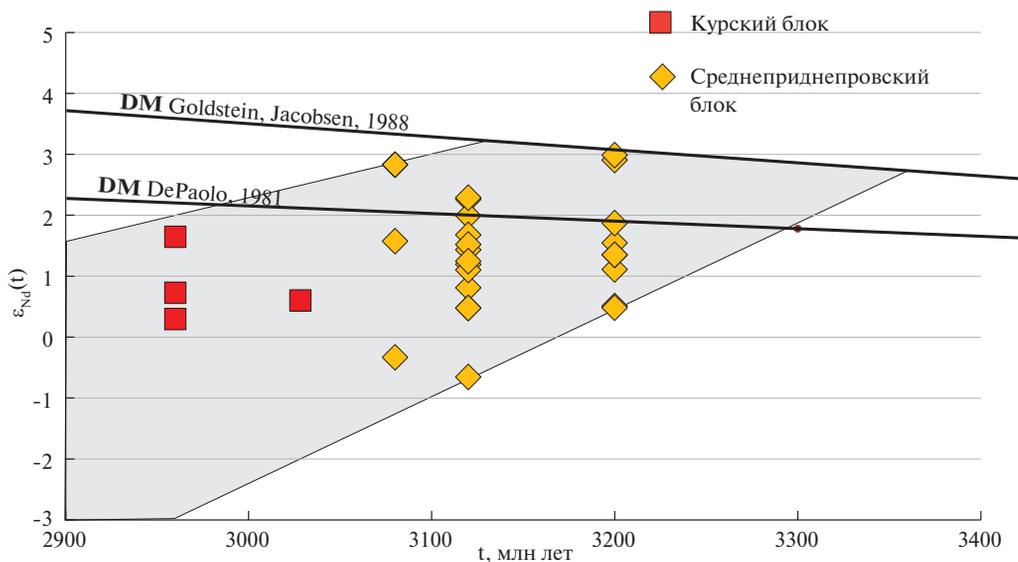


Рис. 10. Результаты Sm–Nd исследований ТТГ Курского и Среднеприднепровского блоков.

