

## ГЕОХРОНОЛОГИЯ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ГАББРОДИОРИТ-ТОНАЛИТОВЫХ И ГРАНОДИОРИТ-ГРАНИТНЫХ ПОРОД ТАЛОВСКОЙ ИНТРУЗИИ (ВОРОНЕЖСКИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ МАССИВ)

К. А. Савко, В. Ю. Скрыбин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15 сентября 2012 г.

**Аннотация.** Рассмотрены особенности геологического строения двухфазного (габбродiorит-тоналитового и гранодиорит-гранитного) Таловского массива. Даны минералого-петрографическая и петрохимическая характеристики пород и выявлены закономерности процесса кристаллизационной дифференциации при их формировании, обусловленные фракционированием минералов в ликвидусных и котектических условиях. Приведены результаты определения изотопного состава свинца и урана в цирконах из тоналитов первой интрузивной фазы, выполненного методом SHRIMP, и результаты расчета изотопных  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  и конкордантного  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  возрастов. Полученные данные (соответственно  $2052 \pm 6$  и  $2050 \pm 7$  млн лет) свидетельствуют о формировании пород Таловской интрузии в период кульминационного проявления магматизма в восточной части Воронежского кристаллического массива (ВКМ) на этапе палеопротерозойской коллизии. Предлагается выделение продуктов габбродiorит-тоналитового и гранодиорит-гранитного магматизма восточной части ВКМ в самостоятельный таловский интрузивный комплекс.

**Ключевые слова:** габбродiorиты, тоналиты, гранодиориты, граниты, дифференциация магмы, изотопная геохронология.

**Abstract.** The geological features of the two-phase (gabbrodiorite-tonalite and granodiorite-granite) Talovsky intrusion are discussed. The crystallization differentiation regularities are identified on the base of the rock chemistry and mineralogy. They are due to minerals fractionation at the subliquidus and cotectic conditions. SHRIMP isotope dating of zircons from tonalite of the first intrusion phase is performed.  $2052 \pm 6$  and  $2050 \pm 7$  ma ages suggest the Talovsky massif formed at the collision magmatism culmination stage within the East Voronezh Crystalline Massif. New Talovsky magmatic complex is offered for gabbrodiorite-tonalite and granodiorite-granite series rocks.

**Key words:** gabbrodiorite, tonalite, granodiorite, granite, magma differentiation, isotope geochronology

### Введение

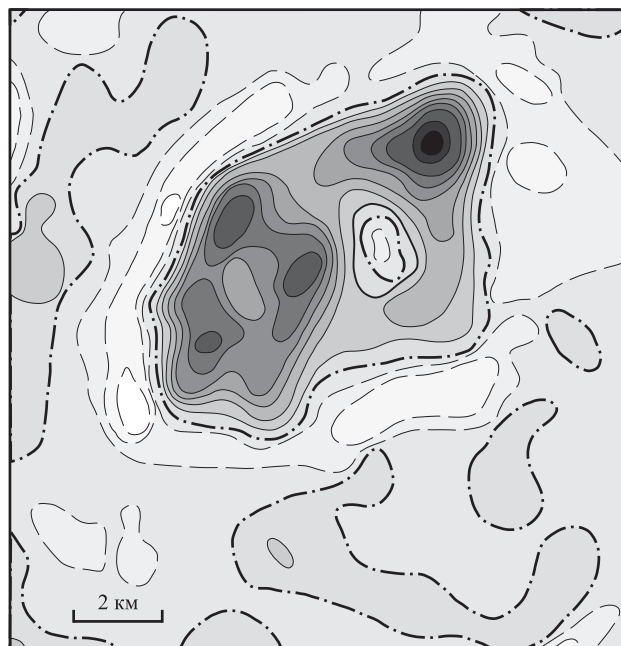
Выявление уже на ранней стадии изучения докембрийского фундамента восточной части ВКМ в мафит-ультрамафитовых породах сульфидного медно-никелевого оруденения обусловило благодетельность последующего интенсивного исследования региона. Однако гипертрофированное отношение к перспективам никеленосности привело в дальнейшем к упрощенным представлениям геологов о закономерностях развития магматизма, когда все меланократовые породы (за исключением интрузивных траппов) стали относить к мамонскому, затем и к еланскому рудоносным комплексам, а лейкократовые породы к бобровскому гранитному комплексу.

По результатам бурения в 2005–2007 гг. Воронежской параметрической скважины были впервые описаны [1] интрузивные образования Новомеловатского массива, весьма схожие по своим минералого-петрографическим особенностям с породами еланского никеленосного комплекса, но отличающиеся от последних более молодым возрастом, иным трендом дифференциации и стерильной в отношении никеля минерагенией. В последнее время получены сведения о гетерогенности не только мафитовых комплексов, но и гранитоидных образований восточной части ВКМ [2].

В связи с этим следует рассматривать настоящую публикацию как логическое продолжение всестороннего исследования и ревизии интрузивных образований региона с целью разработки современной легенды и критериальной оценки минерагении докембрийского магматизма ВКМ.

