

**АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ И ТИПОМОРФИЗМ ЦИРКОНОВ  
ГРАНИТОВ ДАХОВСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА  
(ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)**

Г. С. Золотарева, В. М. Ненахов

*Воронежский государственный университет*

Набор акцессорных минералов является одним из важнейших коррелятивных признаков интрузивных магматических пород, в частности, гранитов. Типоморфизм цирконов и их состав, отражающих особенности становления интрузивного массива, позволяют оценить надежность U-Pb датировок, широко используемых в современной геохронологии. По указанным направлениям в работе изложены результаты исследований гранитов Даховского массива — одного из эталонных объектов межвузовского учебного полигона, расположенного в верховьях р. Белая. На основании изучения акцессорных минералов и сделаны предварительные выводы о геодинамических условиях формирования гранитов.

Комплексы акцессорных минералов и их типоморфизм являются важнейшим коррелятивным признаком интрузивных пород и прежде всего гранитоидов [1, 6]. Даховский кристаллический массив (выступ) является эталонным объектом межвузовского полигона полевых учебных практик на Западном Кавказе, где на базе Ростовского университета проходят полевую практику студенты ряда вузов. Массив достаточно детально откартирован, однако его изученность с использованием современных прецизионных методов остается недостаточной. В этой связи планируется определения возраста пород U-Pb методом с использованием Shrimp — технологии по цирконам, что, учитывая дороговизну метода, ставит перед необходимостью тщательного изучения цирконов, подвергаемых изотопному датированию.

Граниты Даховского кристаллического массива (выступа) относятся ко 2-й фазе внедрения гранитоидов одноименного интрузива [2—4]. Абсолютный возраст гранитов по K-Ar 182—364 млн лет [5]. Они слагают штокообразное тело в центральной части выступа (рис. 1) размером 300x500 м<sup>2</sup>, а восточнее несколько более крупных тел общей площадью порядка 10 км<sup>2</sup>, которые представлены лейкократовыми биотитовыми, реже двуслюдяными гранитами. Лейкократовые граниты мяско-красного цвета, массивные, средне-крупнозернистые. Структура гипидиоморфнозернистая, гранитная. Минеральный

состав: микроклин — 60 %, кварц — 20 %, кислый плагиоклаз — 10—15 %, биотит — до 10 %. По химическому составу они относятся к типичному лейкогранитам нормального ряда (среднее из двух химических анализов в вес. %: SiO<sub>2</sub> — 72,31; TiO<sub>2</sub> — 0,22; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 15,16; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0,32; FeO — 0,8; MnO — 0,04; MgO — 0,21; CaO — 1,32; Na<sub>2</sub>O — 3,17; K<sub>2</sub>O — 4,88; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,07; SO<sub>3</sub> — 0,13; H<sub>2</sub>O — 1,89).

Для характеристики акцессорной минерализации из мяско-красных гранитов была отобрана проба весом 20 кг, которая была раздроблена вручную и расситована на фракции: 1) 1—0,4 мм; 2) 0,4—0,2 мм; 3) менее 0,2 мм. Затем проба по фракциям была обогащена в лотке, разделена в бромформе с последующей промывкой спиртом и сепарацией магнитом Сочнева с целью максимального выхода акцессорных минералов. Фракции 1 и 2 характеризуются крайне низкими (ед.з.) акцессорных минералов, представленных, главным образом, обломками граната и пирита. Наибольшее содержание и разнообразие акцессорных минералов отмечается в 3 фракции, в которой встречается основная масса акцессориев, среди которых наибольшее распространены: циркон (405 г/т), апатит (260 г/т), пирит (120 г/т), магнетит (316 г/т), сфен (238 г/т), ортит (240 г/т), гранат (95 г/т).

