

5. Чернышова М.Н. Апатит и циркон как индикаторы комагматичности пород интрузивной и дайковой фаций никеленосной габбро-норит-гипербазитовой формации ВКМ // Тез. IV конференции. -Тюмень, 1983. -С.35-37.
6. Чернышова М.Н. Состав и особенности распределения акцессорных минералов дайковых пород камернодифференцированных интрузий ВКМ, их петрологическое и поисковое значение // Воронеж. ун-т. -Воронеж, 1982. -10с. -Деп. в ВИНТИ.
7. Чернышова М.Н. Дайки никеленосных комплексов Воронежского кристаллического массива (формационно-генетические типы и пространственно-временные соотношения // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1996. -№1. -С. 50-60.
8. Чернышова М.Н. Состав и особенности распределения акцессорных минералов в дайковых породах, ассоциирующихся с различными по степени рудоносности интрузивами мамонского и еланского комплексов ВКМ // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая -1998. -№6. -С.94-106.
9. Чернышова М.Н. Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением // Воронеж, 1999.-121 с.

УДК 550.93+549.6

Ляхович В.В.

"ЦИРКОНОВЫЙ МЕТОД": ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ Статья II

Рассмотрены различные "типomorphicные" признаки циркона, обычно используемые при различных петрологических построениях. Показана конвергентность многих из этих признаков и трудность их однозначного толкования. Наиболее достоверную информацию о генезисе циркона и включающей его породы несут особенности состава циркона и встречающихся в нем минеральных микровключений.

Состав циркона

Состав циркона в отношении содержания некоторых редких элементов непостоянен и зависит, главным образом, как от характера материнских пород, так и от времени выделения минерала. К числу таких индикаторных элементов могут быть отнесены Hf, U, TR, Th, Sc, Nb, Ta. Их вхождение в кристаллическую решетку циркона возможно в результате как изо-, так и гетеровалентного изоморфизма, осуществляемого по схемам: $Zr^{4+} \leftarrow (Th, U, Hf)^{4+}$ или $2Zr^{4+} \leftarrow TR^{3+} Nb^{5+}$; $Zr^{4+} Si^{4+} \leftarrow TR^{3+} P^{5+}$; $3Zr^{4+} \leftarrow (Nb, Ta)^{5+} + (Th, U)^{4+} + (Y, TR)^{3+}$.

Присутствие разнообразных редких элементов в цирконе. Связанное с явлениями изо- или гетеровалентного изоморфизма, обусловило выделение целого ряда его разновидностей: малакона (уран-ториево-редкоземельный), циртолита (торий-урано-редкоземельный), альвита (гафниево-бериллиевый), наэгита (ниобий-тантал-ториевый), ямагитилита (урано-ториевый), сямалита (фосфорный) и др. [14].

Ряд исследователей [10] считают, что в силу особенностей положения иона циркона в структуре циркона вероятность нахождения в нем U, Th, TR, Nb, Ta, Y в виде изоморфной примеси весьма незначительна. Большая часть этих элементов находится в нем в составе микровключений собственных минералов этих элементов, изоструктурных с цирконом. Проведенные экспериментальные исследования в тройных системах $ZrO_2 - ThO_2 - SiO_2$ и $ZrO_2 - UO_2 - SiO_2$ обнаруживают крайнюю ограниченность изоморфного вхождения урана и тория в структуру циркона. В пользу этого казалось бы свидетельствует и индифферентность Zr по отношению к U, Th и

TR, проявляющая в простых окислах этих элементов уранинит и церианит имеют кубическую, а бадделит – моноклинную кристаллическую структуру. С этой точки зрения присутствие в цирконе U, Th, TR, Y обусловлено захватом в процессе его роста готовых кристалликов минералов этих элементов [15].