### Геологическое строение интрузии

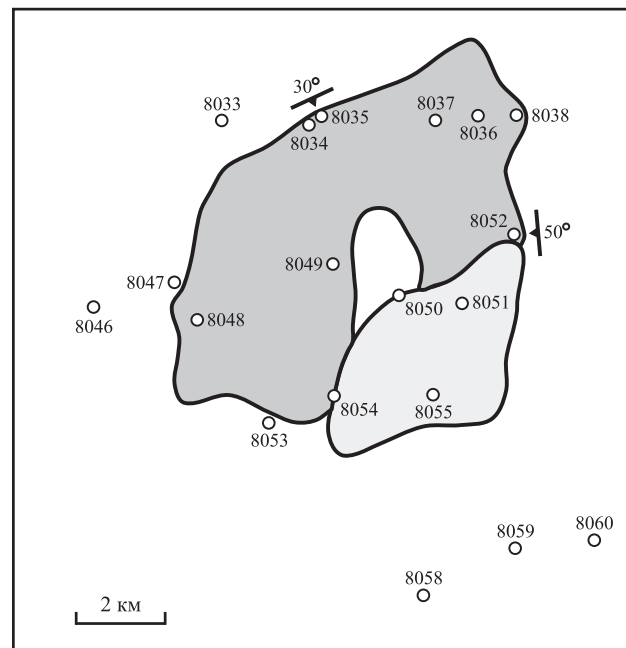
Таловский массив расположен в пределах восточной части ВКМ среди поля палеопротерозойских метатерригенных образований воронцовской серии и хорошо выражен максимумом в гравитационном поле (рис. 1). В эрозионном срезе докембрийского фундамента он имеет изометричную форму и занимает площадь около 45 км<sup>2</sup> (рис. 2). Северо-западный и восточный контакты, вскрытые скважинами 8035 и 8052, падают к центру массива, а в его центральной части наблюдается провес кровли, сложенный вмещающими метаалевропесчаниками и сланцами, что позволяет предполагать коническую, воронкообразную форму интрузии. Судя по интенсивности наблюдаемого над массивом гравитационного максимума магмоподводящий канал расположен в его северо-восточной части.



**Рис. 1.** Карта гравитационных аномалий района Таловского массива (по данным Южной геофизической экспедиции ПГО “Центргеология”)

Массив имеет двухфазное строение. Образования первой фазы представлены породами варьирующего состава от габбродиоритов до тоналитов и слагают северо-западную часть интрузии, занимая более 70 % ее площади. Они содержат ксенолиты вмещающих метатерригенных пород размером до 0,6–0,9 м, а в приконтактных зонах присутствуют даже более крупные фрагменты (мощностью более

14 м) ее кровли. Наиболее ярко контактовые взаимоотношения с вмещающими породами проявлены в скв. 8035, где в интрузии наблюдается зона заделки мощностью около 1 м, а породы экзоконтакта на расстоянии более 2 м превращены в амфибол-биотит-плагиоклазовые и кварц-плагиоклаз-биотитовые роговики с участками реликтовой полосчатости (слоистости) исходных метатерригенных отложений воронцовской серии.



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Таловского массива. Условные обозначения: 1 – метатерригенные образования воронцовской серии, 2 – тоналиты, кварцевые диориты и габбродиориты первой интрузивной фазы, 3 – гранодиориты и граниты второй интрузивной фазы, 4 – направление и крутизна падения контакта интрузии, 5 – скважины

Вторая интрузивная фаза сложена гранодиоритами и гранитами, которые образуют самостоятельное тело в юго-восточной части массива и занимают около 30 % его площади. В приконтактных зонах этого тела как вмещающие метатерригенные образования воронцовской серии, так и габбродиорит-тоналитовые породы первой интрузивной фазы насыщены многочисленными жилами гранодиоритов и гранитов мощностью от первых сантиметров до 1,5–2,9 м, реже более крупными апофизами мощностью более 30 м. В экзоконтактах жил часто наблюдается образование обогащенных биотитом оторочек шириной 1–1,5 см, а в эндоконтак-

тах – увеличение меланократовости гранитоидов и присутствие в различной степени переработанных ксенолитов (от 5 см до 0,8 м) более ранних пород. Доля жильных гранитоидов в разрезе приконтактных зон (скв. 8050, 8054) составляет 29–37 %.

Рассмотренные особенности взаимоотношений указывают на интрузивную природу пород Таловского массива и свидетельствуют о температурном воздействии габбродиорит-тоналитовой и гранодиорит-гранитной магм на вмещающие метатерригенные образования воронцовской серии.

### Минералого-петрографическая характеристика пород

Образования первой интрузивной фазы при устойчивом минеральном парагенезисе (плагиоклаз+роговая обманка+биотит+кварц±микроклин) характеризуются значительными вариациями содержания в них кварца, общей меланократовости пород и соотношения в них роговой обманки и биотита (табл. 1, рис. 3).

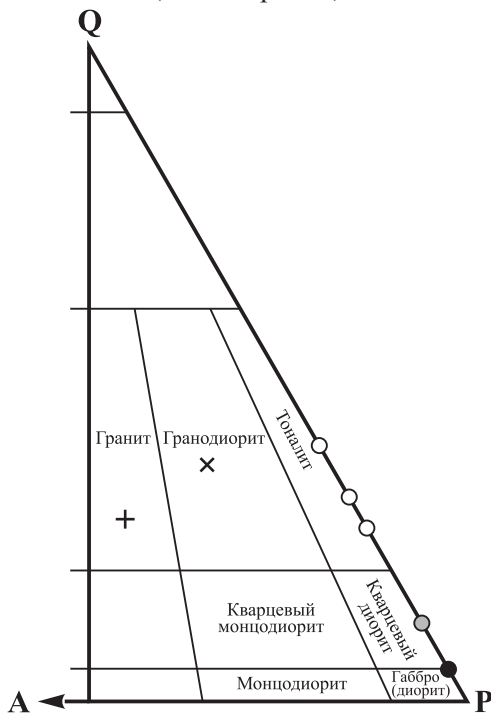


Рис. 3. Модальный минеральный состав пород Таловского массива на фрагменте классификационной диаграммы QAP [3, 4]. А – щелочные полевые шпаты, Q – кварц, P – плагиоклаз

