

ИЗМЕНЕНИЕ ТИПОМОРФИЧЕСКИХ И ТИПОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦИРКОНОВ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В РЯДУ КОРЕННОЙ ИСТОЧНИК — КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ — РОССЫПЬ

В. М. Ненахов, Г. С. Золотарева

Воронежский государственный университет

Изучены акцессорные минеральные ассоциации гранитоидов главной фазы павловского комплекса, коры выветривания по ним, а также рудного пласта ястребовского горизонта, залегающего непосредственно на гранитоидах и коре выветривания. Описаны особенности типоморфизма и типохимизма цирконов изученных объектов. Показано, что циркон подвержен существенным химическим изменениям в коре выветривания, выраженным в процессе циртолизации, при которой заметно снижается количество SiO_2 и ZrO_2 и повышаются относительные содержания редкоземельных и некоторых других элементов. Указанному процессу подвержены цирконы с повышенными содержаниями U, Th и редкоземельных элементов. Циртолиты являются важным индикатором близости источника сноса при формировании девонских промежуточных коллекторов.

При изучении россыпных месторождений, важнейшей фундаментальной проблемой является установление источников сноса [5, 6]. В процессе образования россыпных месторождений, кроме первичных источников сноса, важнейшая роль принадлежит промежуточным коллекторам. Для меловых россыпей территории Воронежской антеклизы и ее обрамления, такими промежуточными коллекторами являются девонские отложения ястребовского и петинского горизонтов. В связи с озвученной проблемой, авторами были изучены акцессорные минеральные ассоциации ястребовского горизонта и проведено их сравнения с наиболее распространенными породами докембрийского основания Павловского выступа. Особое внимание уделено типоморфизму и типохимизму циркона — важнейшего минерала — индикатора магматических, метаморфических, гипергенных и седиментогенных процессов. В качестве объекта исследования был выбран Павловский (Шкурлатовский) гранитный карьер, где можно проследить различные стадии преобразования гранитоидов в коре выветривания, а также степень вовлеченности остаточных продуктов выветривания в промежуточный россыпной коллектор (ястребовский горизонт).

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ЯСТРЕБОВСКОГО ГОРИЗОНТА

Ястребовский горизонт широко распространен на территории Воронежской антеклизы, охватывая практически все Центрально-Черноземные области, а также Рязанскую, Тульскую, Калужскую и Смо-

ленскую области [9, 10]. В районе Павловского выступа мощность горизонта колеблется от 7—8 до 10—15 м. Наиболее его представительный разрез вскрыт в районе Павловского карьера, где он залегает на отложениях ардаатовского и воробьевского горизонтов непосредственно на гранитоидах, на которых участками сохранилась додевонская кора выветривания. Здесь он представлен переслаиванием туфогравелитов, грубозернистых туфопесчаников с прослоями мелко- и среднезернистых туфопесчаников, содержащих углефицированные древесные остатки. На отдельных горизонтах отмечается обогащенность рудными минералами (ильменит, циркон, магнетит и др.). Косая слоистость, древесная углефицированная растительность указывают на переходные условия формирования этих пород от дельтовых к сопряженным с ними мелководным фациям. В южной части карьера отмечается фациальный переход от авандельты к более дистальным фациям, которые представлены алевролитами и аргиллитами, обладающим зеленоватым, а на отдельных участках розоватым или вишневым оттенками. В аргиллитах преобладающими минералами являются каолинит, реже хлорит и гидрослюда [10].

Зеленоватые цвета аргиллитов, а также наличие в них конкреций марказита, свидетельствует о восстановительных условиях формирования на стадии диагенеза в то время, как красноватые оттенки, свидетельствующие о присутствии Fe^{+3} , говорят о размыве континентальной коры выветривания латеритного типа.

Рудный пласт слагают прослой мощностью 1,5—2 м сложен средне-мелкозернистым слабо сцементированным туфопесчаником обогащенным

рудными минералами в количестве до 24 кг/м³. Среди минералов тяжелой фракции на долю немагнитных приходится ~30 %, на долю магнитной фракции ~20 % и на долю электромагнитных ~50 %.

Основная масса немагнитной фракции представлена сульфидами, среди которых доминирует арсениопирит (~70 %), в виде обломков неправильной формы, а также агрегатов, размером (0,2×0,16 мм), цвет стальносерый, блеск сильный металлический, среди обломков иногда встречаются фрагменты граней с хорошо выраженной штриховкой. В подчиненном количестве (~20—25 %) во фракции присутствует пирит в виде кубиков размером от (0,064×0,064 мм) до (0,144×0,12 мм), с характерной для пирита штриховкой направленной под прямым углом к ребрам. Цвет кубического пирита латунно-желтый, на кристаллах встречаются корочки лимонита бурого и грязно-бурого цвета, что характерно для пирита, затронутого процессами окисления. Иногда поверхность кристаллов пирита покрыта побежалостью. В резко подчиненном количестве (не более 2—3 %) обнаружен халькопирит, для которого характерны неправильные зерна с побежалостью от ярко зеленого до синего цвета, размер зерен халькопирита 0,064×0,088 мм.

