

УДК 552.124

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИРКОНА И ДРУГИХ АКЦЕССОРНЫХ МИНЕРАЛОВ ГРАНИТОИДОВ ГЛАВНОЙ ФАЗЫ ПАВЛОВСКОГО КОМПЛЕКСА ВКМ КАК ПЕТРОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

В.В. Ильяш, А.Е. Звонарев

Воронежский государственный университет

Рассмотрены типоморфные особенности акцессорных минералов гранитоидов павловского комплекса с целью выявления этапности его формирования, которая наиболее ярко отразилась в кристалломорфологии и типохимизме циркона.

Естественные выходы докембрийских гранитоидных пород в пределах Среднерусской равнины известны лишь в среднем Придонуе, поэтому, помимо интереса к ним как к природному феномену, они давно привлекают к себе внимание исследователей как интереснейший объект для изучения петрологии ультраметаморфических комплексов. В обнажениях, в том числе и в действующем карьере, в гранитоидах наблюдаются рестины метаморфогенного субстрата, но встречаются они не часто и гранитоиды представлены достаточно однородными породами. Исключением является лишь обнажение “Тихий Дон”, где меланократовая составляющая исходных метаморфитов – кристаллических сланцев с изменчивым соотношением биотита и амфиболов распространена достаточно широко.

При гранитизации минеральный и химический составы метаморфитов меняются существенным образом, не говоря уже об исходном материале. При реконструкции первичной природы последнего в большей мере используются петрохимические методы, однако для пород, претерпевших интенсивный метасоматоз, как в данном случае, они мало пригодны. Реликтовые признаки лучше искать среди акцессорных минералов, которые более консервативны, чем порообразующие. В настоящей статье вниманию читателя предлагаются результаты изучения акцессорных минералов из проб различных обнажений пород так называемой “главной фазы” гранитоидов павловского комплекса с привлечением ранее опубликованных данных других исследователей.

Минералого-петрографические особенности гранитоидов

Породы комплекса неоднородны по сложности и петрографическому составу. В общем виде имеет место пластообразная перемежаемость относительно гомогенных гранитоидов и в разной степени мигматизированных метаморфических скиалитов. Последние представлены главным образом меланократовыми малокварцевыми сланцами. Состав субстрата во многом определяет вещественный со-

став даже гомогенизированных разностей гранитов, отличающихся дефицитом кремнезема. Выделяются две фазы формирования ультраметаморфитов. В главную образовались средне-крупнозернистые роговообманковые граносиениты, роговообманково-биотитовые граниты, а во вторую – лейкократовые жильные породы [1]. По нашим наблюдениям лейкократовые разности гранитоидов могут быть образованы и за счет первичного более кислого субстрата, каковым могут быть как орто- так и парапороды.

Роговообманковые граносиениты. Всегда тяготеют к участкам, богатым скиалитами меланократовых метаморфитов, что согласуется с представлениями Д.С. Коржинского о диффузионных ореолах повышенной щелочности вокруг гранитизируемых основных пород. Имеют в той ли иной степени выраженную ориентированную текстуру. Структура порфиروبластовая разнозернистая. Порфиробласты микроклин-пертита составляют от 5 до 20% объема породы. Микроструктура основной массы аллотриоморфнозернистая или бластогранитная.

Главные минералы граносиенитов - микроклин-пертит, плагиоклаз, кварц (обычно не более 5-7 %), роговая обманка (до 6 %); второстепенные - биотит, пироксен. Акцессорные - магнетит, сфен, апатит, циркон, эпидот, пирит, гидроортит, ильменит, рутил, гематит. Вторичные - хлорит, лейкоксен, цоизит, серицит, карбонаты.

Роговообманково-биотитовые граниты. Наряду с граносиенитами ведущее место среди гранитоидов главной фазии павловского “массива” принадлежит роговообманково-биотитовым гранитам. Среди них распространены как равномернозернистые так и порфировидные разновидности с порфиробластами микроклин-пертита (до 10-15%). Структура гранитов гипидиоморфнозернистая с элементами бластогранитной. Отличаются от граносиенитов более высоким содержанием плагиоклаза, кварца, биотита (3,1%) и меньшим - микроклин-пертита и роговой обманки.

Гнейсо-граниты, гнейсо-граносиениты, гранито-гнейсы, гранодиорито-гнейсы, апоамфиболитовые гранодиориты. Все перечисленные разно-

видности гранитоидов представляют собой преобладающий метатектит мигматитовых зон. Широко представлены в обнажении “Тихий Дон”. По условиям залегания и составу занимают промежуточное положение между относительно гомогенными гранитоидами главной фации и реликтовыми породами субстрата. Различаются между собой в основном, по содержанию породообразующих минералов. Порфиобласты микроклин-пертита содержат многочисленные реликтовые включения олигоклаза, роговой обманки, биотита, сфена, а в остальной массе пород микроклин образует апофизы и прожилки в этих минералах.

Особенности состава и распределения акцессорных минералов

Видовой состав акцессорных минералов главных петротипов павловского комплекса довольно выдержан вне зависимости от количественных вариаций породообразующих минералов. Меняются лишь количественные соотношения.