Наиболее меланократовыми породами являются габбродиориты, образующие широкообразные обособления мощностью до первых метров среди преобладающих в интрузии тоналитов и кварцевых диоритов. Габбродиориты обладают отчетливо выраженной порфировидной структу-

рой с идиоморфными вкрапленниками лабрадора  $An_{60,9-50,8}A_{b39,1-48,3}Or_{0,0-0,9}$  размером до 3 см и мелкозернистой основной массой, сложенной андезином и роговой обманкой, редкими чешуйками биотита и интерстиционными ксеноморфными зернами кварца. Присутствие в породах, с одной стороны, вкрапленников лабрадора, свойственное габброидам, а, с другой стороны, андезин ( $An_{47,7-43,8}Ab_{47,4-54,1}Or_{2,1-5,0}$ )-роговообманковый состав основной массы, более характерный для диоритов, и послужили основанием для отнесения их к габбродиоритам.

Преобладающим типом пород первой фазы являются кварцевые диориты, в которых яркость выраженности порфировидности пород снижается за счет уменьшения различий в размерах порфировидных выделений и зерен плагиоклаза в основной массе. Состав плагиоклаза соответствует андезину; роговая обманка ксеноморфна по отношению к нему и образует пойкилитовые зерна, включающие более мелкие идиоморфные кристаллы плагиоклаза основной массы; количество кварца и биотита в породах несколько увеличивается.

Тоналиты связаны с вышеописанными кварцевыми диоритами постепенными переходами, сопровождающимися исчезновением порфировидности и увеличением степени раскристаллизации пород, уменьшением в них количества темноцветных минералов и возрастанием содержания кварца. Плагиоклаз и роговая обманка образуют в тоналитах призматически-зернистый агрегат. С увеличением в породах количества кварца его ксеноморфные интерстиционные выделения как бы сливаются, образуя более крупные пойкилокристаллы, содержащие в себе более 50 % объема идиоморфные призматические зерна плагиоклаза, роговой обманки и чешуйки биотита. С ростом содержания кварца в тоналитах биотит начинает доминировать над роговой обманкой, образуя не только рассеянные в основной массе чешуйки, но и более крупные лепидобласты. Общее содержание биотита и роговой обманки при этом уменьшается, и спорадически в породах появляется небольшое количество микроклина и микрографических кварц-плагиоклазовых, реже кварц-микроклиновых сростаний. Наблюдаемые вариации состава и структурных особенностей часто приводят к образованию в тоналитах такситовой текстуры, проявленной присутствием в них пятно- и жилообразных обособлений от первых сантиметров до нескольких метров с постепенным увеличением лейкократовости и степени раскристаллизации пород.

## Минеральный состав пород Таловского массива

№ п/п	Фаза	№ скв.	Глуб., м	Породы	Pl	Mkr	Qtz	Hbl	Bt	Акцесс.	Вторичн.
1	Первая фаза	8037	227,5	Порфириформный биотит-роговообманковый габбро-диорит	51,5 ± 9,0	–	2,7 ± 1,9	40,7 ± 7,1	4,5 ± 2,2	0,6 ± 0,4	+
2		8037	239,8	Биотит-роговообманковый кварцевый диорит	47,1 ± 4,3	–	8,8 ± 2,7	36,2 ± 3,5	6,4 ± 3,8	1,5 ± 0,4	+
3		8034	297,3	Роговообманково-биотитовый тоналит	40,9 ± 4,8	–	14,8 ± 9,3	19,4 ± 9,1	23,6 ± 7,3	0,9 ± 0,5	0,5 ± 0,7
4		8034	315,0	Биотит-роговообманковый тоналит	50,0 ± 3,4	–	22,7 ± 3,1	14,1 ± 2,6	12,4 ± 3,9	0,8 ± 0,3	+
5		8034	272,0	Роговообманково-биотитовый тоналит	47,7 ± 4,6	+	30,7 ± 6,3	3,4 ± 2,9	16,5 ± 6,2	1,6 ± 0,4	+
6	Вторая фаза	8054	204,0	Биотитовый гранодиорит	39,9 ± 7,4	13,7 ± 3,7	30,4 ± 6,5	–	15,6 ± 4,8	0,3 ± 0,4	+
7		8054	224,0	Порфириформный биотитовый гранит	36,2 ± 15,4	27,8 ± 14,5	24,7 ± 10,1	–	11,0 ± 3,4	0,3 ± 0,4	+

Таким образом, выявленные закономерности изменения состава пород, а также морфологические особенности и структурные взаимоотношения слагающих их минералов свидетельствуют о зарождении и кристаллизации минеральных фаз при формировании пород первой фазы в последовательности плагиоклаз→роговая обманка→биотит→кварц→калиевый полевой шпат с достижением остаточным расплавом в поровых обособлениях эвтектического состава, фиксируемого микрографическими кварц-полевошпатовыми сростаниями.