Апатит, встречается в виде мелких, бесцветных, гексагональных призм, иногда со скошенными гранями между призмами и пинакоидом и с хорошо выраженной спайностью по пинакоиду. Внутри кристаллов, как правило, хорошо видны пузырьковые включения.

Сфен образует мелкие оскольчатые обломки, коричневого, иногда до темно коричневого цвета, причем интенсивность окраски резко меняется в одном зерне. Хорошо выражена спайность в 3 направлениях, по которым формируются сколы. В виде единичных, редко встречающихся зерен обнаружены: монацит, представленный в виде мелких (~0,08 мм) таблитчатых кристаллов красно-бурого цвета, турмалин в виде удлинённых обломков кристаллов зеленого до темно-зеленого цвета, топаз медово-желтого цвета, прозрачный, с хорошо выраженной спайностью по пинакоиду. Лейкоксен буровато-серого цвета, как правило, хорошо окатанный встречается в количестве до первых %, в отдельных зернах лейкоксена обнаруживаются реликты сфена.

Магнитная фракция представлена, главным образом, хромшпинелидами, черного цвета, часто образующими изометричные зерна октаэдрического облика, блеск сильный металлический. Зерна слабо окатанные или неокатанные.

Ильмениты составляют 95 % всей электромагнитной фракции и представлены кристаллами черного иногда смоляно-черного цвета, с полуметаллическим блеском, раковистым изломом, на сглаженных гранях отмечается матовый блеск. Отдельные грани и ребра несут следы слабой экзогенной обработки (окатанности), размер колеблется (от 0,08 до 0,15 мм) на поверхности в углублениях кристаллов обнаруживаются следы лейкоксенизации. Наиболее широко распространены уплощенные ромбоэдрические, реже таблитчатые с многочисленными ступенчатыми уступами кристаллы.

Кроме ильменита в электромагнитной фракции обнаружены единичные зерна граната и моноцита.

Циркон представлен кристаллами и обломками размером (от 0,03 до 0,1 мм). Преобладают кристаллы цирконов гиацинтового типа с комбинациями пирамид и дипирамид (111;311) и призмы (100;110). Цвет от серо-зеленого до медово-желтого иногда розоватого цвета. Кристаллы с ярко выраженным зеленоватым оттенком и цветом под микроскопом обнаруживают резко пониженное двуприломенение (циртолит). Они непрозрачны и трещиноваты, грани сглажены. Крупные кристаллы, как правило, заметно уплощены. Более мелкие желтоватые и розоватые прозрачные цирконы обладают сильным блеском, содержат разнообразные по форме минеральные включения. В них отмечается зональность, как правило, параллельно граням призмы и дипирамид (рис. 1)¹.

Гистограмма распределения по коэффициенту удлинения (рис. 2) показывает крайне разнообразную

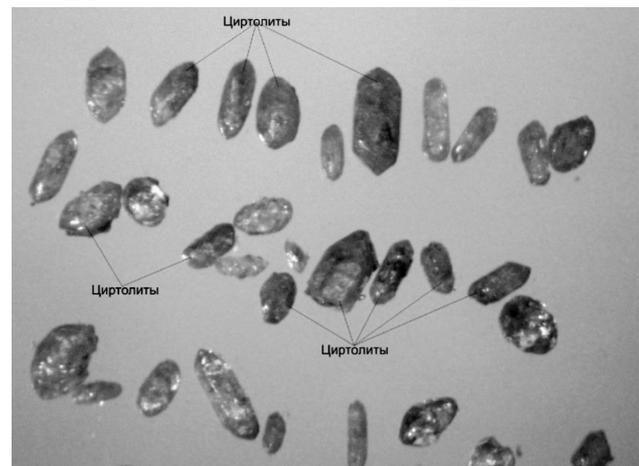


Рис. 1. Фото цирконов из рудного пласта ястребовского горизонта

¹ Здесь и далее анализы произведены на микрозонде Camebax Microbeam, аналитик Куликова И.М. ИМГРЭ

зие (до 10) разновидностей цирконов по этому признаку.