Типоморфную (выдержанную) ассоциацию акцессорных минералов составляют (в порядке распространенности и концентраций): магнетит, сфен, лейкоксен, апатит, эпидот, пирит, циркон, ильменит. Рутил, гематит, графит, дистен, хромит, ортит встречаются спорадически. В отдельных пробах обнаружены единичные зерна флюорита, монацита, галенита, молибденита, халькопирита, криоконита, изумруда(?), которые можно отнести к экзотическим минералам.

Содержания магнетита, сфена, апатита, циркона, пирита в граносиенитах комплекса значительно выше средних, а в отдельных пробах и выше предельных в породах подобного типа [2]. Количество их возрастает от гомогенных к гибридным разновидностям граносиенитов. Выделяются три генерации перечисленных акцессорных минералов, из которых первая соответствует магматическому и прогрессивно-метаморфическому этапам, вторая - начальной стадии калиевого метасоматоза, третья - позднему щелочно-кремниевому метасоматозу. В количественном отношении преобладают акцессорные минералы второй генерации. Они приурочены к роговой обманке, биотиту и интерстициям зерен породообразующих минералов [1].

Для гранитов характерно меньшее, чем в граносиенитах, содержание типоморфных акцессорных минералов - магнетита, сфена, апатита, лейкоксена пирита, но здесь чаще встречается ортит.

По видовому составу акцессорные минералы метатектитовых пород близки к описанным выше граносиенитам и гранитам. Содержание акцессориев увеличивается пропорционально основности пород. Так по данным О.И. Египко [1], в апоамфиболитовых гранодиоритах суммарное содержание сфена, магнетита, апатита, циркона, ортита достигает 5-10 весовых %. Большинство акцессориев располагается на стыках зерен породообразующих минералов и в

межзерновом гранобластовом агрегате, что свидетельствует о более позднем выделении их по сравнению с олигоклазом и роговой обманкой. Часто встречаются зональные кристаллики сфена с регенерационной наружной оболочкой, цирконы с реликтовыми округлыми ядрами, футлярообразные кристаллики гидроортита-эпидота.

Типоморфные особенности цирконов

В породах павловского комплекса присутствуют как сквозные типы этого минерала, так и собственные лишь определенным петрографическим разностям. По внешним (морфологическим) признакам в отдельных пробах выделяется до шести разновидностей этого минерала. Наиболее разнообразны цирконы из гранитоидов, богатых реститами. На основании минеральных ассоциаций, морфологии, геохимии и других признаков эти разновидности можно с определенной степенью достоверности соотносить с генерациями, что нашло отражение в названиях, которые присвоены им в большей мере для удобства пользования в дальнейшем по тексту.

Кристалло-морфологические типы

Метасоматический тип (I) К нему мы отнесли цирконы, количественно преобладающие во всех пробах, независимо от петрографических особенностей пород. Генетически вероятнее всего связан с этапом калиевого метасоматоза. Окраска, морфология и химический состав этих цирконов имеют все особенности, характерные для таких условий минералообразования. Они тяготеют к порфиобластам микроклина, отличаются совершенными формами кристаллов с четко выраженными кристаллографическими элементами. Характерен преимущественно короткопризматический облик, хотя по показателю удлинения имеются и заметные вариации. Габитусные формы отражают специфику химизма среды минералообразования - относительный недостаток кремнезема при избытке щелочей и, прежде всего, калия. Кристаллы часто несут грани острой дипирамиды (113), что свойственно породам бедных цирконием [3]. В то же время, габитусное значение также имеют и грани, характерные для среды, богатой калием - (111) и (110). Для зоны призмы отмечается и комбинация граней (110) и (100) при большем развитии все же первой.

Для цирконов этого типа характерна более или менее однородная окраска коричневых тонов, заметная прозрачность, относительная однородность внутреннего строения, иногда с микрizonaми роста, высокие показатели преломления и двупреломления. Иногда в них отмечаются ядра более ранних генераций.

Метаморфогенный тип (II) распространен в меньшей степени. Для его индивидов характерна более светлая окраска розово-желтоватых тонов, призматический удлиненный облик при общем преобладании несовершенных форм кристаллов, нередко уплощенных. Развитие в зоне пирамиды имеют

лишь грани (111), а призма представлена лишь гранью (110). Характерны при этом асимметричные и уплощенные формы кристаллов со скоплениями тонкодисперсных частиц в их центральной части, нередко в виде присыпок вокруг округлых ядер. Ядра в этом типе циркона присутствуют постоянно. Идиоохроматическая окраска слабая, или отсутствует вовсе. Иногда наблюдается и вторичная – желтоватая за счет гидроокислов железа.

Цирконы этого типа, скорее всего, связаны с метаморфизмом исходных осадочных пород. В пользу этого свидетельствуют окатанные ядра, законсервированные в оболочках этой генерации, уплощенный облик кристаллов и особенности химизма: бедность примесями, вероятно в силу малой подвижности многих элементов в условиях изохимического метаморфизма. Об этом же можно судить и по приуроченности цирконов к плагиоклазам и роговой обманке, то есть к метаморфогенным минералам.