Различная форма нахождения редких элементов в цирконе находит отражение в неравномерном их распределении в этом минерале. Она выражается в наличии послойных зон, характеризующихся повышенным содержанием Si или Zr. Обнаружены также зоны с локальными концентрациями Ge – 3,6%, Hf – 2,24, Sm – 2,3%, Yb – 1,1%. В цирконах оловоносных и вольфрамоносных гранитов Приморья Sn, W, Nb, Y, Th, U присутствуют в виде микровключений соответствующих минералов, и в меньшей мере в виде изоморфной примеси. В связи с этим следует отметить, что циркон из золотоносных жил Канады содержит большое количество включений золота.

Так или иначе, но определенные геохимические отличия циркона, не обсуждая истинную форму нахождения в нем редких элементов, хорошо отражают геохимические особенности среды минералообразования и, следовательно, включающей циркон породы. Следующие примеры позволяют убедиться в справедливости этого положения.

Г а ф н и й . Элемент, постоянно присутствующий в цирконе. Его содержание неизменно увеличивается как в цирконах поздних генераций (табл.1), так и в цирконе пегматитов. Этот признак позволяет более уверенно выделять позднемагматические и пегматитовые генерации циркона, чем это делается по особенностям его формы. Это также подтверждается наблюдениями, фиксирующими

Таблица 1

Состав циркона разных генераций. Гранит. Тува, (г/т) [1]

Генерация	HfO ₂	TR ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	Генерация	HfO ₂	TR ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅
I	8000	1600	10	I	9000	1800	20
II	1400	21000	110	II	13000	3400	80
III	23000	36000	3600	III	21000	6000	6000

Таблица 2

Средние содержания урана и тория в цирконе из различных типов пород, (г/т)

Порода	Th	U	Автор
Габбро-долериты ВКМ		160	[13]
Габбро-нориты ВКМ		304	То же
Граниты фанерозойские Сов. Союза	913	1150	[4]
Парагнейсы	131	743	То же

Таблица 3

Средние содержания (г/т) ниобия и тантала в аксессуарном цирконе гранитоидов, [6,7]

Порода. Минерал	Nb	Ta	Nb/Ta
Породы габбро-рапакиви-гранофировой формации			
Коростеньский плутон			
Циркон гранитов 1-й субфазы (11)	54,6	27,4	2,0
Циркон гранитов 2-й субфазы (6)	83,3	95,0	0,9
Породы сиенитовой формации, Южно-калькский массив			
Циркон сиенитов 1-й субфазы (3)	90,0	36,0	2,5
Циркон гранитов 2-й субфазы (7)	80,0	54,3	1,5

Примечание: в скобках указано количество проб

обогащение гафнием периферических частей кристаллов циркона.

В цирконе из основных и ультраосновных пород содержание Hf всегда значительно ниже, а величина отношения ZrO₂/HfO₂ – выше, по сравнению с цирконом из изверженных пород корового генезиса, кислых или щелочных. Так, в цирконе из габбро-амфиболитов и габбро-норитов кристаллического основания Сихотэ-Алиня величина отношения ZrO₂/HfO₂ составляет 118-135 соответственно [3], а в цирконе гранитоидов она значительно меньше – 35-45 [4].

Низкие содержания гафния в ультраосновных породах (0,1 г/т) позволяют считать реальным обнаружение в архейских изверженных и/или осадочно-метаморфических породах реликтовых цирконов мантийное происхождение. Примером могут служить некоторые цирконы из архейских пироксеновых гнейсов и кристаллических сланцев шарыжалгейской свиты Прибайкалья, в которых величина отношения ZrO₂/HfO₂ поднимается до 272-279 и даже 1320-1330-значений, необычных для цирконов коровых пород любого состава [5]. Четкие отличия в величине отношения ZrO₂/HfO₂ в зависимости от состава пород позволили сделать вывод о существовании двух главных типов парагенезисов цирконов кристаллического основания коры – сиалического (гранитоидного) и мафического (базальтоидного). Они характеризуются величиной отношения ZrO₂/HfO₂: гранитоидное 57-95, базальтоидное 97-135. Отсутствие перекрытия их составов подчеркивает генетическую самостоятельность этих парагенезисов и содержащих их пород [3].