Ортит (алланит) встречается в виде удлиненно — призматических кристаллов от темно-бурого, синеватого до черного цвета с раковистым изломом, просвечивающимися в буром-коричневых тонах в тонких сколах. Магнетит образует

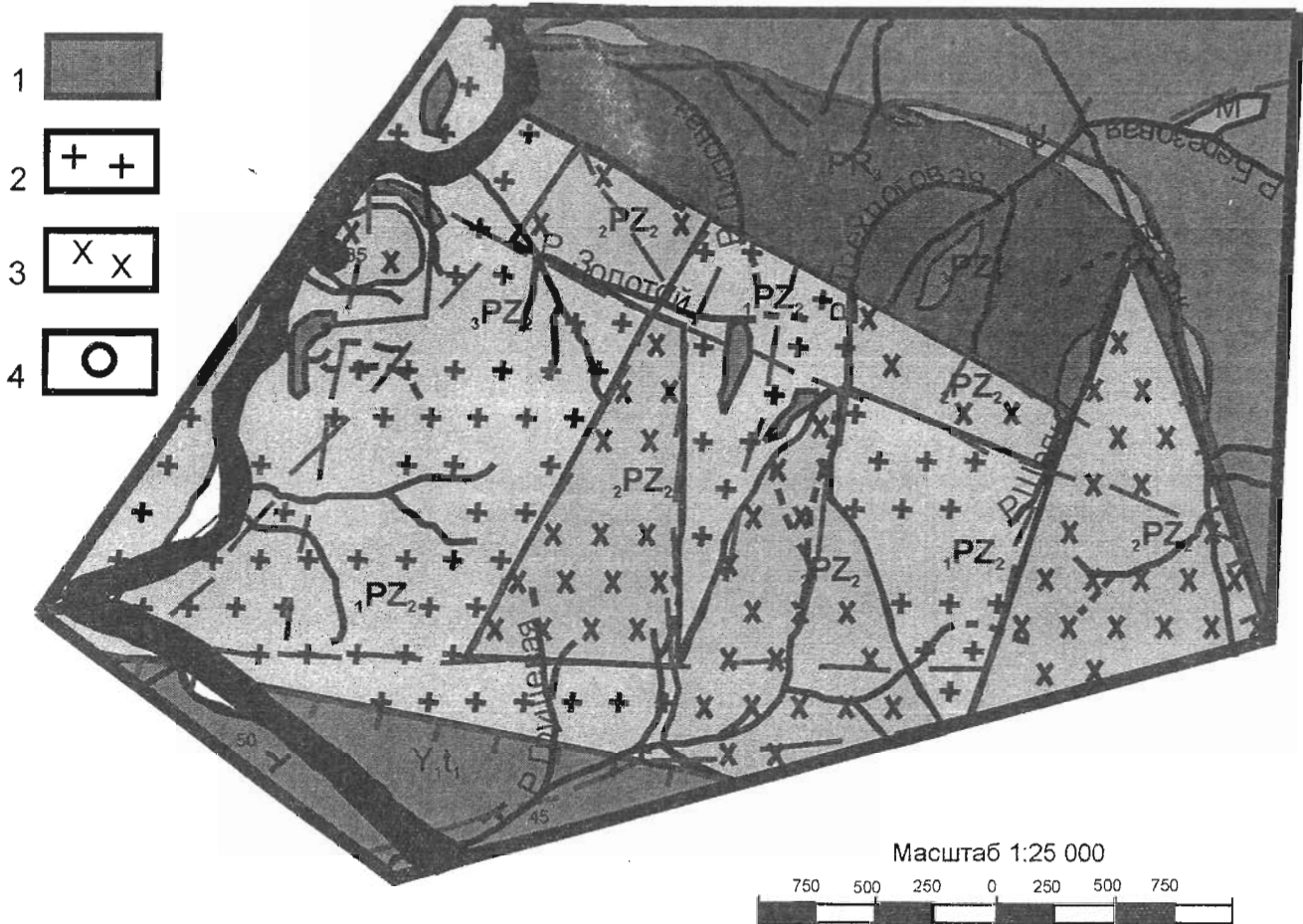


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Даховского кристаллического массива: 1 — вмещающие терригенные породы рамы; 2 — гранитоиды 1 фазы; 3 — граниты 2 фазы; 4 — место отбора пробы

октаэдр и реже додекаэдр буровато-черного до черного цвета. Сфен обладает конвертообразной, клиновидной формой кристаллов бурого, коричневого, серого цвета.