Вулканогенный (субвулканогенный) тип (III) обнаружен в реститах биотитовых сланцев “Тихого Дона”. Особенность в морфологическом облике и габитусе (длиннопризматические кристаллы сложно ограниченные с доминирующей острой дипирамидой), а также в ассоциации с плеохроичным апатитом.

Детритовый тип (IV). К нему мы отнесли цирконы с нормальными оптическими свойствами, которые присутствуют как в форме ядер под оболочкой нарастания метаморфогенной генерации, так и в свободном виде. Различаются по крайней мере две морфологические разновидности этого типа.

Разновидность (IV-1) количественно доминирует. Это мелкие субидiomорфные, изометричного облика кристаллики или округлые более крупные зерна с характерной яркой неравномерно-пятнистой ржаво-красной вторичной окраской. Индивиды, лишенные ее – бесцветны. Достаточно прозрачные, но с заметно пониженным двупреломлением по сравнению с метаморфогенными и метасоматическими цирконами. Скорее всего, для основной части этой разновидности материнскими были основные и ультраосновные породы, о чем свидетельствует изометричный облик зерен, их бесцветность, высокие Zr-Si и Zr-Hf отношения, присутствие иногда в составе примесей ниобия вместо тантала.

Разновидность (IV-2) детритовых цирконов встречается реже, но отличается тем, что имеет розовую идиоохромную окраску. Зерна более крупные и хорошо окатанные. Они встречаются и как в форме ядер, заключенных в метаморфогенной оболочке, так и свободными. При этом по оптическим свойствам ядра и оболочки практически не отличимы.

Детритовый тип (V). Эти цирконы также скорее всего детритовые, но заметно метамиктизированные. Они особенно часто встречаются в разностях гранитоидов, богатых реститами. Однозначно определить их возрастное положение по отношению к другим типам не представляется возможным. В силу их слабой прозрачности внутреннее строение

не просматривается. Скорее всего, это реликтовые цирконы, унаследованные от субстрата. Подобные цирконы, характерны для гранитоидов натриевой серии: серых гнейсов, плагиомигматитов, плагиогранитов [4]

Среди метамиктных наблюдаются как крайне измененные разности, полностью непрозрачные черные или, напротив, белые, так и промежуточные светло-серые или темно-серые. Объединяет их единообразная морфология кристаллов: преобладание слабоудлиненных форм простого сложения, так называемого гиацитного типа. Более сложные и длиннопризматические кристаллы хотя и встречаются, но количественно подчинены. Черная окраска, вероятно вторичная. Она обусловлена тонкодисперсными углеродистыми частицами, отдельные из которых можно наблюдать под микроскопом как поверхностные скопления. Эти цирконы встречены в слюдистых разностях гранитоидов, в которых имеется и крупночешуйчатый графит. Более богатый состав элементов примесей в этих цирконах, скорее всего, обусловлен адсорбцией первично органического вещества.

Химический состав цирконов как индикатор их генезиса

Генетическая интерпретация составов цирконов рассматриваемого объекта проводилась с использованием опубликованных и оригинальных методик. В частности, использовались диаграммы соотношения минералообразующих компонентов как петрогенетических индикаторов материнских пород [5]. Химический состав цирконов изучался рентгеноспектральным анализом в МГУ на установке CAMBAT CX 50. Всего имеется около 40 анализов для всех вышеописанных разновидностей циркона.

Для петрологической интерпретации химического состава цирконов пока не разработано четких генетических критериев ни по одному из известных параметров среды минералообразования [6]. Они в большей мере носят приближенный наиболее общий характер. Причина такого положения кроется, прежде всего, в сложности методики изучения, многофакторности причинно-следственных связей, а также в огромной трудоемкости и кропотливости при работе с объектами такого уровня. Наиболее известны работы по изучению зависимости морфологии цирконов и химизма материнских гранитов Pupin J и др. [7]. На наш взгляд, более перспективно изучение типоморфизма циркона (равно как и других акцессорных минералов) из пород более “простого” генезиса. Имеются в виду вулканические и субвулканические породы, быстро кристаллизующиеся из расплавов с более или менее однородными параметрами среды минералообразования. Граниты - чаще полигенетические образования, поэтому они наиболее неподходящий объект для этих целей. Их преимущество лишь в одном – в них много циркона, и он здесь достаточно крупный.

Соотношение Zr и Hf в петрологических исследованиях используется давно, хотя вопрос его применения не разработан достаточно глубоко. Ранее [5] нами предлагалось использовать также и соотношение Zr, Si, и Si, Hf, которые в совокупности более информативны. Методика основана на том, что из всей триады цирконий оказывается наиболее подвижным. В щелочных условиях изоморфизм циркония с гафнием и не только с ним более вероятен. Отсюда цирконы остаточных расплавов и образованных в условиях щелочного метасоматоза (особенно натриевого) бывают насыщены примесями, что увеличивает их энтропию, увеличивает соответственно количество дефектов. Цирконы таких условий кристаллизации чаще всего являются метамиктными. По этой причине они наименее прочные и механически, и химически. Именно в них относительная доля циркония оказывается меньшей, что может быть и следствием эпигенетического выноса этого элемента. Это подтверждается положением на диаграммах цирконов из метасадочных пород [5] и в частности для окатанных цирконов из павловских гранитов (рисунок). В зрелых корках выветривания циркон, также заметно меняет свой состав [4] и, прежде всего, за счет потери циркония.