Вторая интрузивная фаза Таловского массива представлена породами ряда гранодиориты–граниты. Характерными отличиями от образований первой фазы являются увеличение степени раскристаллизации и большая лейкократовость пород, а также исчезновение из их минерального парагенезиса роговой обманки и увеличение количества микроклина (см. табл. 1). Гранодиориты сложены гипидиоморфнозернистым кварц-плагиоклазовым агрегатом с чешуйками биотита и починенным количеством микроклина, часто образующего ксеноморфные выделения, выполняющие межзерновые интерстиции. Переходы от гранодиоритов к гранитам постепенные и сопровождаются уменьшением содержания биотита и появлением в породах порфириформной структуры, обусловленной присутствием крупных (до 3 см) толстотаблитчатых порфиробласт микроклина, содержащих пойки-

китовые включения зерен плагиоклаза, кварца и чешуек биотита. Как в гранодиоритах, так и в гранитах присутствуют мелкие участки кварц-плагиоклазовых и кварц-микроклиновых микрографических сростаний.

Наблюдаемые закономерности изменения состава пород второй фазы и структурные взаимоотношения минералов позволяют предполагать близкую к одновременной кристаллизацию биотита, плагиоклаза и кварца и образование гранитоидов варьирующего состава в результате фракционирования этих минеральных фаз с увеличением роли микроклина в остаточном гранитном расплаве.

#### Петрохимические особенности и дифференциация

По химическим особенностям (табл. 2) интрузивные образования Таловского массива при среднем содержании  $\text{SiO}_2$  58,92 ± 6,31 масс. % (здесь и далее  $X \pm \sigma$ ,  $n = 46$ ) относятся к недосыщенным глиноземом  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 0,85 \pm 0,12$ , умеренно железистым  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0,55 \pm 0,08$ , натрово-кальциевым  $\text{Ca}/(\text{Ca} + \text{Na}) = 0,53 \pm 0,11$ , низкокальциевым  $\text{K}/(\text{K} + \text{Na}) = 0,32 \pm 0,13$  породам среднего состава.

В системе Qtz-Pl-Prx фигуративные точки нормативного состава пород обеих интрузивных фаз образуют общий рой (рис. 4), свидетельствующий о единстве процессов их дифференциации. Сово-

Таблица 2

Химический состав пород Таловского массива, мас. %

№ п/п	Первая фаза														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Фаза	Кварцевые диориты														
Породы	Габбродиориты														
№ скв.	8037	8037	8037	8049	8036	8036	8037	8037	8037	8035	8035	8038	8038	8052	8052
Глуб., м	227,0	227,5	228,5	246,6	354,0	250,8	327,0	239,8	270,0	211,2	327,1	229,0	310,0	285,0	325,0
SiO <sub>2</sub>	50,58	50,52	53,02	52,64	51,82	53,86	51,66	53,04	53,32	55,26	55,14	57,58	56,28	57,44	56,94
TiO <sub>2</sub>	1,35	1,32	1,10	1,65	1,82	1,80	2,20	1,60	1,92	1,12	1,18	1,90	1,60	1,21	1,36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,53	17,41	20,86	14,46	15,01	14,10	15,69	15,01	16,86	16,26	16,52	15,23	16,04	14,97	13,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,09	11,07*	2,01	2,15	2,60	2,45	1,28	12,07*	2,00	1,01	1,00	0,61	0,93	1,56	1,57
FeO	7,63	—	5,33	8,56	9,43	8,21	8,90	—	8,28	7,13	8,00	7,06	7,20	6,92	7,49
MnO	0,06	0,151	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,167	0,04	0,06	0,05	0,06	0,06	0,08	0,07
MgO	4,19	4,71	3,06	5,47	4,83	4,51	6,12	4,82	4,03	5,15	4,83	4,81	5,15	3,54	5,80
CaO	9,11	9,45	8,66	9,57	7,75	8,20	7,29	6,57	7,29	6,83	7,06	6,15	5,59	5,47	5,92
Na <sub>2</sub> O	3,00	2,72	3,50	2,20	2,40	2,45	2,60	2,83	2,90	2,60	2,95	2,90	2,70	2,70	3,20
K <sub>2</sub> O	0,80	0,55	1,02	1,20	1,50	1,20	1,45	1,32	1,30	1,80	1,40	2,20	1,80	2,80	2,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,18	0,15	0,25	0,39	0,57	0,41	0,30	0,32	0,23	0,32	0,43	0,30	0,18	0,16
П.п.п.	1,79	1,70	1,90	1,08	1,86	1,99	1,94	2,15	1,29	1,76	1,46	1,22	2,65	2,38	1,83
S	—	0,03	—	—	—	—	—	<0,02	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	99,28	99,81	100,66	99,28	99,47	99,39	99,59	99,86	99,55	99,21	99,91	100,15	100,63	99,25	99,93
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,04	—	0,10	0,15	0,07	0,06	0,08	—	0,07	0,12	0,11	0,07	0,08	0,09	0,09
SO <sub>3</sub>	0,41	—	0,12	0,37	0,31	0,57	0,26	—	0,29	0,20	0,21	0,27	0,15	0,18	0,22
ID=Qtz+Ab+Or	31,30	27,23	39,61	32,12	35,18	38,33	34,05	36,19	39,27	40,51	40,09	47,62	43,37	50,76	47,79
al**	0,87	0,78	0,92	0,65	0,76	0,70	0,82	0,83	0,87	0,87	0,86	0,83	0,94	0,86	0,71
Fe/(Fe+Mg)	0,54	0,54	0,57	0,52	0,58	0,56	0,48	0,56	0,58	0,47	0,51	0,47	0,47	0,57	0,46
Ca/(Ca+Na)	0,63	0,66	0,58	0,71	0,64	0,65	0,61	0,56	0,58	0,59	0,57	0,54	0,55	0,53	0,51
Na/(Na+K)	0,85	0,88	0,84	0,74	0,71	0,76	0,73	0,77	0,77	0,69	0,76	0,67	0,70	0,59	0,67
K/(Ca+Na+K)	0,06	0,04	0,07	0,10	0,13	0,10	0,13	0,12	0,11	0,16	0,12	0,19	0,17	0,24	0,20