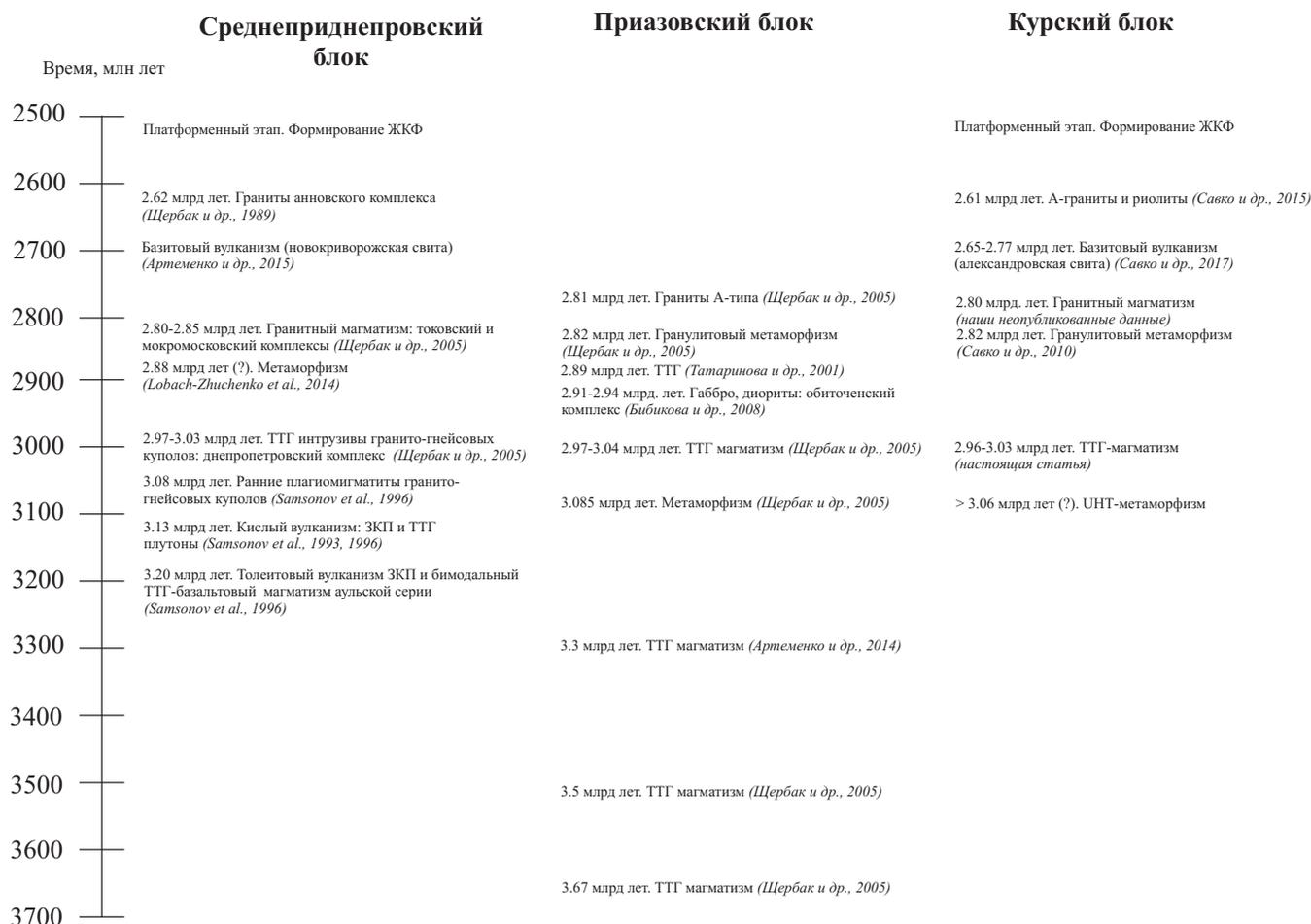


Рис. 11. Корреляция основных эндогенных событий в архее Восточной Сарматии.

ЖКФ – железисто-кремнистые формации; ЗКП – зеленокаменные пояса; УНТ – ультравысокотемпературный.

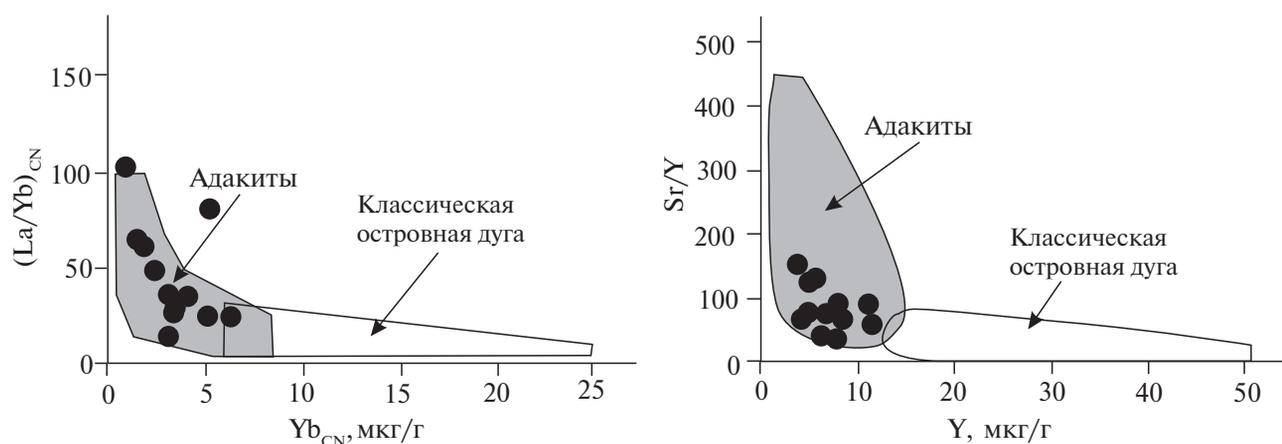


Рис. 12. Составы ТТГ Курского блока на классификационных диаграммах.