Гафний и большинство элементов-примесей когерентны кремнию и щелочным металлам, поэтому и возникают корреляционные зависимости между составом элементов-примесей в цирконах и содержаниями кремнезема и щелочей в материнских породах. Поскольку цирконы пород павловского комплекса полигенные, для интерпретации и привязки к материнским петротипам нами использованы в качестве реперных ранее изученные составы синпетрогенных цирконов [5]. На диаграммах показаны точки таких составов, и в таблице 1 приведен химический состав материнских пород.

По соотношению главных компонентов выделенные типы цирконов в гранитоидах комплекса оказались достаточно дифференцированными между собой и занимают четко определенное положение на петрогенетических диаграммах (рисунок). Отчетливо проявляются тренды закономерного изменения

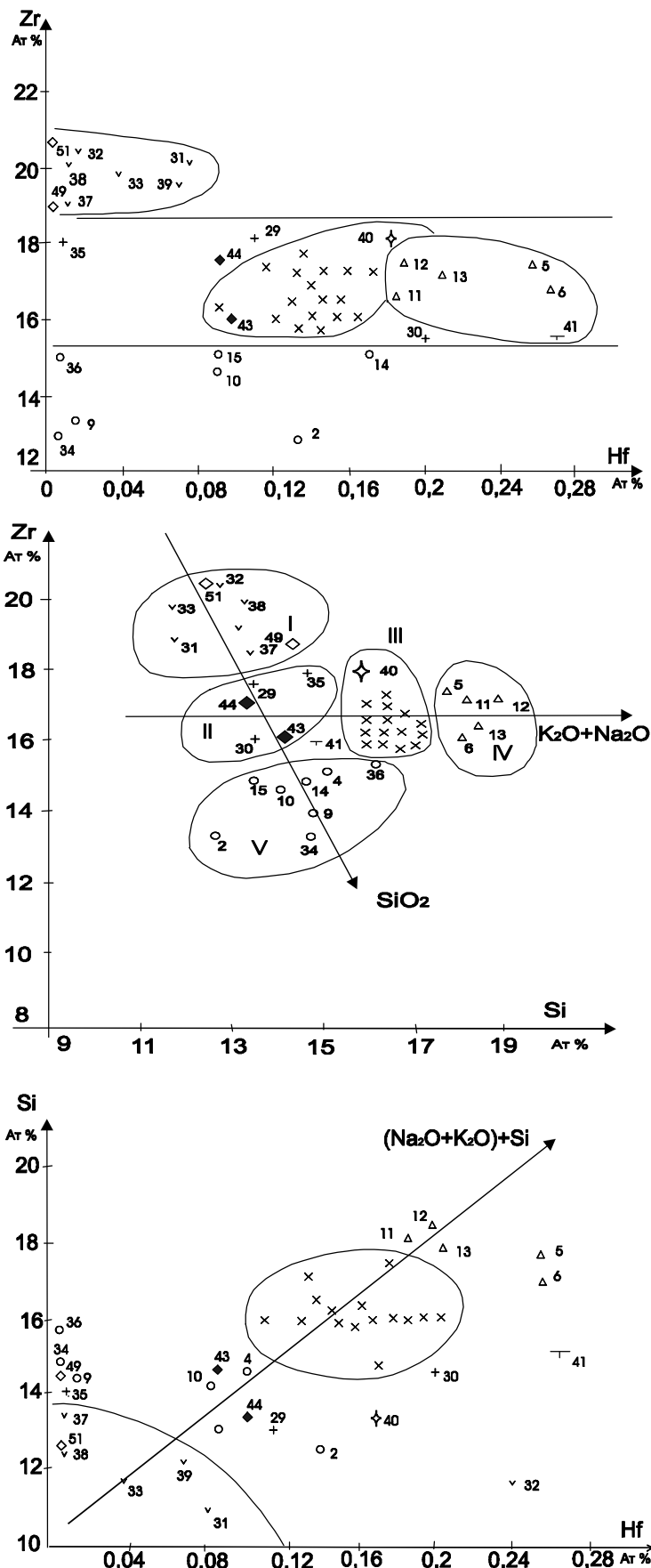
Рисунок. Диаграммы соотношений Zr, Si, Hf в цирконах неосомы павловских гранитоидов и «реперных» цирконов пород. Номера проб и привязку см. табл. 1. Стрелками показаны тренды щелочности и кислотности материнских пород.

Генерации циркона и материнские породы

Павловский комплекс:
 x- метасоматические;
 дометаморфогенные реликтовые из пород;
 v- основных и ультраосновных;
 +- кислых нормальной щелочности;
 Δ- кислых повышенной щелочности;
 ^- метасадочных.