У р а н . Т о р и й . Содержание этих элементов в цирконе во многом определяется их количеством в материнских породах. Цирконы габброидов Сихотэ-Алиня не содержат U и Th [3]. По сравнению с цирконами из коровых гранитов цирконы ультраосновных пород содержат в 4-7 раз меньше урана. Цирконы парагнейсов занимают промежуточное положение. Они содержат больше U и Th по сравнению с цирконом основных пород и меньше, чем циркон из гранитов, во всех случаях четко отражая (наследуя) их геохимические особенности (табл.2).

Данные по содержанию тория и урана в цирконе основных и кислых пород могут служить одним из доказательств при суждении об участии мантийного вещества в формировании докембрийских гранитоидов. Так, в цирконе гранитоидов габбро-плагиогранитной формации U и Th не обнаружены [3], не установлены они в цирконе из ультраосновных пород, а содержания урана в цирконе таких мантийных пород как кимберлиты крайне низки и составляют 5-12 г/т.

Н и о б и й , т а н т а л . Содержание тантала в цирконах неизменно увеличивается в гранитах поздних фаз (табл.3). Поэтому отношение Nb/Ta в аксессуарном цирконе из пород генетически связанных серий гранитоидов так же, как и отношение ZrO₂/Hf₂ может быть использовано для решения вопросов о происхождении пород, о времени выделения циркона, получить дополнительные сведения о поведении ниобия и тантала в магматических и постмагматических процессах.

Высокие содержания ниобия и тантала отмечены в богатых редкоземельными и радиоактивными элементами малаконах из интенсивно измененных, альбитизированных и грейзенизированных гранитов, а которых количества ниобия и тантала достигают максимальных значений (г/т) – 5380 Nb и 450 Ta.

Р е д к и е з е м л и . Содержание РЗЭ в цирконе является хорошим индикатором генезиса вмещающей его породы. Так, циркон осадочных пород хорошо наследует более низкие по сравнению с гранитами содержания в них РЗЭ и иттрия. Среднее содержание TR_2O_3 в цирконе осадочно-метаморфических пород (25 опр.) равно 1800 г/т [9], т.е. значительно меньше, чем в цирконе гранитоидов, где оно равно (33 опр.) – 3895 г/т [4]. Присутствие в осадочных породах цирконов с более низкими содержаниями РЗЭ (15-115 г/т) позволяет предполагать присутствие погребенных кимберлитов, цирконы которых характеризуются такими же низкими содержаниями РЗЭ.

О р г а н и ч е с к о е в е щ е с т в о . Весьма интересно наличие в цирконах примеси органического вещества, устанавливаемое по возникновению сигнала ЭПР. Содержание органического вещества в цирконах увеличивается по мере увеличения возраста пород. Связно ли это с преимущественно автохтонным генезисом докембрийских гранитов – не установлено. Следует, однако, отметить, что обильные включения углеводородов, придающих циркону черный цвет, установлены в этом минерале из докембрийских осадочно-метаморфических толщ Иркутского амфитеатра [12].

Наряду с геохимическими особенностями цирконы интересуют, и достаточно однозначно, интерпретируемую информацию представляют результаты фактических методов изучения циркона. Так, появились сведения, что цирконы мантийного происхождения значительно отличаются от циркона пород корового происхождения по кинетике затухания в β -полосе излучения ультрафиолетовой рентгенолюминисценции [11]. Это объясняется известной стерильностью мантийных цирконов в отношении примесей лантаноидов и актиноидов. Сходство спектров флюоресценции цирконов из миоценовых сланцев Польши с таковыми циркона из вулканических пеплов позволяет считать вероятным участие в образовании этих сланцев вулканогенного материала.