Sm–Nd изотопные данные свидетельствуют о сравнительно короткой коровой предыстории источников гранитоидов салтыковского комплекса или их обогащении легкими РЗЭ. Формирование исходных для них расплавов могло быть связано с высокими степенями плавления более древних ТТГ-ассоциаций. В качестве таковых могли вы-

ступать ТТГ-гнейсы обоянского комплекса. Также нельзя исключить по аналогии с ТТГ-ассоциациями Среднеприднепровского блока, что источниками расплавов гранитоидов салтыковского комплекса могли являться более ранние (3.2–3.1 млрд лет) основные и кислые вулканические породы зеленокаменных комплексов, обогащенные легкими РЗЭ (рис. 10).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пределах Курского блока широко проявлены гранитообразующие процессы мезоархейского возраста, которые привели к формированию гранитоидов салтыковского комплекса с возрастом около 2.95 и 3.03 млрд лет. Эти эпизоды ТТГ-магматизма хорошо коррелируются с установленными ранее возрастными рубежами формирования мезоархейских ТТГ-ассоциаций Среднеприднепровского и Приазовского блоков Украинского щита, что подтверждает представление о принадлежности Курского блока к единому мезоархейскому ядру Восточной Сарматии. За ними последовал региональный метаморфизм гранулитовой и амфиболитовой фаций (2.82 млрд лет) и консолидация мезоархейской коры этого мегаблока. Главным источником расплавов, родоначальных для мезоархейских гранитоидов салтыковского комплекса, скорее всего, послужили гранитоиды более древних ТТГ-ассоциаций.

**Источники финансирования.** Работа поддержана Госзаданием ИГЕМ РАН “Петрология и минералогия магматизма внутриплитных и посторогенных обстановок: роль литосферных и астеносферных источников в формировании расплавов”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артемченко Г.В.* Геохронологическая корреляция вулканизма и гранитоидного магматизма юго-восточной части Украинского щита и Курской магнитной аномалии // Геохимия и рудообразование. 1995. Вып. 21. С. 129–154.
- Артемченко Г.В., Татарина Е.А., Демедюк В.В., Швайка И.А.* Возраст гранитоидов Славгородского блока (Среднеприднепровский мегаблок) // Докл. НАН Украины. 2004. № 8. С. 118–123.
- Артемченко Г.В., Швайка И.А., Татарина Е.А.* Палеоархейский возраст ультраметаморфических плагиогранитоидов Курско-Бесединского блока (Воронежский кристаллический массив) // Геол. журн. 2006. № 1. С. 84–87.
- Артемченко Г.В., Шумлянский Л.В., Швайка И.А.* Позднепалеоархейские тоналитовые гнейсы Западно-Приазовского блока (Приазовский мегаблок Украинского щита) // Геол. журн. 2014. № 4 (349). С. 91–102.
- Артемченко Г.В., Самборская И.А., Мартынюк А.В.* Геохимическая характеристика и геодинамические условия формирования метабазитов и метакоматиитов Кривбасса (Среднеприднепровский мегаблок УЩ) // Минералогічний журнал. 2015. Т. 37. № 2. С. 76–89.
- Бибикова Е.В., Лобач-Жученко С.В., Артемченко Г.В., Классон С., Коваленко А.В., Крылов И.Н.* Позднеархейские магматические комплексы Приазовского террейна Украинского щита: геологическое положение, изотопный возраст, источники вещества // Петрология. 2008. Т. 16. № 3. С. 227–247.
- Бочаров В.Л., Фролов С.М., Плаксенко А.Н., Левин В.Н.* Ультрамафит-мафитовый магматизм гранит-зеленокаменной области КМА. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993.
- Великанов Ю.Ф., Великанова О.Ю., Занкевич Б.А., Николаенко В.И., Покалюк В.В., Шафранская Н.В.* Гранитоиды обрамления Криворожской структуры. Проблемы корреляции геологических тел и комплексов // Геол. журн. 2012. № 3. С. 49–58.
- Пилюгин С.М., Савко К.А., Новикова М.А.* Физико-химические условия метаморфизма железисто-кремнистой формации Приазовского блока Украинского щита // Вестник Воронежского ун-та. Сер. геол. 2010. № 1. С. 121–134.
- Савко К.А., Пилюгин С.М., Новикова М.А.* Минералогия, фазовые равновесия и условия метаморфизма пород неоархейской железисто-кремнистой формации в пределах Тарасовских аномалий // Вестник Воронежского ун-та. Сер. геол. 2004. № 2. С. 111–126.
- Савко К.А., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Кориш Е.Х., Пилюгин С.М., Артеменко Г.В., Кориковский С.П.* Возраст метаморфизма гранулитовых комплексов Воронежского кристаллического массива: результаты U–Pb геохронологических исследований монацита // Докл. АН. 2010. Т. 433. № 2. С. 647–652.
- Савко К.А., Холина Н.В., Холин В.М., Ларионов А.Н.* Возраст неоархейских ультракалиевых риолитов – важный геохронологический репер эволюции раннедокембрийской коры Воронежского кристаллического массива // Материалы VI Российской конференции по изотопной геохронологии. СПб.: Springer, 2015. С. 247–249.
- Савко К.А., Самсонов А.В., Холин В.М., Базиков Н.С.* Мегаблок Сарматия как осколок суперкратона Ваалбара: корреляция геологических событий на границе архея и палеопротерозоя // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25. № 2. С. 3–26.
- Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований // Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 38. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
- Татарина Е.А., Шпильчак В.А., Бартницкий Е.А.* U–Pb возраст тоналит-трондьемитовой ассоциации Гуляйпольского блока (западное Приазовье) // Вестник Воронежского ун-та. Сер. геол. 2001. № 12. С. 131–136.
- Щербак Н.П., Артемченко Г.В., Бартницкий Е.Н., Змиевский Г.Е., Татарина Е.А.* Возраст осадочно-вулканогенных формаций Восточно-Анновской полосы // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1989. № 2. С. 30–35.
- Щербак Н.П., Артемченко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н.* Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. Киев: Наукова думка, 2004.
- Щербак Н.П., Артемченко Г.В., Переверзев С.И., Демедюк В.В., Татарина Е.А.* Возрастные соотношения метаморфических и магматических комплексов Среднеприднепровского и Приазовского мегаблоков // Доп. НАН України. 2005. № 8. С. 121–126.