«Реперные» цирконы пород докембрия:

◊-1) из метабазитов (амфиболиты, пробы 49,51);
 ◆-2) из порфиридов нормальной щелочности (пробы 43,44);



†-3) из порфиroidов повышенной щелочности (проба 41);

♦-4) из сиенит-порфиров (проба 40).

соотношения главных компонентов циркона, а именно: увеличение относительного количества циркония и уменьшение количества кремния и гафния с нарастанием основности и снижением щелочности материнских пород.

Вариации соотношений главных химических компонентов циркона и их причины

Ц и р к о н и й. Является индикатором основности пород. На всех диаграммах по содержанию циркония выделяются три уровня. Первый - верхний уровень соответствует цирконам с максимальными значениями содержания Zr. Это цирконы базит-гипербазитовых и средних пород. Идентификация

по комплексу признаков, в том числе и составу, проводилась по аналогии с цирконами метабазитов КМА. Это слабо окрашенные или бесцветные субизометричного облика сложноограненные кристаллы среди типа IV –1. Скорее всего, они прошли и стадию корообразования и переотложения, так как в пределах отдельных проб цирконы этого типа заметно выделяются более мелкими размерами, хорошей сортировкой и ожелезненной поверхностью (условно названы как “калиброванные”). Но по составу и внутреннему строению они неоднородны и скорее всего имеют различные источники.

Второй уровень занимают цирконы кислых ортопород. Морфологически это цирконы так называемого цирконового типа. Просто ограненные кристаллы лишь с гранями 111 и 110. Отличаются резко выраженными кристаллогра-

Таблица 1

Главные химические компоненты материнских пород

Скваж./гл Комплекс Свита Регион.	2951/303 Александровская свита КМА	2846 Обоянская серия КМА	3145/419 Лебединская свита КМА	304а Лебединская свита КМА	3766/198 Курбакинская свита КМА	Граносиениты (среднее) павловский комплекс	8327/650 Артюшкинский комплекс
Номера реперных точек	51	49	44	43	41	«метасоматические» цирконы	40
Метаморф. породы	Амфиболит	Амфиболит	Порфиroid	Кварц порфиroid	Порфиroid	Граносиениты	Сиенит-порфиры
Дометаморфические аналоги	Габбро	Габбро-диорит	Плагидиорит	Риолит	Трахи-риолит	Кварцевые сиениты	Щелочные сиениты

Содержание главных компонентов в %

SiO ₂	45.8	54.94	65.17	73.40	73.70	61.53	61.34
TiO ₂	0.83	0.74	0.19	0.31	0.16	0.63	0.76
Al ₂ O ₃	14.82	11.36	15.31	14.10	12.40	17.26	16.69
Fe ₂ O ₃	3.65	2.69	0.41	1.07	2.10	3.27	2.27
FeO	11.09	12.38	2.50	2.02	1.42	3.19	1.98
MnO	0.18	0.06	0.06	0.03	0	0.11	0.05
MgO	9.81	7.02	3.78	0.90	0.37	1.82	3.19
CaO	11.30	6.88	3.94	1.03	0.69	3.26	1.29
Na ₂ O	1.65	1.8	4.30	1.90	2.55	4.1	6.0
K ₂ O	0.60	0.6	1.40	2.10	5.81	4.7	5.8

фическими элементами и заметной розово-красной окраской. По составу элементов-примесей более богаты чем “базитовые” цирконы, но уступают “щелочным”.

Третий - самый низкий уровень по содержанию циркония занимают детритовые, в различной степени метамиктизированные цирконы. По всем признакам они идентичны цирконам пород натриевой серии: серым гнейсам, плагитогранитам, но прошедшим стадию выветривания. Такие цирконы широко распространены и как детритовые в курской серии КМА. Они беднее всех цирконием, место которого занимают различные примеси. Сканирование показывает, что многие из них распределены или зонально или равномерно по объему зерна, что предполагает характер изоморфных замещений.

К р е м н и й. Уровни содержания кремния в цирконах являются индикаторами щелочности пород. В граносиенитах встречаются цирконы в виде субидiomорфных простых кристаллов с гранями всего двух индексов – (110) и (111), так называемого цирконового типа, характерного для кислых вулканитов. По морфологии и составу они оказались идентичными цирконам кварцевых порфиroidов КМА. От “метасоматических” цирконов отличаются меньшими содержаниями кремния и в среднем чуть большими, чем цирконы “базитов”. Реперная проба 41 циркона трахи-риолитов курбакинской свиты (скв 3766) как бы разделяет поля нормальных пород и повышенной щелочности.

Циркон сиенит-порфиров артюшкинского комплекса по кремнию ближе “метасоматическим”,

но отличается от них большими содержаниями циркония, т.е. должен соответствовать более основным породам, как оно в действительности и обстоит (табл. 1). Крайнее правое поле на всех диаграммах занимают точки состава цирконов, ассоциирующие с плеохроичным апатитом (тип III). Содержание кремния в них максимальное и, судя по этому признаку, материнскими являются породы более богатые щелочами, чем граносиениты. Скорее всего, это щелочные породы жильных фаций типа лампрофиров.