Признаками глубинного "мантийного" происхождения циркона считаются следу деформации его кристаллов [2], его более плотная структура, отражающая высокobarические условия его кристаллизации. О том, что циркон может быть индикатором высоких давлений, является присутствие включений коэсита в цирконе алмазсодержащих метаморфических пород Казахстана. Об устойчивости циркона в условиях равновесия с алмазом свидетельствует и находка включений циркона в бразильских алмазах.

На разные окислительно-восстановительные условия формирования разноглубинных гранитоидов указывает величина отношения $Ti^{3+}/Ti^{3+} + Ti^{4+}$, которая меньше в цирконе глубинных гранитоидов. Кроме того, в цирконе из глубинных гранитоидов среднее значение интенсивностей всех парамагнитных центров ниже, чем в цирконе гипабиссальных гранитов [2].

Заключение

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что отдельные признаки циркона могут быть использованы в качестве корреляционного признака (габитус, окраска); индикатора возраста (содержания U, Th); оруденения (содержания W, Au, Sn и микровключения их минералов); генезиса вмещающей породы (микровключения, величины содержания Hf, TR, U, Th, Sc). Однако, уверенно использовать эти признаки при генетических построениях, для воссоздания той обстановки, которая сопровождала формирование гранитов, или при определении первоначальной природы метаморфических пород пока еще затруднительно. Причина этого не только в конвергентности большинства этих признаков, но и в том, что многие из причин, вызывающих появление этих признаков, со всей определенностью еще не установлены. Это должно составлять первоочередную задачу ближайших петрографо-минералогических исследований. Полученные результаты позволят более эффективно использовать в петрологических целях различные особенности акцессорных минералов, в том числе и циркона. Для этого необходима унифицированная и экспериментально обоснованная методика изучения отдельных признаков циркона (например, подсчет достаточно большого количества (400-500) кристаллов этого минерала, выделенных к тому же из представительных (5-10 кг) проб. Соблюдение этого условия различными исследователями позволит получить сопоставимые данные, которые могут послужить основой крупных обобщений.

Гранитная магма представляет собой микрогетерогенную систему, в которой не только содержание летучих, редких и рудных элементов, но и петрогенных элементов непостоянно в различных частях магматической камеры и особенно значительно изменяется в ее фациально различных участках – центральных, приконтактных или апикальных. Поэтому не удивительно, что и форма минералов, в том числе и циркона, чутко реагирует на все изменения РТХ – условий гранитной системы.

В этом плане не совсем убедительно то большое значение, которое придается "типологии" циркона при выяснении генезиса гранитов, их рудоносности, корреляции и т.п.

Наиболее достоверным признаком следует признать состав циркона. Особенности содержания в нем TR, Hf, Sa, U могут помочь установить наличие в породе цирконов мантийного или корового,

метаморфогенного или метасоматического происхождения.

Достоинством "цирконового метода" в его существующей форме является то, что он вскрывает большие возможности в получении той информации, которая заключена в "типоморфных" особенностях минералов, в данном случае – циркона. Его недостатком является использование преимущественно внешних признаков этого минерала. При этом не учитывается конвергентность этих внешних признаков (цвета, габитуса, формы), что значительно затрудняет их использование при различных петрологических построениях. В то же время особенностям внутреннего строения и составу циркона уделяется значительно меньше внимания, хотя генетическая интерпретация этих признаков имеет наиболее односторонний характер.