Изучение составов циркона на микрозонде (табл. 1) показало наличие трех типохимических типов цирконов: 1) нормальные (со средним содержаниями $\text{SiO}_2 \sim 32\%$ и $\text{ZrO}_2 \sim 65\%$; 2) с умеренно пониженными содержаниями указанных окислов ($\text{SiO}_2 — 28,3\%$, $\text{ZrO}_2 — 60,9\%$) и 3) с резко пониженным содержаниями $\text{SiO}_2 (\sim 54,8\%)$ и $\text{ZrO}_2 (\sim 54,8\%)$. При этом отмечается, что чем выше степень «разложенности» циркона, тем выше содержания суммы редких земель, ThO_2 , UO_2 .

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

В Павловском карьере на гранитоидах одноименного комплекса развита кора выветривания мощностью от 30—40 см до 1,5—2,5 м. В зоне корообразования гранитоиды интенсивно каолинизированны, что свидетельствует о проявлении третьей (кислой сиалитной) стадии корообразо-

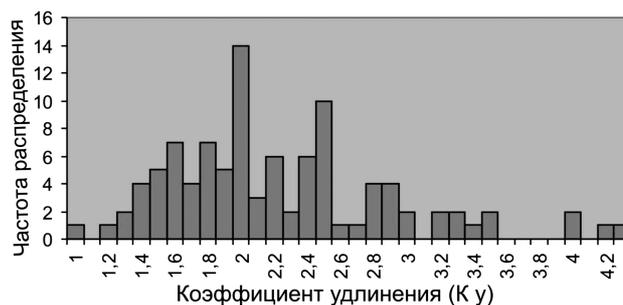


Рис. 2. Гистограмм распределения по коэффициентам удлинения цирконов из рудного пласта ястребовского горизонта

вания. Изучение акцессорных минералов из коры выветривания показало, что в их состав доминируют минералы электромагнитной фракции $\sim 50\%$ в меньшей степени магнитной (20 %) и тяжелой немагнитной (30 %) фракций.

Тяжелая немагнитная фракция состоит на 60 % из сульфидов представленных, главным образом, пиритом, в меньшей степени арсенипи-

Таблица 1

Химический состав цирконов рудного пласта

Точка	Циркон					Ср.зн цирк	Цирт.1		Цирт. 2		Ср.зн цирт
	1	2	3	4	5		6	7	8	9	
SiO_2	32,01	30,89	32,66	32,52	32,9	32,38	28,32	26,15	24,01	23,93	24,70
Y_2O_3	0	0,39	0,06	0	0	0,09	0,55	1,91	2,06	1,76	1,91
ZrO_2	65,12	64,2	65,9	66,44	66,48	65,63	60,9	54,68	54,54	55,06	54,76
ThO_2	0	0	0,07	0	0	0,01	0,01	0,17	0,16	0,04	0,12
CaO	0	0,29	0	0	0	0,06	0,87	1,19	1,01	1,96	1,38
TR_2O_3	0,03	0,23	0,22	0,29	0,13	0,18	0,51	0,81	0,91	0,67	0,80
HfO_2	0,98	1,16	0,93	0,9	1,14	1,02	1,25	0,97	0,79	1,09	0,95
UO_2	0,04	0	0,04	0,04	0,06	0,04	0,09	0,13	0	0,28	0,14
Al_2O_3	0	0,29	0,09	0,01	0	0,08	0,52	0,38	1,22	1,27	0,96
Fe_2O_3	0	0,1	0,02	0,02	0,09	0,05	0,31	0,24	0,68	0,5	0,47
Сумма	99,08	97,55	99,99	100,22	100,8	99,53	93,38	86,63	85,38	86,55	86,19
TR, %											
Точка	1	2	3	4	5	Ср.зн цирк	6	7	8	9	Ср.зн Цирт
La	0	0,01	0,02	0,03	0	0,01	0,05	0	0,01	0,05	0,02
Ce	0	0,03	0	0,08	0	0,02	0,05	0,06	0,01	0,13	0,08
Nd	0,01	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,02	0,07	0,05
Sm	0	0,08	0	0	0	0,03	0	0,02	0,07	0,08	0,06
Gd	0	0,01	0,01	0,1	0,1	0,04	0,003	0,31	0,2	0,13	0,21
Dy	0	0,04	0,04	0,02	0	0,02	0,1	0,1	0,14	0,04	0,09
Er	0,01	0	0,01	0	0	0,00	0,05	0,08	0,13	0,05	0,09
Yb	0	0	0,08	0	0	0,02	0,12	0,06	0,16	0,04	0,09
Сумма	0,02	0,19	0,19	0,25	0,11	0,15	0,43	0,7	0,79	0,58	0,69

ритом и в подчиненном количестве халькопиритом. Широким распространением пользуется апатит, циркон, гранат, на долю которых приходится порядка 10 %.