Г а ф н и й. По содержанию гафния цирконы располагаются на диаграммах в той же последовательности, что и по кремнию, отличаясь лишь большей вытянутостью полей. Гафний в цирконах ведет себя и при кристаллизации, и при последующих процессах подобно кремнию, что и видно на диаграмме Si – Hf. На последней точки составов

комбинируются несколько по иному, чем на диаграммах Zr – Si, Zr – Hf.

Фигуративные точки составов “метасоматических” цирконов (I тип) на диаграммах Zr-Hf и Si-Hf образуют достаточно компактное поле. По цирконии они близки цирконам нормальных по щелочности кислым вулканитам, но по кремнию и гафнию их поле сдвинуто в сторону больших значений. Поле цирконов третьего типа занимает крайнее правое положение, отличаясь максимальными содержаниями кремния и гафния. При этом по гафнию эти цирконы сопоставимы лишь с цирконами трахилипаритов курбакинской свиты, но превосходят их по кремнию. Скорее всего, они происходят из пород более щелочного состава - эффузивных или жильных. Аналогов им на ВКМ ранее нами не обнаружено.

Таблица 2

Элементы-примеси в цирконах (масс 10^{-3} %)

Материнская порода			Ортопороды	Алевро-псамиты	Парапорода	Парапорода	Парапорода
Генерация	Метаморфогенная	Метаморфогенная	Дометаморфогенная	Дометаморфогенная	Дометаморфогенная	Дометаморфогенная	Дометаморфогенная
Тип	I	II	III	IV	V	VI	VII
CaO	1	14	37	15-1283	200	375	730
TiO ₂	9	10	0	0-11	10	201	150
MnO	20	30	41	27-336	10	113	40
FeO	5	30	52	36-148	20	1114	380
Ta ₂ O ₅	360	410	140-160	320	330	0	280-8810
Th ₂ O ₃	0	40	108	120	10	655	460
U ₂ O ₃	150	40	20	80	110	69	10
La ₂ O ₃	30	18	0	80	0	136	0-65
Ce ₂ O ₃	50	20	80	3	35	166	0-60
Y ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0-1160
P ₂ O ₅							0-1490

“Метаморфогенные” оболочки и индивиды (II тип) в проанализированных образцах в целом мало отличаются от ядер.

Детритовые метамиктизированные цирконы занимают самый нижний уровень по цирконии, но по содержанию кремния и гафния отличаются значительным разбросом.

Вариации составов элементов-примесей

Чувствительность проведенного рентгеноспектрального анализа недостаточна для характеристики поэлементного распределения в цирконе примесей, но в первом приближении качественная оценка может быть принята (табл. 2).

Метасоматические цирконы от всех иных отличаются максимальные содержания Hf, U, Ce, но другие примеси, наоборот, содержатся в минимальных концентрациях. Метаморфогенные по уровню концентраций примесей близки метасоматическим, но все же, за исключением урана и церия, содержат их несколько больше. Вулканогенные (субвулканогенные) цирконы (III тип), по своему химическому составу ближе к вышеописанным, чем к детрито-

вым. От первых их отличает максимум кремния, более высокое содержание циркония, железа, марганца, тория, церия. В то же время, для них фиксируется как урановый минимум, так и отсутствие титана и лантана.

Среди детритовых светло-серые слабо метамиктизированные цирконы (типV) выделяются сравнительно невысокими содержаниями почти всех проанализированных элементов, за исключением урана, по содержанию которого они уступают лишь генерации метасоматического.

Ядра, заключенные в метаморфогенных каймах обрастания, по химическому составу в целом заметно отличаются от всех вышеописанных типов, хотя и сами неоднородны. Общим для них является наиболее низкое содержание гафния и кремния. По ряду компонентов они в целом выделяются максимальными значениями содержаний и, прежде всего, по Ca, Th, Fe, T.R. Среди ядер визуально выделяется два типа (VI, VII) отличающихся между собой прозрачностью и контрастностью оптических свойств по отношению к метаморфогенной оболочке. Ядра

циркона VI - темные слабо прозрачны, изменены, трещиноваты. В них больше чем в типе VII Si, Hf.

Ядра, отнесенные к циркону VII типа, достаточно прозрачны и почти не окрашены. Именно они характеризуются наибольшими отношениями Zr/Si, но наименьшими содержаниями гафния. В одном из ядер этого типа очень высокое содержание Ta коррелируется с высоким содержанием P, в другом – высокое содержание итрия коррелируется с относительно высоким содержанием тория.

Типоморфные особенности других аксессуарных минералов

Магнетит. О.И.Египко [1] выделял в описываемых породах три генерации магнетита: 1) дометасоматическую, присутствующую в зернах плагиоклаза и роговой обманки; 2) этапа калиевого метасоматоза (связанную с биотизацией роговой обманки); 3) этапа калий-кремниевый метасоматоза (тонкая сыпь в минералах и вокруг пирита).

