

## ОТЗЫВ

на кандидатскую диссертацию Е.В. Левашовой «ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЦИРКОНЕ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД С РЕДКОЗЕМЕЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)».

Специальность 25.00.09 – *Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых*

Диссертация Е.В. Левашовой посвящена актуальной и популярной сейчас проблеме - геохимическому изучению циркона, как важного геохронометра и индикатора условий формирования содержащих его пород. Цирконы исследованы всесторонне с использованием всех доступных современных методов и приборов – растрового электронного микроскопа, микронзонда Cameca, SHRIMP, рамановской спектроскопии, ИК- спектроскопии, компьютерной томографии и др.

Массивы Украинского щита, продуктивные на редкометальное оруденение - это хорошие объекты для подобного всестороннего изучения циркона, так как они содержат значительные количества этого минерала и в них наглядно проявлены эпизоды магматической и постмагматической истории циркона. Как я понял, все исследования были выполнены на зернах циркона, помещенных в шашки. Это стандартный способ изучения, но в данном случае, учитывая широкое распространение циркона в породах, надо было использовать и полированные шлифы, что сильно обогатило бы работу, обеспечило более надежную интерпретацию геохимических и изотопных данных.

Основная цель работы автором сформулирована следующим образом: «установление особенностей состава и закономерностей распределения редких элементов в цирконе из массивов щелочных пород (сиенитов и щелочных гранитов) с редкоземельной минерализацией на Украинском щите, а также оценка условий кристаллизации циркона применительно к рассматриваемым объектам». И я бы добавил изучение возможности использования геохимических особенностей циркона для прогнозирования и поисков редкометальных месторождений. Этими целями и результатами исследований определяется актуальность работы и ее несомненная научная значимость.

Три защищаемых положения могут считаться доказанными. Вызывают замечания лишь формулировки. Первое и второе защищаемые положения близки по смыслу. Второе защищаемое положение следует уточнить фразой «из остаточного водонасыщенного (а не водосодержащего, как у автора) фторсодержащего расплава». Это уточнение объясняет появление флюида на заключительной стадии формирования, определяющего многие особенности циркона.

Первые три главы являются вспомогательными. В первой рассматриваются геохимические и некоторые минералогические особенности циркона, во второй – использованные методы изучения и в третьей – дано краткое геологическое описание массивов, из пород которых выделены цирконы. Автор предстает как грамотный исследователь, свободно ориентирующийся в проблемах геологии, геохимии и изотопии. Мне, в частности, понравился анализ возможности использования содержания титана в цирконе для определения температуры. Вопрос спорный и дискуссионный.

Из упущений следует отметить отсутствие данных по распределению редких и редкоземельных элементов в породах и рудах изученных объектов. А это важно для обоснования одного из основополагающих тезисов диссертанта о наследовании редкоэлементного состава циркона от расплава, особенно в части, касающейся РЗЭ для циркона, кристаллизовавшегося из стекол «кислого» состава, близких к калишпату или альбиту. Циркон характеризуется своим особым трендом распределения РЗЭ, определяемым как особенностями самого минерала, так и режима его кристаллизации. По-видимому, в ряде случаев, особенно тогда, когда остаточные расплавы резко обогащаются РЗЭ при образовании рудных тел, продукты их кристаллизации могут обладать «циркониевым» трендом. Примером могут служить стекла 9-1, 21-1, 13-1, которые отвечают по составу калишпату и характеризуются низким  $LaN/LuN$  отношением и «цирконовым» распределением РЗЭ. То же самое можно сказать и о стекле «основного» состава 25-2, в котором тренды РЗЭ стекла и циркона в нем совпадают, но имеют  $LaN/LuN > 1$  (рис. 5.9). В этом направлении еще предстоит увлекательная работа.

При описании продуктивных массивов следовало больше внимания уделить условиям их формирования и эволюции, в том числе флюидному режиму, оттенив те особенности, которые влияют на кристаллизацию циркона.

В главе 4 приведено детальное исследование редкоэлементного состава циркона из изученных массивов. Один из важных, хотя и ожидаемых выводов заключается в том, что краевые зоны цирконов продуктивных массивов обогащены редкими и редкоземельными элементами, что обусловлено накоплением этих элементов, а также воды и фтора в остаточном расплаве, из которого эти зоны циркона кристаллизовались. Такие зоны характеризуются выположенным спектром распределения РЗЭ, как раз и обусловленным наличием богатого водой и фтором флюида. Исключение составляют цирконы щелочных гранитов Катугинского месторождения, краевые зоны которых обеднены почти всеми редкими элементами, что обусловлено существенно иным генезисом кайм. Вслед за рядом авторитетных исследователей автор предполагает метаморфическое происхождение таких краевых зон, хотя из приведенных данных этот вывод не очевиден.

Очень интересные результаты изложены в главе 5, где описаны разнообразные включения в цирконе. Минеральные включения представлены в основном разнообразными редкометальными минералами, типичными скорее для заключительных этапов становления магматических пород. Это может служить дополнительным доводом в пользу позднего окончания кристаллизации циркона. Включения породообразующих минералов (калишпата и альбита) указаны только в мариуполитах.

Изучение состава включений стекла в цирконе сопряжено со многими трудностями не только из-за чрезвычайно мелких размеров, но и вследствие различной природы таких образований. Я считаю доказанным и очень важным вывод автора о наличии стекол двух типов: примерно полевошпатового и более основного состава. И возможно, Е.В. Левашова права, предполагая ликвационное происхождение последних. Здесь же заметим, что только те стекла, которые содержат наибольшие концентрации РЭ и РЗЭ, имеют «цирконовые» тренды распределения РЗЭ и именно для них частично верен тезис об унаследованности РЗЭ-состава циркона от состава среды, из которой он кристаллизовался (стр. 129). Подробнее я остановился на этом вопросе выше.

К главе 6 замечаний нет. В результате проведенных исследований уточнен возраст циркона, примерно одинаковый во всех рассмотренных массивах Украинского щита. У меня вызвало сомнение объяснение природы высокого Th/U отношения в цирконе мариуполитов, обусловленное, по мнению автора, выносом урана (стр.141). Я думаю, что это первичное значение, типичное для ряда нефелиновых сиенитов, что подтверждает и сам автор ссылками на работы Е.А.Белоусовой и других авторов. Изучение изотопного состава кислорода в цирконе не принесло каких-либо дополнительных сведений об его природе.

Глава 7 содержит обширные сведения по сравнительной геохимии циркона. Материал продуман и не вызывает существенных замечаний. Остался непонятен мне раздел, посвященный факторному анализу. Я не силен в факторном анализе, и мне не ясно, почему нет объяснений, что такое F1 и F2 и как они рассчитаны.

Редакционные огрехи и к рисункам, и к тексту указаны в комментариях в электронной версии диссертации. Я специально не вынес их в зачитываемый текст отзыва, так как в целом диссертация отредактирована неплохо, написана ясным хорошим языком, правильно структурирована. Замечания на полях не влияют на оценку работы и, надеюсь, будут учтены при подготовке грядущих публикаций.

Диссертация Е.В. Левашовой полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям и характеризует автора как сложившегося исследователя, владеющего современными методами исследования, и умело применяющего их к анализу и интерпретации полученных данных.

Е.А. Левашова заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Институт геологии и геохимии УрО РАН

Главный научный сотрудник,  
доктор геол.-мин. наук, профессор

Г.Б. Ферштатер

Подпись Ферштатера Г.Б. заверяю  
Сек. общ. отдел. №