Пирит образует чаще всего кристаллы кубического габитуса, и их обломки, иногда отмечаются вытянутые кристаллы пирита с коэффициентом удлинения 3—4. Арсенопирит — неправильные зерна и их агрегаты стальносерого цвета с ярко выраженным металлическим блеском. Халькопирит — редкие зерна неправильной формы, с желтоватым оттенком и, как правило, с хорошо выраженной побежалостью. Апатит представлен бесцветными, короткостолбчатыми кристаллами с хорошо развитыми гранями призмы и пинакоида, содержат множество пузырьковых включений. Гранат встречается в виде обломков розового цвета с раковистым изломом. Магнитная фракция состоит на 90 % из магнетита смоляно-черного, с металлическим блеском цветом, обладающего октаэдрической формой кристаллов, а также их обломками размером 0,15 мм, иногда отмечаются сростки мелких октаэдров, поверхности сколов обладают раковистым изломом.

Электромагнитная фракция на 95 % состоит из лейкоксена, встречающегося в виде неправильных округлых зерен, легко раздавливаемых в белый порошок, цвет коричневатого-желтый. В отдельных зернах встречаются реликты сфена.

Циркон бледно-розового, реже золотистого цвета, как правило, гиацинтового, реже цирко-

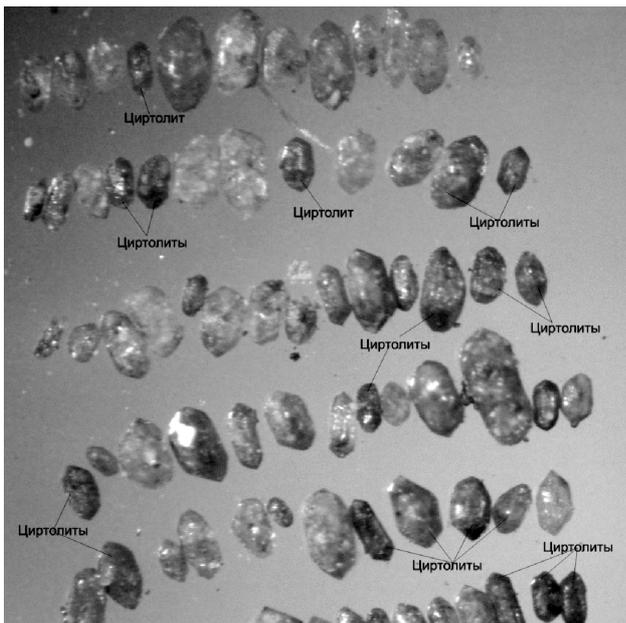


Рис. 3. Фото цирконов из коры выветривания по гранитоидам павловского комплекса

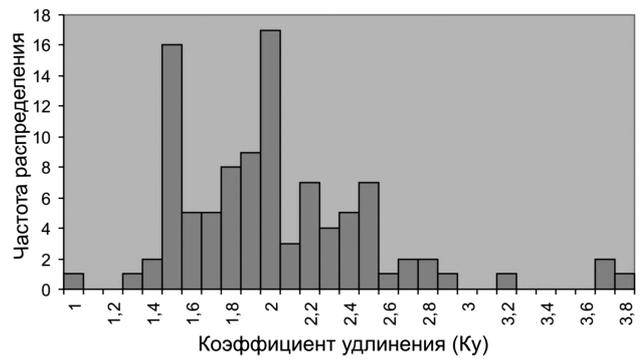


Рис. 4. Гистограмма распределения по коэффициентам удлинения цирконов из коры выветривания по гранитоидам павловского комплекса

нового типов, часто уплощенной формы, зонального строения, часто содержащие газовой-жидкие и минеральные включения (биотит). Кристаллы в различной степени трещиноваты. Кроме прозрачных розоватых кристаллов, на долю которых приходится порядка 80 %, встречаются зеленоватые, слабо прозрачные кристаллы с пониженным двупреломлением. По коэффициенту удлинения (рис. 3), отмечаются пять ярко выраженных пиков частоты встречаемости с тремя слабо выраженными отскоками. Наиболее распространены цирконы с коэффициентом 1,5 и 2,0 (рис. 4), менее развиты цирконы с коэффициентов удлинения 2,2; 2,5; 2,7—2,8.

Изучение химического состава циркона из коры выветривания (табл. 2), как и в рудном горизонте, показало наличие трех типов: 1) нормальный циркон (SiO_2 32,59 %; ZrO_2 64,58 %); 2) циртолит с умеренно пониженными содержания (среднее значение SiO_2 — 29,49 %; ZrO_2 — 58,97 %); и 3) с резко пониженным содержания главных окислов (SiO_2 — 21,32 %; ZrO_2 — 53,06 %). Точно так же, как и в россыпи, ведут себя редкие земли, торий и уран.

МИНЕРАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ГРАНИТОИДОВ ПАВЛОВСКОГО КОМПЛЕКСА

Кроме минералов коры выветривания были изучены акцессорные минералы неизменных гранитоидов подстилающие коры выветривания. Акцессорные минералы в гранитоидах главной фазы павловского комплекса ранее детально изучались В. В. Ильешом и А. Е. Звонаревым [3]. В порядке распространенности указанными авторами назывался следующий ряд минералов: магнетит, сфен, лейкоксен, апатит, эпидот, циркон, ильменит. Рутил, гематит, графит, дистен,

Химический состав цирконов коры выветривания по гранитоидам

Точка	Циркон					Ср.зн Цирк.	Цирт. 1 6	Цирт. 2			Ср.зн Цирт.
	1	2	3	4	5			7	8	9	
SiO ₂	32,01	30,89	32,66	32,52	32,9	32,38	28,32	26,15	24,01	23,93	24,70
Y ₂ O ₃	0	0,39	0,06	0	0	0,09	0,55	1,91	2,06	1,76	1,91
ZrO ₂	65,12	64,2	65,9	66,44	66,48	65,63	60,9	54,68	54,54	55,06	54,76
ThO ₂	0	0	0,07	0	0	0,01	0,01	0,17	0,16	0,04	0,12
CaO	0	0,29	0	0	0	0,06	0,87	1,19	1,01	1,96	1,38
TR ₂ O ₃	0,03	0,23	0,22	0,29	0,13	0,18	0,51	0,81	0,91	0,67	0,80
HfO ₂	0,98	1,16	0,93	0,9	1,14	1,02	1,25	0,97	0,79	1,09	0,95
UO ₂	0,04	0	0,04	0,04	0,06	0,04	0,09	0,13	0	0,28	0,14
Al ₂ O ₃	0	0,29	0,09	0,01	0	0,08	0,52	0,38	1,22	1,27	0,96
Fe ₂ O ₃	0	0,1	0,02	0,02	0,09	0,05	0,31	0,24	0,68	0,5	0,47
Сумма	99,08	97,55	99,99	100,22	100,8	99,53	93,38	86,63	85,38	86,55	86,19
TR, %											
Точка	1	2	3	4	5	Ср.зн Цирк.	6	7	8	9	Ср.зн Цирт.
La	0	0,01	0,02	0,03	0	0,01	0,05	0	0,01	0,05	0,02
Ce	0	0,03	0	0,08	0	0,02	0,05	0,06	0,01	0,13	0,08
Nd	0,01	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,02	0,07	0,05
Sm	0	0,08	0	0	0	0,03	0	0,02	0,07	0,08	0,06
Gd	0	0,01	0,01	0,1	0,1	0,04	0,003	0,31	0,2	0,13	0,21
Dy	0	0,04	0,04	0,02	0	0,02	0,1	0,1	0,14	0,04	0,09
Er	0,01	0	0,01	0	0	0,00	0,05	0,08	0,13	0,05	0,09
Yb	0	0	0,08	0	0	0,02	0,12	0,06	0,16	0,04	0,09
Сумма	0,02	0,19	0,19	0,25	0,11	0,15	0,43	0,7	0,79	0,58	0,69

хромит, ортит встречаются спорадически. Крайне редко обнаруживаются зерна монацита, флюорита, галенита, молибденита и халькопирита. По нашим данным в неизмененных гранитоидах набор аксессуариев несколько скромнее.

В отличие, от минералов коры выветривания аксессуарные минералы гранитоидов характеризуются следующими особенностями.

Немагнитная тяжелая фракция состоит из апатита (15 %), сфена (55 %), циркона (15 %) и пирита (15 %).

Апатит встречается в виде гексагональных удлиненных, реже короткостолбчатых призматических кристаллов, а также обломков размером от 0,104×0,056 до 0,216×0,056 мм. Кристаллы прозрачные, бесцветные, на гранях призм обнаруживаются четко выраженные следы частичного растворения, как правило, содержат газовой-жидкие (пузырьковые) включения.

Сфен, развит в виде угловатых обломков, а также в виде мелких конвертообразных кристаллов, с хорошо выраженными ступенчатыми уступами на поверхности граней. Цвет коричневый различ-

ной интенсивности окраски от светло-коричневого до темно-коричневого. Более светло окрашенные разновидности практически прозрачные, без видимых включений. Пирит — обломки кристаллов, размером от 0,28×0,24 до 0,12×0,088 мм кубического габитуса, реже пентагондодекаэдры, с золотистым, иногда зеленоватым оттенком серого цвета, излом раковистый.

Магнитная фракция представлена исключительно магнетитом, в виде обломков, реже встречаются типичные октаэдрические зерна размером до 0,15 мм.