Нами обращено внимание на пониженную магнитную восприимчивость этого минерала в сравнении с магнетитами пород КМА. Уменьшение магнитной восприимчивости О.И. Египко отмечал как характерный признак этого минерала для пород второй фазы. Возможно, это связано с особенностями химического состава - все магнетиты содержат избыток Fe^{2+} , что характерно для разностей, обогащенных ульвашипинелью (Fe_2TiO_4), и что не отмечается, например, для магнетитов метасадочных пород КМА. По данным О.И. Египко магнетиты павловских гранитов отличает повышенное содержание редких элементов Sn, Nb, Mo, Ga, что, по-видимому, можно связывать с гранитизацией. В дальнейшем следует по этому признаку попытаться различать магнетиты разных этапов становления коровых гранитов.

Сфен. Известно, что сфеном богаты гибридные гранитоиды, образовавшиеся при ассимиляции известковистых пород [6]. Постоянное присутствие в гранитоидах павловского комплекса сфена связано с особенностями как петрохимии пород исходного субстрата - с относительно повышенными химическими потенциалами в них Ca, Fe, Ti, так и с последующим калиевым метасоматозом, способствующим мобилизации этих элементов из реститовых минералов. Поэтому среди минералов наблюдается соответствующая минеральная ассоциация, включающая амфиболы, эпидот, лейкоксен, сфен, апатит. В то же время сфена практически нет в чисто биотитовых разностях гранитоидов, так как таковые редки, то сфен можно считать типоморфным минералом.

Какими-либо специфическими внешними особенностями этот минерал не отличается: обычная окраска в коричневых тонах, иногда с заметными оттенками красного цвета. Он представлен почти исключительно неправильными зернами с неровным изломом. Гораздо реже встречаются конвертообраз-

ные уплощенные кристаллы. Зерна сфена, как правило, покрыты корочкой лейкоксена. О.И. Египко [1] выделял три генерации сфена: расплавленную – анатектическую, калиевометасоматическую и стадии кислотного выщелачивания.

Апатит. Этот минерал также можно считать типоморфным для описываемых пород. По оптическим свойствам отвечает фторапатиту. Состав элементов-примесей варьирует в зависимости от петрохимических особенностей пород субстрата – например, содержание магния возрастает с возрастанием их основности. Для апатитов пород главной фазы характерно повышенное содержание Sr, Ce, La, а для жильных – Y, Yb, Cu, Pb.

Имеются и некоторые другие индикаторные особенности, которые выявлены нами при сравнении апатитов из гранитов с субстратом разного происхождения. Более всего распространен бесцветный апатит, который обычно представлен прозрачными и в основной своей массе несовершенными кристаллами короткопризматического облика или округлыми зернами с поверхностью без видимых следов, как растворения, так и механической истертости. Гораздо реже отмечаются идиоморфные призматические кристаллы с удлинением от 2,5 до 3,5.

Апатит из эпидот-бититовых меланократовых реститов (обнажения “Тихого Дона” обладает особенностями, которые по аналогии с литературными данными для других регионов, трактуются нами как индикаторные для вулканогенных пород. Прежде всего, характерен идиоморфизм кристаллов и их длиннопризматический облик, что свойственно для условий быстрой кристаллизации. Такой же облик здесь имеют и идиоморфные кристаллы циркона. Другой отличительной особенностью апатита является наличие в центральных частях кристаллов темных тонкодисперсных частиц, концентрирующихся в виде “осевого шнура” или в виде псевдодрова, или поперечных полос, реже ими заполнен весь объем зерна. Этот тип апатита известен в литературе как плеохроичный. Он описан для первично вулканогенных пород михайловской серии КМА [8], для фанерозойских вулканитов Кавказа и Карпат.

Лейкоксен. Наблюдаются две формы минерала, отвечающие, по-видимому, двум генерациям. Наиболее распространенная из них представлена в виде корочек желтовато-белого цвета, покрывающих большинство зерен сфена. Нередко в зернах лейкоксена остаются лишь незначительные реликты сфена. Этот лейкоксен, по-видимому, наиболее поздний и его образование связано с процессами выщелачивания на кислотной стадии.

Другой формой являются хорошо и совершенно окатанные зерна с гладкой фарфоровидной поверхностью, окрашенные в синевато-серые тона. Ассоциация с другими, также хорошо окатанными минералами: цирконом, рутилом, дистеном, турмалином, ильменитом - свидетельствует о дометаморфогенном происхождении этой формы лейкоксена.

Пирит. Встречается довольно часто. Зерна его обычно неправильные, угловатые или имеют вид уплощенных кубоидов. На свежем изломе наблюдается не совсем обычная окраска, почти белая, а на поверхности – достаточно прозрачная корочка рубиново-красного цвета, сложенная вероятно гематитом. Особенности окраски и вторичных изменений могут быть вызваны также и примесью мышьяка (химический состав не изучался).

Ильменит. Количественно значительно уступает типоморфным акцессорным минералам. Часть его может быть унаследованной еще от дометаморфогенного субстрата, (наряду с идиоморфными таблитчатыми кристаллами присутствуют и совершенно окатанные зерна). Две генерации, только на стадии метасоматоза выделял О.И. Египко. Ранняя, по его мнению, представлена относительно крупными зернами размером до 0,5 мм, которые лейкоксенизированы в стадию калиевого метасоматоза. Наиболее поздняя генерация связана с кремний-щелочным метасоматозом, когда выделялись мелкие пластинчатые кристаллики ильменита в микроклине и в сфене.