- Щербаков И.Б.* Петрология Украинского щита. Львів: ЗУКЦ, 2005.
- Щипанский А.А., Самсонов А.В., Петрова А.Ю., Ларионова Ю.О.* Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое // Геотектоника. 2007. № 1. С. 43–70.
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Guterch A., Janik T., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlait E.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. V. 32. P. 599–628.
- Condie K.C.* TTGs and adakites: are they both slab melts? // Lithos. 2005. V. 80. P. 33–44.
- De Paolo D.J.* Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization // Earth Planet. Sci. Lett. 1981. V. 53. P. 189–202.
- Drummond M.S., Defant M.J.* A model from trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archaean to modern comparisons // J. Geophys. Res. 1990. V. 95. P. 21503–21521.
- Fonarev V.I., Pilugin S.M., Savko K.A., Novikova M.A.* Exsolution textures of orthopyroxene and clinopyroxene in high-grade BIF of the Voronezh Crystalline Massif: evidence of ultrahigh-temperature metamorphism // J. Metamorphic Geol. 2006. V. 24. P. 135–151.
- 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. V. 87. № 3. P. 249–266
- Gorbatshev R., Bogdanova S.* Frontiers in the Baltic Shield // Precambrian Res. 1993. V. 64. P. 3–21.
- Jacobsen S.B., Wasserburg G.J.* Sm–Nd evolution of chondrites and achondrites // Earth Planet. Sci. Lett. 1984. V. 67. P. 137–150.
- Krogh T.E.* A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination // Geochim. Cosmochim. Acta. 1973. V. 37. P. 485–494.
- 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. Geol. Soc. London Mem. 2004. V. 30. P. 69–74.
- Lobach-Zhuchenko S.B., Balagansky V.V., Baltybaev Sh.K. et al.* The Orekhov–Pavlograd zone, Ukrainian Shield: milestones of its evolutionary history and constraints for tectonic models // Precambrian Res. 2014. V. 252. P. 71–87.
- Ludwig K.R.* PBDAT: A computer program for processing Pb–U–Th isotope data, version 1.20. Reston, Virginia: U.S. Geol. Surv. Open-File Report, 1991. 88–542. 40 p.
- Ludwig K.R.* User's manual for Isoplot/Ex version 3.00, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkley: Berkley Geochronology Center Spec. Publ., 2003. № 4. 72 p.
- Ludwig K.R.* SQUID 1.12 A User's Manual. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkley: Berkeley Geochronology Center Spec. Publ., 2005. 22 p. <http://www.bgc.org/klprogramm.html>
- Martin H.* The Archean grey gneisses and the genesis of the continental crust // Archean crustal evolution. Developments in Precambrian Geology. Ed. Condie K.C. Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 205–259.
- Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F., Champion D.* An overview of adakite, tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution // Lithos. 2005. V. 79. № 1. P. 1–24.
- Mattinson J.M.* A study of complex discordance in zircons using step-wise dissolution techniques // Contrib. Mineral. Petrol. 1994. V. 116. P. 117–129.
- Moyen J.-F.* The composite Archaean grey gneisses: petrological significance and evidence for a non-unique tectonic setting for Archaean crustal growth // Lithos. 2011. V. 123. P. 21–36.
- Moyen J.-F., Martin H.* Forty years of TTG research // Lithos. 2012. V. 148. P. 312–336.
- Samsonov A.V., Zhuravlev D.Z., Bibikova E.V.* Geochronology and petrogenesis of an Archaean acid volcano-plutonic suite of the Verchovtsevo greenstone belt, Ukrainian Shield // Int. Geol. Rev. 1993. V. 35. P. 1166–1181.
- Samsonov A.V., Chernyshev I.V., Nutman A.P., Compston W.* Evolution of the Archaean Aulian Gneiss Complex, Ukraine: SHRIMP U–Pb zircon evidence // Precambrian Res. 1996. V. 78. P. 65–78.
- 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. V. 311. P. 1–23.
- Shchipansky A.A., Bogdanova S.V.* The Sarmatian crustal segment: Precambrian correlation between the Voronezh Massif and the Ukrainian Shield across the Dniepr–Donets Aulacogen // Tectonophysics. 1996. V. 268. P. 109–125.
- Stacey J.S., Kramers J.D.* Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two stage model // Earth Planet. Sci. Lett. 1975. V. 26. P. 207–221.
- Steiger R.H., Jäger E.* Subcommittee on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology // Earth Planet. Sci. Lett. 1976. V. 36. P. 359–362.