В электромагнитной фракции обнаружены сфен, амфибол редкие зерна циркона и ильменита.

Циркон гиацинтового типа, светло розового цвета, наблюдаются следы частичного растворения особенно в изометричных кристаллах. В 50 % зерен наблюдается зональность, в 10 % кристаллах наблюдаются соотношения «зерно в зерне». Для цирконов характерны пузырьковые включения. Более крупные цирконы, как правило более трещиноваты. (рис. 5). По коэффициенту удлинения можно выделить шесть типов (рис. 6).



Рис. 5. фото цирконов из гранитоидов павловского комплекса

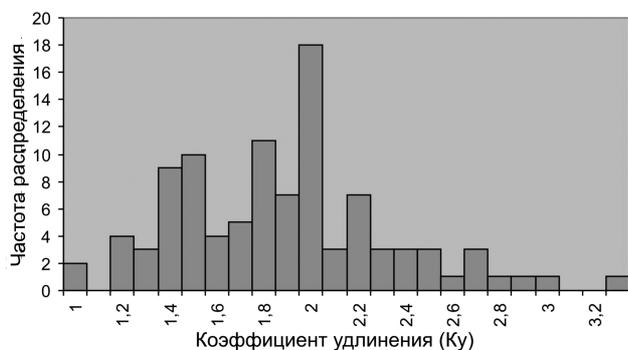


Рис. 6. Гистограмма распределения по коэффициентам удлинения цирконов из гранитоидов павловского комплекса

Гистограмма в интервале 1,7—2,3 идентична гистограмме ястребовского горизонта.

По данным В. В. Ильяша и А. Е. Звонарева [3] в гранитоидах павловского комплекса, обогащенных респитом, выделяется до шести разновидностей (типов) цирконов, в том числе метасоматический, метаморфогенный, вулканогенный и детритовый. По нашим данным в пределах Павловского карьера набор разновидностей и, судя по типоморфным особенностям (гистограммы по к.у.) также соответствует шести, однако на наш взгляд их природа связана не с контаминацией, а с особенностями становления пород главной фазы, как например, было установлено для гранитоидов Даховского кристаллического массива Западного Кавказа [1].

Химический состав цирконов свидетельствует об их нормальном состоянии (табл. 3, рис. 7). Содержание SiO_2 колеблется от 32,31 до 33,21 % (среднее 32,78 %), ZrO_2 от 64,07 до 66,26 % (среднее 65,17 %). Содержание ThO_2 изменяется от 0 до 0,09 %, UO_2 от 0 до 0,16 %, сумма редких земель

от 0,01 до 0,2 %. Обращает на себя внимание тот факт, что именно в циртолитах коры выветривания и рудного пласта отмечается повышенное содержание Th, редких земель и U, что возможно, определяет неустойчивость цирконов в зоне гипергенеза и их переход в циртолиты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По набору аксессуарной минерализации гранитоиды и продукты их разложения в коре выветривания практически идентичны. Исключением служит сфен, который доминирует в гранитоидах и практически отсутствует в коре выветривания, замещаясь лейкоксеном.

Рудный пласт ястребовского горизонта содержит в значительных количествах хромшпинелиды и ильмениты, которые не характерны для гранитоидов, что говорит о дополнительных источниках сноса при формировании рудного пласта.

Проходным минералом для триады гранитоиды — кора выветривания — рудный пласт является циркон, который в названном ряду изменяет свой типоморфизм и типохимизм. Считается [2, 6, 8], что химический состав цирконов в зоне гипергенеза меняется незначительно. В частности, отмечалось [4], что в зоне гипергенеза в цирконах снижается содержание Zr и увеличивается Zr/Hf отношения. Причины способности циркона изменять свой состав еще далеко не выяснены, хотя можно предположить, что эта способность зависит от степени дефектности кристаллической решетки минерала, показателем которой является наличие примесей U, Th, редких земель и других элементов (табл. 2, 3, рис. 7). Анализ химизма неизменных цирконов материнских пород (гранитоидов) и коры выветривания по гранитоидам показывает существенные их различия, прежде всего по содержаниям U, Th и редких земель. В гранитоидах цирконы по содержаниям указанных элементов варьируют в достаточно широких пределах, в то время, как неизменные цирконы коры выветривания характеризуются минимальными значениями этих элементов и соответствуют лишь незначительной части цирконов ранних генераций неизменных гранитоидов.