Окончание табл. 2

№ п/п	Вторая фаза																		
	Первая фаза									Тоналиты									
	Кварцевые диориты									Гранодиориты									
Фаза	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
Породы	Кварцевые диориты									Гранодиориты									Гранит
№ скв.	8054	8048	8048	8034	8034	8034	8034	8034	8034	8054	8051	8051	8051	8051	8055				
Глуб., м	382,5	230,0	290,0	229,5	272,0	287,0	297,3	315,0	402,0	204,0	200,0	206,0	209,0	264,0	247,0				
SiO <sub>2</sub>	59,20	56,52	60,34	61,66	64,98	62,08	58,84	60,18	67,02	67,59	68,76	68,00	68,15	68,80	71,60				
TiO <sub>2</sub>	1,29	1,55	1,84	1,06	1,12	1,15	0,90	1,02	0,78	0,51	0,98	0,93	1,08	0,73	0,48				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,25	15,37	14,78	15,45	14,72	15,63	15,84	15,96	14,70	15,23	12,87	13,22	13,96	13,17	14,18				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,96*	1,77	1,32	6,52*	4,71*	6,26*	6,95*	8,03*	0,70	3,50*	0,55	0,86	1,52	0,39	0,51				
FeO	–	7,02	6,27	–	–	–	–	–	4,25	–	3,53	4,39	3,31	3,96	2,30				
MnO	0,12	0,05	0,07	0,09	0,05	0,09	0,10	0,11	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04				
MgO	3,26	4,19	2,90	2,54	1,52	2,98	3,72	2,81	1,61	0,97	2,74	1,45	0,32	2,90	0,97				
CaO	7,28	7,75	5,92	7,14	6,85	7,36	8,07	6,35	3,19	2,74	2,28	2,73	1,48	3,19	2,28				
Na <sub>2</sub> O	2,72	2,95	3,00	2,99	3,01	2,77	3,06	2,99	3,70	2,58	2,50	3,00	2,50	2,90	2,70				
K <sub>2</sub> O	1,51	1,40	1,80	1,19	1,08	1,08	1,16	0,91	3,20	5,35	5,00	4,60	4,90	3,80	4,50				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,21	0,30	0,51	0,95	0,32	0,26	0,35	0,11	0,27	0,39	0,46	0,44	0,14	0,23				
П.п.п.	0,94	1,57	1,53	0,62	0,59	–	0,90	1,04	1,09	0,84	1,01	0,98	1,12	0,70	0,80				
S	0,08	–	–	0,09	0,20	0,04	0,04	0,04	–	<0,02	–	–	–	–	–				
Сумма	99,80	100,35	100,07	99,86	99,78	99,76	99,84	99,79	100,40	99,59	100,65	100,66	98,83	100,73	100,59				
H <sub>2</sub> O	–	0,13	0,13	–	–	–	–	–	0,09	–	0,06	0,07	0,06	0,05	0,02				
SO <sub>3</sub>	–	0,18	0,16	–	–	–	–	–	0,60	–	0,08	0,08	0,07	0,13	0,10				
ID=Qtz+Ab+Or	46,59	43,59	53,71	51,69	59,11	50,02	45,26	48,19	72,03	76,73	75,87	76,45	81,13	71,66	81,02				
al**	0,74	0,75	0,84	0,81	0,79	0,82	0,76	0,91	0,96	1,01	0,94	0,89	1,15	0,90	1,05				
Fe/(Fe+Mg)	0,58	0,54	0,59	0,56	0,61	0,51	0,49	0,59	0,63	0,65	0,45	0,67	0,89	0,46	0,61				
Ca/(Ca+Na)	0,60	0,59	0,52	0,57	0,56	0,59	0,59	0,54	0,32	0,37	0,33	0,33	0,25	0,38	0,32				
Na/(Na+K)	0,73	0,76	0,72	0,79	0,81	0,80	0,80	0,83	0,64	0,42	0,43	0,50	0,44	0,54	0,48				
K/(Ca+Na+K)	0,13	0,11	0,16	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,28	0,46	0,47	0,40	0,49	0,35	0,43				

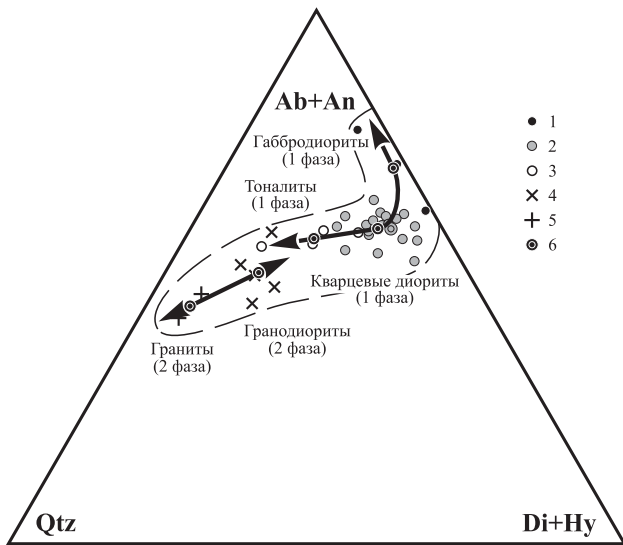
Примечания: \* – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> общ., \*\* – al=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O).