Апатит — форма кристаллов призматическая, ограниченная с обеих сторон пинакоидами.

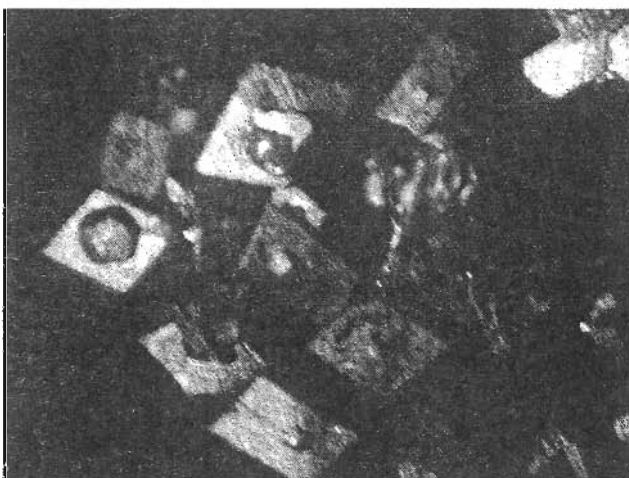


Рис. 2. Включения додекаэдров пирита в ромбовидных пластинчатых выделениях пирротина

Кристаллы полупрозрачные, бесцветные, иногда со слабым розовым, желтоватым или сероватым оттенком.

Более детально были изучены пирит как минерал, отражающий постмагматический процесс, гранат как показатель степени контаминации вмещающих пород и циркон, как главный объект исследования для последующего изотопного изучения. Монофракции перечисленных минералов изучались на микрозонде в ИГЕМ РАН (аналитик С. Е. Борисовский).

Пирит. Чаще всего кристаллы в виде кубов и пентагондодэкаэдров. Цвет буро-желтый, золотистый. Часто встречается в виде тесных сростаний с пирротинном, причем последний образует ромбические таблички вокруг додекаэдрических кристаллов пирита (рис. 2).

Пириты, образующие кристаллы кубической формы, характеризуются достаточно выдержанным составом (табл. 1).

Содержания железа составляют 45,25–46,03; серы — 53,26–53,73, отмечается небольшая примесь никеля 0,04 и кобальта от 0,48 до

Таблица 1  
Химический состав пиритов

№	Тип пирита	Co	Fe	S	Cu	Ni	As	Сумма
1	2	0,12	45,9	53,71	0,31	0,16	0,05	100,25
2	2	0,38	45,76	53,9	0	0,15	0,04	100,23
3	2	1,79	37,32	53,65	0,82	6,33	0	99,91
4	2	0	44,77	53,48	1,38	0	0,01	99,64
5	2	15,03	25,74	53,28	0,02	6,19	0,28	100,54
6	2	0,38	46,28	53,59	0	0	0,01	100,26
7	1	0,21	43,5	53,76	2,06	0,84	0	100,37
8	1	0,53	46,03	53,41	0,01	0,04	0	100,02
9	1	0,93	45,3	53,73	0	0,04	0	100
10	1	0,7	45,25	53,49	0	0,04	0	99,48
11	1	0,48	45,35	53,26	0	0,04	0	99,13
12	1	2,02	43,7	53,96	0	0,03	0	99,71
13	1	1,02	45,2	53,41	0	0,03	0	99,66