Так, сравнение составов цирконов из гранитоидов и коры выветривания показывает, что в процессе корообразования часть цирконов подвержены процессу циртолизации. Это касается наиболее крупных цирконов поздней генерации, характеризующихся повышенной трещиноватостью. Циртолизация выражается в появлении зеленоватого цвета, снижения блеска и уменьшении двупреломления под микроскопом. По результатам микрозон-

Таблица 3

Химический состав цирконов гранитоидов главной фазы павловского комплекса

Точка	1	2	3	4	5	6	7	8	Ср.зн
SiO ₂	32,93	32,57	32,31	32,38	32,88	32,95	33,21	33,04	32,78
Y ₂ O ₃	0	0,03	0	0,04	0,05	0,12	0,07	0,09	0,05
ZrO ₂	66,04	66,26	65,51	64,76	65,41	64,07	64,74	64,55	65,17
ThO ₂	0	0,02	0	0,09	0	0,02	0,06	0,08	0,03
CaO	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0	0,01	0,01
TR ₂ O ₃	0,20	0,01	0,16	0,19	0,19	0,17	0,02	0,24	0,15
HfO ₂	1,01	0,95	0,86	1,02	1,02	0,7	0,97	1,08	0,95
UO ₂	0	0,16	0,1	0,13	0	0	0,1	0,01	0,06
Al ₂ O ₃	0,02	0,05	0,01	0,01	0,02	0,05	0,05	0	0,03
Fe ₂ O ₃	0,03	0	0	0,01	0,02	0,08	0	0,03	0,02
Сумма	100,2	100,1	98,97	98,64	99,61	98,19	99,22	99,13	99,26
TR, %									
Точка	1	2	3	4	5	6	7	8	Ср.зн
La	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	0,07	0,00	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03
Nd	0,10	0,01	0,00	0,07	0,04	0,08	0,01	0,04	0,04
Sm	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,01
Gd	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,04	0,00	0,00	0,02
Dy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,05	0,01
Er	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,01
Yb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Сумма	0,17	0,01	0,14	0,16	0,16	0,15	0,02	0,21	0,13

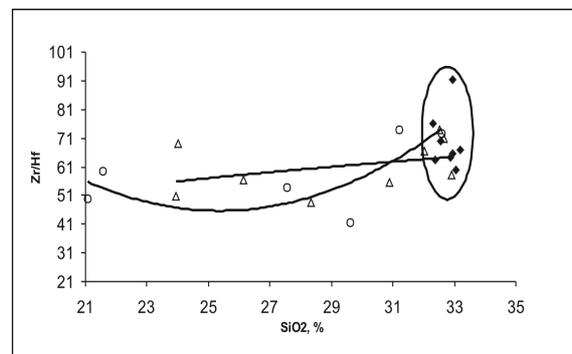
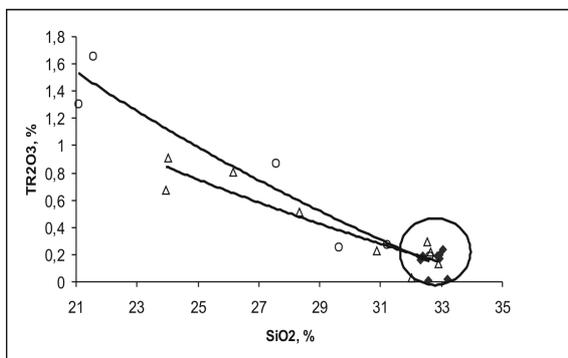
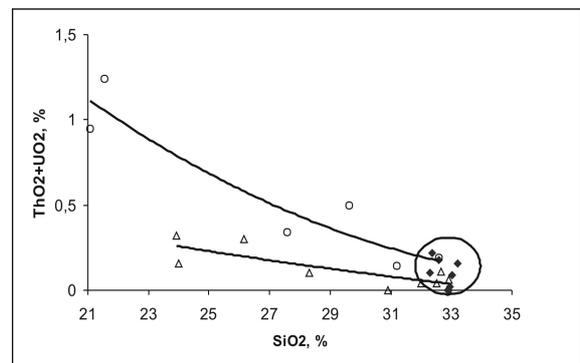
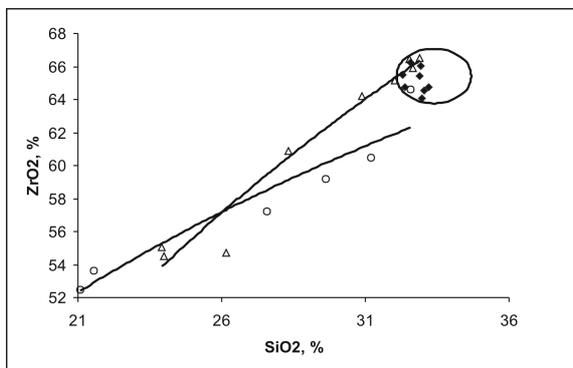