ЛИТЕРАТУРА

- Капустин Ю.Л. О зависимости морфологии и состава акцессорного циркона от времени его образования // Минералог. сб. Львовск. Ун-та. -1972. -№ 26, вып. 4. -С.368-377.
- Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. – М., 1986. –145с.
- Левашев Г.Б., Семенова Н.Н., Сапин В.И. Парагенезис цирконов мигматитов дорифейского кристаллического основания Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. -1989. -Т.305, №3. –С.712-716.
- Ляхович В.В. Акцессорные минералы, их генезис, состав, классификация и индикаторные признаки. -М., 1968. –273 с.
- Ляхович В.В., Вишневецкий А.А. Цирконий и гафний в цирконе рапакиви в связи с проблемой генезиса ооидов // Геохимия. -1990. -№ 8. –С.1075-1082.
- Марченко Е.Я. О корреляционном значении включений в акцессорном цирконе гранитоидов // Докл. АН СССР. -1965. -Т.160, №2. –С.432-434.
- Марченко Е.Я., Галецкий Л.С., Чашка А.И. и др. Об отношении ZrO_2/HfO_2 в акцессорном цирконе генетически связанных серий гранитоидов (на примере докембрия Украины) // Минерал. сб. Львовск. Ун-та. -1974. -Вып.2, №28. –С.26-37.
- Носырев И.В. Анатомия кристаллов акцессорного циркона и эволюция минералообразующей серы // Типоморфизм, синтез и использование циркона. -Киев, 1989. –С.37-47.
- Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А., Козлов В.И. Акцессорные минералы и корреляция метаморфических пород Уралауского антиклинория (Южный Урал) // Акцессорные минералы докембрия. –М., 1988. –С.63-69.
- Сидоренко Г.А., Наумова И.С. Циркон – изоморфная емкость кристаллической структуры, ее нестабильность, возможность изоморфизма // Типоморфизм, синтез и использование циркона. Киев, 1989. –С.54-59.
- Смолянский П.Л., Харьков А.Д., Юдина И.А. Кинетика ультрафиолетовой рентгенолюминисценции – типоморфное свойство мантийных цирконов // Докл. АН СССР. -1986. -Т.289, №2. –С. 479-482.
- Чайка В.М., Горшкова Е.Б., Носырев И.В., Робул В.М. Черные (органоминеральные) цирконы в позднем докембрии Восточно-Сибирской нефтеносной провинции // Тез. 1 Респ. конф. (выезд. Сесс. Укр. Минералог. о-ва) по биоминерал., посвящ. 125-летию акад. В.И.Вернадского. – Луцк, 1988. –С.15-16.
- Чернышов Н.М., Кравченко Н.В. Некоторые особенности циркона из основных и ультраосновных пород никеленосных интрузий юго-восточной части ВКМ (Воронежского кристаллического массива) // Минералогия и минерал. кристаллография. –Свердловск, 1971. –С.90-94.
- Юшкин И.П., Фишман И.В., Голдин Б.А. Типохимизм и закономерности поведения элементов-примесей в цирконах изверженных пород Приполярного Урала // Тр. Ин-та геол. Коми филиала АН СССР. -Вып. 9. -Сыктывкар, 1968. –С.143-162.
- Chrustschoff K., Beitrag zur Kenntnis der Zirkone in Gesteinen // Schweiz.Mineral. and petrogr. Mitt. – 1885. -V.7. –P.423-442.

УДК 552.56:551.71/.72:(470.323)

Коваль И.К.

ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТО-СЛАНЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ КМА

В статье описаны закономерности распределения микроэлементов в различных типах железисто-кремнистых пород ряда месторождений КМА. Сделаны выводы об условиях образования докембрийских железистых кварцитов железисто-кремнисто-сланцевой формации.

Железисто-кремнисто-сланцевая формация является наиболее интересной в практическом отношении, поскольку вмещает все известные на территории КМА месторождения богатых железных руд. В ее состав входит толща железистых кварцитов курской серии, согласно залегающая в метаморфизованных типичных терригенных песчано-глинистых отложениях и выделяемая в качестве средней свиты курской серии.

Железистые кварциты непосредственно подстилаются и перекрываются филлитовидными угли-

сто-глинистыми и кварц-серицитовыми кристаллическими, слюдяными и гранат-биотитовыми сланцами, которые книзу сменяются метапесчаниками, метагравеллитами и конгломератами из архейских пород, а также метаморфизованной корой их выветривания.

Железисто-кремнистые породы средней свиты курской серии представлены магнетитовыми, главным образом, железослюдково-магнетитовыми кварцитами с различным соотношением магнетита и гематита.