0,98 лишь в одном зерне, причем в его части зафиксировано повышенное содержание кобальта чуть более 2 %. При этом содержание никеля несколько снижается до 0,03. Пириты додекаэдрической формы обладают более переменным составом. Примесь мышьяка в них колеблется от 0,01 до 0,28, никеля 0,15 — 6,33, меди до 2,06. Встречаются зерна с резко переменным составом. По-видимому, за счет наличия твердых растворов. В этом случае содержание кобальта колеблется от 0,38 до 15,03, железа — 25,74—46,28. Одновременно с повышенным содержанием кобальта повышаются содержание никеля 6,19 и мышьяка — 0,28. Различный состав пирита свидетельствует о многостадийности постмагматического процесса, наложенного на граниты. Пириты с перемен-

ным составом характерны для сростков пирита и пирротина.

Гранат встречается в электромагнитной фракции в виде кристаллов — пентагондодекаэдров, реже — ромбододекаэдров размером до 0,1 мм, коричневого, с розоватым оттенком, цвета. Изучение состава гранатов с помощью микрозонда (табл. 2) показало, что они состоят главным образом из трех миналов: альмандинового (0,64—0,85), спессартинового (0,06—0,14) и пиропового (0,08—0,24). Содержания спессартинового и пиропового минерала имеют полярный характер — в гранатах с более высоким содержанием спессартина (0,14) отмечается минимальное содержания пиропового компонента (0,07—0,08). По содержанию альмандинового и спессартинового миналов гранат относится к ставролитовой фации метаморфизма, причем два из них попадают на границу гранатовой и ставролитовой фаций, а один относится к собственно ставролитовой фации. Температурный интервал устойчивости этой фации колеблется от 450 до 600°. Два типа гранатов, отличающихся содержанием пиропового минала, свидетельствуют, с одной стороны, о возможном захвате более высокотемпературных гранатов в процессе ассимиляции магмой корового субстрата (генерация граната с повышенным пироповым миналом) и о наложенности второго этапа образования граната в постмагматическую стадию формирования гранитоидов.

Циркон характеризуется крайне разнообразными кристаллографическими формами. Доминирующим цирконом является так называемый цирконовый тип, сочетание призмы (110) и дипирамиды (111) и гиацинтовый тип, сочета-

Таблица 2

Химсостав и расчеты параметров граната

Элементы	1	2	3	Мол. кол	1	2	3	Миналы	1	2	3
FeO	33,58	33,96	30,33	Si	3	3	2,97	X(Mg)	0,08	0,07	0,24
MnO	6,07	6,16	2,89	Ti	0,01	0	0	X(Ca)	0,02	0,02	0,04
CaO	0,54	0,55	1,43	Al	2	2,01	1,99	X(FeII)	0,84	0,85	0,64
MgO	1,92	1,69	6,07	Cr	0	0	0	X(Mn)	0,14	0,14	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	FeIII	0	0	0,05	X(adr)	0	0	0
SiO <sub>2</sub>	36,81	36,9	37,62	FeII	2,99	2,31	1,95	X(grs)	0,02	0,02	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,83	20,99	21,43	Mn	0,42	0,42	0,19	X(uvarovit)	0	0	0
TiO <sub>2</sub>	0,1	0,08	0,07	Mg	0,23	0,2	0,71	X(alm)	0,84	0,85	0,64
K <sub>2</sub> O	0	0	0	Ca	0,05	0,05	0,12	X(sps)	0,14	0,14	0,06
Nf <sub>2</sub> O	0	0	0	Na	0	0	0	X(prp)	0,08	0,07	0,24
Сумма	99,85	100,33	99,84	K	0	0	0	Сумма	1,07	1,08	0,98