Рис.7 Вариационные диаграммы содержаний в цирконах: циркония (а), радиоактивных элементов (б), редкоземельных элементов (в), цирконий-гафниевого отношения в цирконах (г) в зависимости от содержания SiO₂.
 Условные обозначения к рис.7: ◆ — цирконы из гранитоидов главной фазы павловского комплекса; ○ — цирконы из коры выветривания; Δ — цирконы из рудного пласта ястребовского горизонта; овалом оконоурены фигуративные точки составов цирконов из гранитоидов главной фазы павловского комплекса

дового анализа (табл. 1, 2, 3, рис. 7) в циртолитах снижается содержание SiO_2 (до 21—22 % вместо 33 %), ZrO_2 (до 52—54 % вместо 65 %), одновременно несколько понижается Zr/Hf отношения (до 54 вместо 73), содержание суммы редких земель повышается (в 4—5 раз). Можно выделить две стадии процесса циртолизации. На первой стадии содержание кремнезема снижается до 27—29 % при одновременном снижении ZrO_2 до 57—60 % и повышении суммы окислов редких земель от 0,19 до 0,26—0,87 и ThO_2 от 0 до 0,17. На второй отмеченные тенденции усиливаются (табл. 2). Сумма окислов в циртолитах по результатам микрозондового анализа колеблется в интервале от 84 до 93. Недостающая часть, по-видимому, приходится на H_2O , содержание которой в циртолитах может достигать значительных (более 10 %) величин.[7]

Сравнение цирконов и циртолитов коры выветривания с цирконами гранитоидов показывает, что последние содержат ThO_2 от 0,01 до 0,24 (среднее 0,15) и UO_2 от 0 до 0,16, причем явная корреляция между U и Th отсутствует (табл. 3).

Напрашиваются выводы о том, что циртолизации подвержены цирконы с повышенным содержанием U и Th , а также связанных с ними редкоземельных элементов.

Неизменные цирконы, встречающиеся в рудном пласте, характеризуются минимальным содержанием UO_2 и ThO_2 , в то время как в циртолитах отмечаются те же самые закономерности поведения элементов редкоземельной группы U и Th , как и в коре выветривания.

Судя по типохимизму цирконов пласта, источником сноса, при его формировании, служили как кора выветривания по гранитоидам, так и дополнительные источники, о чем свидетельствует и более широкий спектр аксессуаров, по сравнению с гранитоидами (появление в большом количестве ильменита и хромшпинелидов).

ВЫВОДЫ:

1. Цирконы в коре выветривания способны изменять свой состав и переходить в циртолиты.

2. Процессу циртолизации подвержены цирконы с повышенным содержанием UO_2 , ThO_2 и редких земель.

3. Цирконы, подверженные циртолизации характеризуются интенсивной трещиноватостью, более крупными размерами и, как правило, уплотненным габитусом.

4. Циртолиты, по-видимому, при переносе легко разрушаются, поэтому их наличие в россыпях может указывать на близость источника сноса.

5. Источником сноса при формировании рудного пласта ястребовского горизонта кроме гранитоидов и элювия по ним, служили породы основного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотарева Г.С., Ненахов В.М. Акцессорные минералы и типоморфизм цирконов гранитов Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестн. ВГУ, сер. Геол., 2006, № 1. — С. 39—44.

2. Ильин В.В. К методике использования химического состава цирконов в петрологии метаморфических пород // Вестн. ВГУ, сер. Геол., 1999, № 7. — С. 128—133.

3. Ильин В.В., Звонарев А.Е. Типоморфные особенности циркона и других акцессорных минералов гранитоидов главной фазы павловского комплекса ВКМ как петрогенетические индикаторы // Вестн. ВГУ, сер. Геол., 2001, № 12. — С. 140—148.

4. Ильин В.В. Минералого-петрографические признаки метаморфизованного элювия в докембрии КМА // Геология и генезис месторождений железных руд КМА. — Воронеж, 1987. — С. 3—126.

5. Кременецкий А.А., Веремева Л.И., Архипова Н.А., Громалова Н.А. Экономическая модель рационального недропользования на примере Ставропольского Ti-Zr россыпного района // Разведка и охрана недр. — 2006, № 9. — 10. — С. 13—26.

6. Кухаренко А.А. Минералогия россыпей М., 1961, 317 с.

7. Липова И.М., Кузнецова Г.А., Макаров Е.С. Изучение метамиктного состояния цирконов и циртолитов // Геохимия, 1965, № 6. — С. 681—694.

8. Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. — М., 1967, 488 с.

9. Савко А.Д., Беляев В.И., Иконников Н.Н., Иванов Д.А. Титан-циркониевые россыпи Центрально-Черноземного района // Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1995, 148 с.

10. Савко А.Д. Глинистые породы верхнего протерозоя и фанерозоя Воронежской антеклизы // Воронеж. Изд-во ВГУ, 1988. — 192 с.