*Рецензенты А.А. Щипанский, В.Н. Сергеев*

# THE MESOARCHAEAN TONALITE-TRONDHJEMITE-GRANODIORITE ASSOCIATIONS OF THE EASTERN SARMATIA: AGE AND GEOLOGICAL PLACEMENT

**K. A. Savko<sup>1</sup>, A. V. Samsonov<sup>2</sup>, E. B. Sal'nikova<sup>3</sup>, A. B. Kotov<sup>3</sup>,  
A. N. Larionov<sup>4</sup>, E. H. Korish<sup>1</sup>, V. P. Kovach<sup>3</sup>, N. S. Bazikov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russia*

*<sup>2</sup>Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS, Moscow, Russia*

*<sup>3</sup>Institute of Precambrian geology and geochronology RAS (IPGG RAS), Saint-Petersburg, Russia*

*<sup>4</sup>Centre of Isotopic Research of A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg, Russia*

Two Mesoarchaeon magmatism episodes (ca. 2.95 and 3.03 Ga) occurred within the Kursk domain of the Eastern Sarmatia. They formed the Saltyki complex granitoids with composition typical for Mesoarchaeon cratons tonalite-trondhjemite-granodiorite associations (TTG). The mentioned episodes correlate well with the previously estimated geochronological boundaries for the Mesoarchaeon Middle Dnieper and Azov domains (Ukrainian Shield) formation, which confirms the assumption that the Kursk domain was a part of the uniform Mesoarchaeon Eastern Sarmatia nucleus. According to the Mesoarchaeon Saltyki complex granitoids geochemical and Sm–Nd isotopic characteristics, the older TTG-gneisses seem to be the protolith for their formation.

*Keywords:* tonalite, trondhjemite, granodiorite, Sarmatia, metamorphism, Archaean.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-592X2754-18>