ние призмы (100) и дипирамиды (111). Довольно часто встречается сочетание 2-х призм (100; 110), реже — более сложные формы, представляющие собой различные комбинации тетрагональных призм и дипирамид. Преобладают формы с коэффициентом удлинения  $1 \div 2$ — $1 \div 2,5$ , кроме них распространены игольчатые кристаллы с коэффициентом удлинения  $1 \div 5$  (рис. 3), а также относительно изометричные с коэффициентом удлинения 1. Наблюдается закономерность — чем выше коэффициент удлинения, тем более простые по форме кристаллы и наоборот — чем меньше коэффициент удлинения, тем более сложные комбинации характерны для кристаллов. Часть цирконов сконцентрированы в электромагнитной фракции. Как правило, эти цирконы характеризуются повышенным содержанием включений биотита в виде мелких чешуек и других темноцветных трудно-диагностируемых минералов. В цирконах электромагнитной фракции отмечается повышенное содержание Fe (0,01—0,05 %). Кроме железа в цирконах отмечается незначительное содержание CaO (до 0,04 %),  $Y_2O_3$  (до 0,06%), и  $Al_2O_3$  (до 0,002 %).

В цирконах немагнитной (нем. табл. 3) и электромагнитной (элм. табл. 3) фракции с помощью микронзонда было изучено содержание Hf в 20 зернах разного типа (рис. 4). При этом



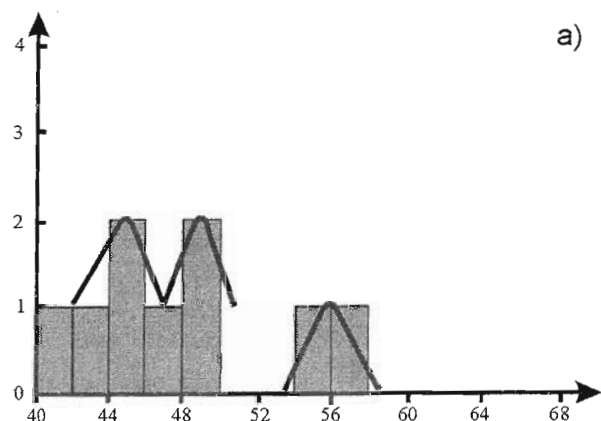
Рис. 3. Типичные формы кристаллов циркона

отмечается следующая тенденция. Для немагнитных цирконов Zr/Hf отношения приходятся на интервалы 40—50 и 54—58. В то же время, для электромагнитной фракции пик этих отношений приходится на интервал 50—52, при разбросе отношений от 46 до 54. Граничные содержания Zr/Hf отношений для электромагнитных цирконов составляет от 42 до 44, единичное резкое повышение Zr/Hf отношений отмечается в интервале 58—60 и 64—66. Так как в процессе эволюции магматического расплава Hf относительно Zr практически не фракционируется, это может свидетельствовать о гете-