Анализы 1, 8, 16, 19–23, 25 выполнены в ИГЕМ РАН методом РФА с дополнительным определением потерь при прокаливании; аналитик: А. Якушев

Анализы 2–7, 9–15, 17, 18, 24, 26–30 по данным химической лаборатории ГПП «Воронежгеология», аналитик Л. Львова.

Прочерк – содержание компонента меньше порога чувствительности измерений.

купность закономерных изменений петрохимических особенностей, выражающихся в снижении кальциевости и росте железистости пород по мере увеличения их кремнеземистости и калиевости, и описанных выше структурных взаимоотношений минералов, отражающих последовательность их зарождения и кристаллизации, указывает на образование разновидностей пород Таловской интрузии в результате фракционирования минеральных фаз.



**Рис. 4.** Вариации нормативного состава и тренды дифференциации пород Таловской интрузии в системе Qtz-P1-Pxh. Условные обозначения: 1–3 – породы первой фазы (1 – порфириовидные габбродиориты, 2 – кварцевые диориты, 3 – тоналиты), 4, 5 – породы второй фазы (4 – гранодиориты, 5 – граниты), 6 – средний состав групп пород

В качестве продуктов наиболее ранней стадии кристаллизационной дифференциации можно считать плагиофировые габбродиориты, формировавшиеся в результате фракционирования ликвидусного плагиоклаза. По мере снижения температуры магмы при достижении условий двухфазовой котектики и совместного фракционирования плагиоклаза и роговой обманки происходило образование серии кварцевые диориты–тоналиты. Следует особо отметить, что присутствие в породах Таловского массива роговой обманки, а не пироксена, указывает на достаточно высокое (более 4,0–4,5 кбар) парциальное давление воды в расплаве еще на ранней стадии его кристаллизации. Фракционирование большого количества плагиоклаза и роговой обманки способствовало резкому обогащению остаточного расплава кремнеземом и калием и привело к образованию в глубинах интрузив-

ной камеры или в промежуточном очаге гранодиоритовой магмы второй интрузивной фазы. Кристаллизационная дифференциация этой магмы в еще более низкотемпературных условиях трехфазовой котектики (плагиоклаз + биотит + кварц) сопровождалась накоплением калия в остаточном расплаве и смещением его состава в область гранитной эвтектики.

### Изотопная Pb-U характеристика цирконов и геохронология

Изотопное датирование возраста пород Таловского массива осуществлялось по цирконам из биотит-роговообманкового тоналита первой интрузивной фазы. Цирконы в этих породах представлены идиоморфными кристаллами длиной 0,295–0,441 и шириной 0,074–0,185 мм, габитус призматический с острыми пирамидальными вершинами, коэффициент удлинения от 1,71 до 5,84. Кристаллы от бесцветных до буровато-коричневатых, часто трещиноваты и содержат включения других минеральных фаз и флюидные включения. В катодной люминесценции наблюдается слабо выраженная концентрическая зональность, которая в длиннопризматических кристаллах создает иллюзию их пластинчатого строения. В отдельных зернах циркона отчетливо проявлено секторальное строение, которое наиболее часто фиксируется в вершинах кристаллов. Присутствие реликтовых ядер в кристаллах циркона не установлено.

Изотопные исследования цирконов выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. С.-Петербург) (аналитик А.Н. Ларионов) на ионном микрозонде SHRIMP-II по стандартной методике [5] с использованием эталонных цирконов «91500» и «Темога». Принятые значения для эталонов: циркон «91500» – содержание U 81,2 ppm, возраст по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$   $1062 \pm 0,4$  млн лет [6], циркон «Темога» – возраст по  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  417 млн лет [7]. При расчетах использовались константы распада, предложенные [8] и вводилась поправка на не радиогенный свинец по [9] на основе измеренного отношения  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Полученные результаты обрабатывались с помощью программ «SQUID v1.12» [10] и «ISOPLOT/Ex 3.22» [11].

Определения изотопного состава U, Pb и Th выполнялись в центральных, промежуточных и краевых частях кристаллов циркона, при этом предпочтительно выбирались области с низкой интенсивностью катодной люминесценции без видимых трещин и включений. Результаты изотопных исследований цирконов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание и изотопные отношения Pb, U и Th в цирконах из тоналита Таловского массива (скв. 8034, глуб. 287,0 м)