Ортит. Встречается достаточно редко и в единичных зернах своеобразной округло-желваковой формы буровато-зеленоватой окраски. Метамиктный, изотропированный. Наблюдается также и в виде черных мелких призматических кристалликов.

Рутил. Не характерен для этих пород. Его единичные зерна обнаруживаются лишь в меланократовых реститах, где имеют признаки явно окатанных форм. Имеют разную окраску. Поверхность с характерной для терригенных минералов шероховатостью, с микрорельефом в виде бороздок и ямчатых выбоин.

Дистен. Встречается чрезвычайно редко в виде бесцветных зерен со всеми признаками терригенного происхождения.

Турмалин. Очень редкий минерал в описываемых породах. Представлен исключительно в виде заметно окатанных обломочных зерен коричневой и зеленой окраски в ассоциации с обломочными дистеном, рутилом, цирконом, ильменитом, монацитом.

Изумруд(?). Несколько мелких идиоморфных кристалликов этого минерала обнаружено нами в пробах из граносиенитов, Шкурлатовского карьера. Характерна соответствующая окраска и облик кристаллов в виде идеально правильных шестигранных призм с пинакоидом. Кроме того, довольно часто обнаруживаются угловатые с неровным изломом зерна той же яркой изумрудно-зеленой окраски с мелкими черными точечными включениями, по видимому, хромита.

Флюорит. Обнаруживается в ассоциации с изумрудом в виде фиолетовых или сиреневых пятнисто окрашенных изотропных зерен.

Обсуждение результатов

Типоморфной пространственно выдержанной акцессорно-минералогической ассоциацией в гранитоидах павловского комплекса являются минералы Са, Fe, Ti, что отражает соответствующий преобладающий петрохимический тип исходного субстрата - известково-натриевый основной. Данный вывод подтверждается изучением реститов в обнажениях “Тихий Дон”, где среди них доминируют меланократовые парасланцы. В некоторых протолитах обнаружены акцессорные минералы с признаками происхождения из ортопород разной основности и щелочности.

Полигенная природа комплекса находит отражение и в многочисленных разновидностях циркона, генерации которого связаны с отдельными стадиями его развития. Количественно преобладают наиболее поздние - метасоматической стадии. Среди реликтовых цирконов обнаружены и терригенные с четкими признаками механической обработки с доминированием хорошо сортированных разновидностей алевро-песчаной размерности.

Все генерации циркона отличаются своеобразием химического состава, отражающим особенности среды минералообразования и последующего преобразования. В смене генераций прослеживается определенная геохимическая направленность, как отражение истории становления павловского комплекса. Реликтовые цирконы в форме ядер наиболее богаты Са, Fe, Ti. Этим подтверждается их генетическая связь с дометаморфогенным меланократовым субстратом. Метаморфогенный циркон лишен многих примесей, свойственных более ранним генерациям, что можно объяснить слабой подвижностью элементов при метаморфизме. Цирконы генерации калиевого метасоматоза, более богаты ураном и гафнием в силу когерентности последних с элементами больших радиусов-ионов.

Выводы

1. Полигенная природа гранитоидов павловского комплекса находит подтверждение в особенностях состава и свойств акцессорных минералов.
2. Исходным субстратом при гранитизации послужили ранее метаморфизованные вулканогенно-осадочные толщи, преимущественно известково-натриевой петрохимической серии.
3. Временной тренд изменения химизма вещественного комплекса проявляется в смене генераций циркона с различным составом элементов-примесей, в чем отражается разноуровневая дифференциация вещества и направленность последовательного концентрирования элементов с большими радиусами ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Египко О.И. Некоторые минералого-петрографические и геохимические особенности докембрийских гранитоидов юго-восточной части ВКМ: Автореф. дис. ... канд.- геол. мин. н. –Воронеж, 1971. -23 с.

2. Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитах Советского Союза. –М., 1967. -446 с.
3. Евзикова Н.З Проблема минералогической интерпретации формы кристаллов // Зап. ВМО. - 1983. – Ч.112., вып 1. –С. 112-121.
4. Ильяш В.В. Минералого-петрографические признаки метаморфизованного элювия в докембрии КМА // Геология и генезис месторождений железных руд КМА. -Воронеж, 1987. -С. 3 –126.
5. Ильяш В.В. К методике использования химического состава цирконов в петрологии метаморфических пород.// Вестн. Воронеж ун-та. Сер. геологическая. - 1999. -№7. –С. 128-133.
6. Ляхович В.В. “Цирконовый метод”. Достоинства и недостатки.Статья 1 // Вестн. Воронеж ун-та. Сер. геологическая. -1999. -№8. – С. 93-103.
7. Pupin J.P.,Turno G. Une tpeologie originale du zircon - acces – soire // Bull. Soc. Franq. Miner. et cristallogr. – 1972. -Vol, 95, №3. -P.348-359.
8. Ильяш В.В. Сравнительная характеристика комплексов акцессорных минералов разновозрастных литологических формаций докембрия КМА // Литогенез в докембрии и фанерозое Воронежской антеклизы. - Воронеж, 1977. -С.11-22.