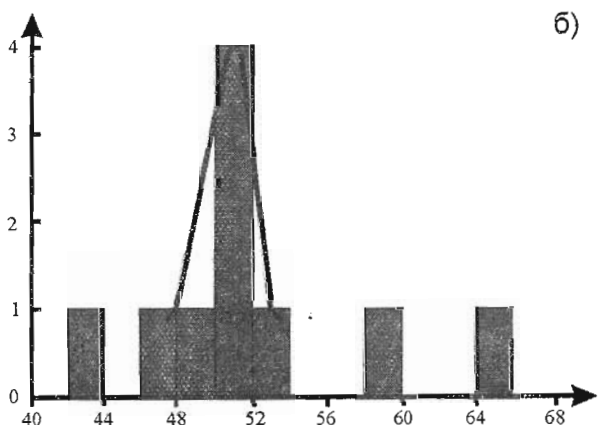
Таблица 3

## Химический состав цирконов из гранитов Даховского массива

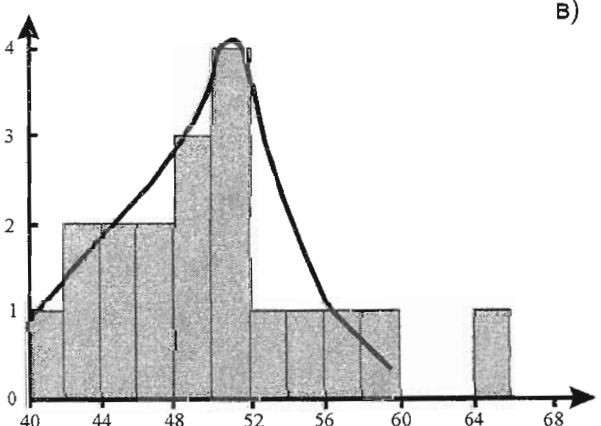
№	Фра-я	FeO	HfO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Zr/Hf
1	элек.м	0	1,32	32,71	66,67	0,01	0,02	0	100,73	50,5
2	немаг	0	1,49	32,81	66,24	0	0	0	100,54	44,5
3	элек.м	0,01	1,56	32,58	66,32	0	0	0	100,47	42,5
4	немаг	0,01	1,21	32,15	65,86	0,01	0,04	0	99,28	54,4
5	элек.м	0,03	1,35	32,26	65,94	0	0,03	0	99,61	48,9
6	немаг	0,01	1,13	32,13	65,53	0	0	0	98,8	58
7	элек.м	0,01	1,31	32,88	66,72	0,01	0,03	0	100,96	50,9
8	немаг	0	1,59	32,21	65,33	0	0,02	0	99,15	41,1
9	элек.м	0	1,03	32,82	67,18	0	0	0	101,03	65,2
10	немаг	0	1,54	32,69	66,45	0,01	0,04	0	100,73	43,1
11	элек.м	0	1,12	32,92	67,06	0	0,05	0,02	101,17	59,9
12	немаг	0,01	1,34	32,58	65,92	0,01	0,06	0	99,92	49,2
13	элек.м	0	1,32	32,3	67,12	0,01	0,03	0,02	100,8	50,8
14	немаг	0	1,42	32,47	65,76	0,01	0,04	0	99,7	46,3
15	элек.м	0,03	1,27	32,28	65,85	0,04	0,02	0	99,49	51,9
16	немаг	0,01	1,37	32,43	65,84	0	0,01	0	99,66	48,1
17	элек.м	0,01	1,28	32,57	66,96	0,01	0,03	0	100,86	52,3
18	немаг	0,01	1,47	32,94	66	0	0	0	100,42	44,9
19	элек.м	0,05	1,43	32,88	66,03	0	0,02	0,02	100,43	46,2
20	немаг	0,01	1,36	32,24	65,63	0	0,02	0	99,26	48,3



а)



б)



в)

Рис. 4. Частота встречаемости Zr/Hf отношений: а) в цирконах немагнитной фракции, б) электромагнитной фракции, в) суммарное распределение частоты встречаемости

рогенности циркона. Максимум Zr/Hf отношений отмечено в зерне, характеризующимся уплотненным габитусом и четко выраженным ядром, (рис. 5), что свидетельствует о принадлежности таких цирконов к другой более древней, магматической системе. Наибольший разброс Zr/Hf отношений отмечается для электромагнитных цирконов, для которых максимум этих отношений приходится на интервал 50—52, которые в совокупности с граничными содержаниями 46—50, 52—54 дают локальный нормальный тип распределения, наряду с которым отмечается резкие отскоки как в сторону резко повышенный Zr/Hf отношений (58—60, 64—66), так и в сторону пониженных (42—44). Это позволяет говорить как минимум о четырех стадиях цирконообразующих процессах. Несколько в меньшей степени отмечается гетерогенность и в цирконах немагнитной фракции. Для этой фракции намечаются два пика содержания (44—46, 48—50). Гистограмма суммарного распределения Zr/Hf отношений показывает в целом однопиковый характер. Наличие отскока, характерного для зонального циркона, позволяет сделать вывод о наличии более древнего сиалического субстрата, не полностью контаминированного наложенными процессами магмогенерации (табл. 3, рис. 4).