№ п/п	№ зерна, точки анализа	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	U, ppm	Th, ppm	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$ , ppm	Возраст $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ млн лет	±	Возраст $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ млн лет	±	D, %	$(1) \frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	±, %	$(1) \frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}}$	±, %	$(1) \frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	±, %	Ошибка корр.
1	6.1	0,00	187	143	0,79	60,3	2053	15	2053	16	0,0	0,1268	0,9	6,555	1,2	0,3751	0,8	0,678
2	8.1	0,00	106	72	0,70	34,2	2051	16	2052	20	0,1	0,1267	1,1	6,542	1,5	0,3746	0,9	0,634
3	4.1	0,00	102	69	0,71	33,0	2066	15	2068	18	0,1	0,1278	1,0	6,660	1,3	0,3778	0,9	0,644
4	9.1	0,05	747	194	0,27	239,0	2042	11	2046	12	0,2	0,1263	0,7	6,487	0,9	0,3726	0,6	0,676
5	2.1	0,10	239	190	0,82	77,3	2058	13	2050	15	-0,4	0,1265	0,9	6,559	1,1	0,3760	0,8	0,667
6	1.1	0,19	171	127	0,77	54,7	2040	14	2052	20	0,6	0,1266	1,1	6,499	1,4	0,3723	0,8	0,581
7	5.1	0,07	305	258	0,87	98,7	2061	12	2046	12	0,7	0,1262	0,7	6,555	1,0	0,3766	0,7	0,704
8	3.1	0,00	186	136	0,76	60,5	2072	13	2050	13	-1,1	0,1265	0,8	6,610	1,0	0,3790	0,7	0,690
9	7.1	0,00	116	9	0,08	36,7	2027	15	2055	19	1,4	0,1269	1,1	6,465	1,4	0,3695	0,9	0,637
10	10.1	0,05	201	59	0,30	63,7	2022	14	2051	16	1,4	0,1266	0,9	6,430	1,2	0,3684	0,8	0,665

Примечания: ошибки для интервала  $\pm 1\sigma$ ;  $\text{Pb}_c$  и  $\text{Pb}^*$  – нерадиоогенный и радиоогенный свинец, соответственно; (1) – коррекция на  $\text{Pb}_c$  по измеренному  $^{204}\text{Pb}$ ; D, % – дискордантность  $100 \cdot \left\{ \frac{(\text{возраст } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})}{(\text{возраст } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})} - 1 \right\}$ ; ошибка калибровки стандарта 0,26 %. Анализы выполнены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, аналитик Ларионов А.Н.



Высокая степень конкордантности полученных отношений  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  и  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  (рис. 5) свидетельствует об отсутствии сколько-нибудь значительных нарушений урано-свинцовой изотопной системы в изученных кристаллах циркона. Рассчитанный конкордантный возраст составляет  $(X \pm \sigma)$   $2050 \pm 7$  млн лет, что при высокой вероят-

ности конкордантности, низком среднеквадратичном отклонении и согласованности с полученными значениями  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраста ( $2052 \pm 6$  млн лет) (рис. 6) надежно свидетельствует о времени проявления габбродиорит-тоналитового интрузивного магматизма в пределах восточной части ВКМ.

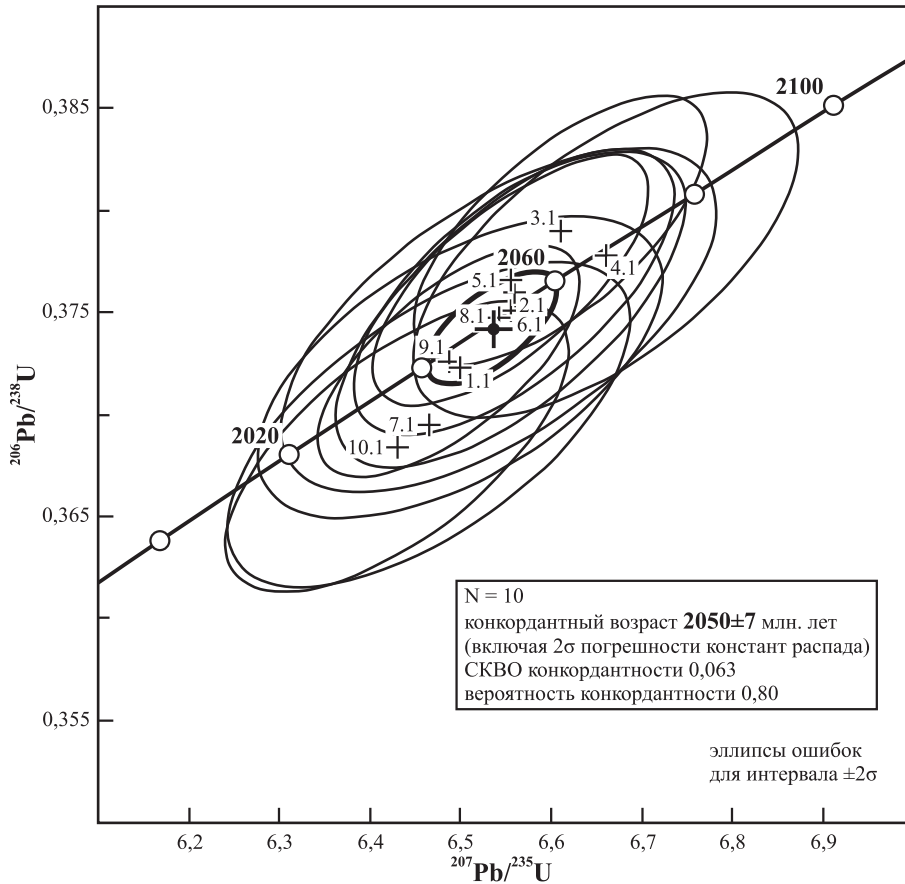


Рис. 5. Конкордантные изотопные свинцово-урановые отношения в цирконах из тоналита первой фазы Таловского массива (скв. 8034, глуб. 287,0 м). Нумерация аналитических точек соответствует приведенной в табл. 3