Давно установлено [6], что природа кристаллов цирконов определяется по Zr/Hf отношению, которое имеет высокое значение (60—80) в основных породах и уменьшается до 40—50 в кислых. Гистограмма распределения Zr/Hf отношений в цирконах магнитной и немагнитной фракции в целом отвечают «гранитному»

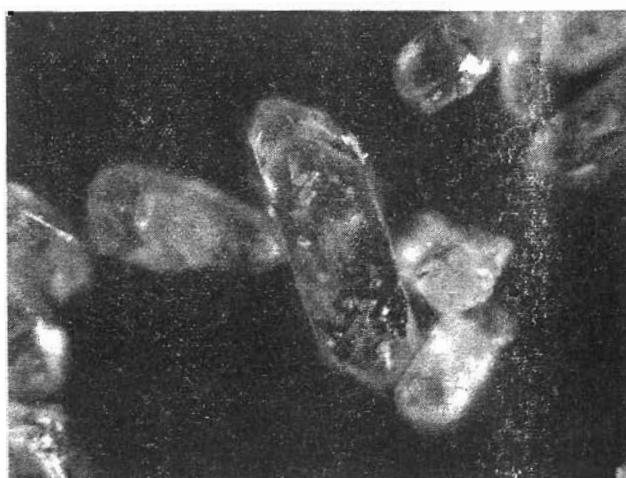


Рис. 5. Зональный циркон с газово-жидкими включениями и чешуйками биотита



типу отношений, хотя имеют отскоки в сторону более «основных» характеристик.

Типоморфные особенности циркона, а также Zr/Hf отношения позволяют сделать вывод о многостадийных процессах магмогенерации и эволюции магматического расплава, сопровождающихся контаминацией сиалического субстрата. Об этом свидетельствует наличие зонального циркона с повышенными Zr/Hf отношениями (до 66), а также наличие граната с повышенным пиритовым миналом (0,24). О подковровом происхождении родоначального расплава (по Чеппелу и Уайту) может свидетельствовать спектр акцессорных минералов (ортит, магнетит, отсутствие ильменита, монацита) [7], а также повышенное содержание в пиритах ранней генерации типичных элементов таких как Co, Ni, в меньшей степени Cu. Подковровое происхождение родоначальных расплавов гранитов предполагает проявление компоненты субдукции, масштабы которой предстоит выявить.

По-видимому для определения абсолютного возраста U–Pb методом следует рекомендовать цирконы с Zr/Hf отношениями 48–52, обладающими наиболее распространенным габитусом, сочетающем в себе комбинацию призм и 2 ди-

пирамид (дипирамида 111 и 221), а также комбинацию 2 призм (110; 100) в сочетании с дипирамидой 111 и 2 дипирамидами 221. Перечисленные габитусы кристаллов являются более распространенными и отображают основное время становления интрузивного массива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абакумова Л.Н., Ненахов В.М., Леонов В.А. Акцессорные минералы орогенных гранитоидных комплексов Туркестано-Алая. — Вестник ЛГУ. Сер. 7, 1987, вып. 1, № 4, С. 68–72.
2. Власов А.Ф., Майский Ю.Г. Геологическое строение среднего течения реки Белой. — РГУ, 1982, 187 с.
3. Грановский А.Г., Закруткин В.В. Метаморфические комплексы и магматические формации Белореченского полигона геологической практики. — I ч., РГУ, 1997, 345 с.
4. Грановский А.Г., Закруткин В.В. Метаморфические комплексы и магматические формации Белореченского полигона геологической практики. — II ч., РГУ, 1997, 294 с.
5. Лебедько Г.И. Фундамент Северного Кавказа. — РГУ, 1980, 123 с.
6. Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. — М., 1967, 488 с.
7. Chappell B.W., and White A.J.R. Two contrasting types of granites. Pacific Geol. 1978. Vol. 8, № 2, P. 173–174.