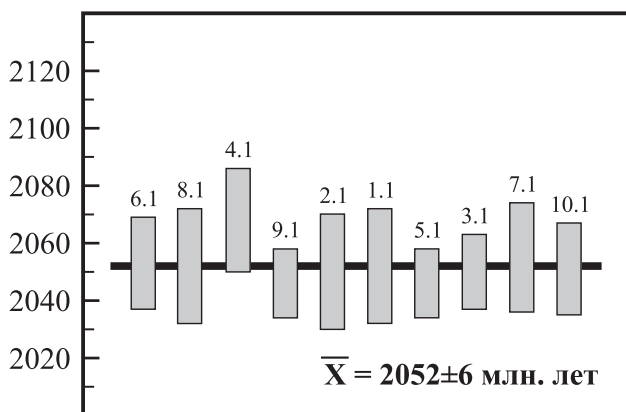


Рис. 6.  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  возраст цирконов из тоналита первой фазы Таловского массива (скв. 8424, глуб. 287,0 м). Возраста ранжированы в порядке увеличения их дискордантности (D); значения возрастов в интервале X. Нумерация аналитических точек соответствует приведенной в табл. 3

Эти значения возраста близки к времени формирования разнообразных по составу интрузивных комплексов как в пределах поля развития метатерригенных отложений воронцовской серии, так и в сопряженных структурно-формационных зонах, что обусловлено, вероятно, кульминацией проявления магматизма на палеопротерозойском коллизийном этапе.

### Выводы

В настоящей работе на примере Таловского массива впервые для региона ВКМ выделена и охарактеризована габбродиорит-тоналит-гранодиорит-гранитная ассоциация интрузивных пород.

Выявленные закономерности изменения состава пород, структурно-морфологических особенностей и взаимоотношений слагающих их породообразующих минералов, а также направленность трендов изменения их химического состава свидетельствуют о формировании рассматриваемой ассоциации в результате кристаллизационной дифференциации исходной магмы сначала в ликвидусных условиях с фракционированием плагиоклаза, затем последовательно в условиях двух- (плагиоклаз + роговая обманка) и трехфазовой (плагиоклаз + биотит + кварц) котектики с накоплением калия в остаточном расплаве и смещением состава наиболее поздних дериватов в область гранитной эвтектики.

Определенные методом SHRIMP значения конкордантного возраста ( $2050 \pm 7$  млн лет) указывают на формирование пород Таловского массива в период кульминационного проявления магматизма в восточной части ВКМ на этапе палеопротерозойской коллизии.

На основании полученных результатов предлагается выделить габбродиорит-тоналит-гранодиорит-гранитную ассоциацию пород восточной части ВКМ в самостоятельный таловский интрузивный комплекс.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кременецкий А. А. Воронежская параметрическая скважина – новый этап познания глубинного строения ВКМ / А. А. Кременецкий [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 9–10. – С. 109–116.

*Воронежский государственный университет*  
К. А. Савко, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования, доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Тел. 8 (473) 254-91-64  
ksavko@mail.ru

*В. Ю. Скрябин, ведущий научный сотрудник кафедры полезных ископаемых и недропользования, кандидат геолого-минералогических наук*  
Тел. 8-906-581-50-95  
skryabin@geol.vsu.ru

2. Савко К. А. Гранитоиды востока Воронежского кристаллического массива: геохимия, Th-U-Pb возраст и петрогенезис / К. А. Савко [и др.] // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2011. – № 2. – С. 98–115.

3. Streckeisen A. To each plutonic rock its proper name / A. Streckeisen // Earth Sci. Rev. – 1976. – V. 12. – P. 1–33.

4. Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов. Рекомендации Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук : пер. с англ. – М. : Недра, 1997. – 248 с.

5. Williams I. S. U-Th-Pb Geochronology by ion microprobe / I. S. Williams // Applications in micro analytical techniques to understanding mineralizing processes. Reviews Econ. Geol. – 1998. – V. 7. – P. 1–35.

6. Wiedenbeck M. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses / M. Wiedenbeck, P. Alle, F. Corfu [et al.] // Geostand. Newsletter. – 1995. – V. 19. – P. 1–23.

7. Black L. P. Temora 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology / L. P. Black [et al.] // Chem. Geol. – 2003. – V. 200. – P. 155–170.

8. Steiger R. H. Subcommittee on geochronology: convention of the use of decay constants in geo- and cosmochronology / R. H. Steiger, E. Jäger // Earth Planet. Sci. Lett. – 1977. – V. 36. – P. 359–362.

9. Stacey J. S. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a twostage model / J. S. Stacey, J. D. Kramers // Earth Planet. Sci. Lett. – 1975. – V. 26. – P. 207–221.

10. Ludwig K. R. SQUID 1.12 A User's Manual. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K. R. Ludwig // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 2005. – 22 p. – (<http://www.bgc.org/klprogrammenu.html>).

11. Ludwig K. R. User's Manual for ISOPLOT/Ex 3.22. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel / K. R. Ludwig // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 2005. – 71 p. – (<http://www.bgc.org/klprogrammenu.html>).

*Voronezh State University*  
К. А. Савко, the head of the Chair of Mineral Resource, the Doctor of Geology and Mineralogy Sciences, professor  
Тел. 8 (473) 254-91-64  
ksavko@mail.ru

*V. Yu. Skryabin, Leading research worker of the chair of Mineral Resource, the Candidate of Geology and Mineralogy Sciences*  
Тел. 8-906-581-50-95  
skryabin@geol.vsu.ru