

Утверждаю

Директор

Федерального государственного бюджетного учреждения  
науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции  
Института геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского Российской академии наук  
член-корр. РАН Костицын Ю.А.



«01» декабря 2016

Отзыв ведущей организации о диссертации Козлова Евгения Николаевича «Геохимия фенитов и ассоциирующих с ними пород контактового ореола щелочно-ультраосновного массива Озерная Варака (Кольский полуостров)» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация общим объемом 278 страницы состоит из введения, шести глав и заключения. Список литературы включает 316 работ, опубликованных на английском, русском и немецком языках.

Щелочные породы и слагаемые ими массивы в течение многих лет привлекают к себе пристальное внимание геологов, петрологов, минералогов как потому, что они являются уникальными месторождениями полезных компонентов, так и благодаря тому, что они несут в себе информацию о процессах в глубинах нашей планеты. Подавляющее большинство исследований щелочных комплексов направлено на изучение магматического процесса, тогда как метасоматические процессы, связанные с их формированием, изучены гораздо слабее. Работы, посвященные фенитам, выходили в конце прошлого века, тогда как в последние годы изучение фенитов стало гораздо менее интенсивным, а фокус изучения существенно сместился в область минералогии. Поэтому диссертация Е.Н. Козлова является одной из первых работ, в которой геохимия и петрология фенитов рассмотрена на современном уровне, что, безусловно, определяет её актуальность.

В диссертационной работе детально изучены образцы метасоматически изменённых гнейсов из обрамления массива Озерная Варака, описан их химический, минералогический и изотопный состав, взаимоотношения и типохимизм слагающих из минералов. Исследования проведены на высоком научном уровне с применением комплекса современных аналитических методов. Сравнительно небольшой объем исследованных проб и полученных анализов компенсируется качеством пробоотбора и тщательностью обработки полученных данных, поэтому в данном случае является скорее положительной характеристикой работы, поскольку она, прежде всего, показывает высокую квалификацию диссертанта.

На примере массива Озерная Варака диссертантом впервые на современном уровне рассмотрены характеристики контактово-метасоматических процессов, связанных с массивами щелочно-ультраосновной формации, установлено, что контактово-метасоматическое воздействие, вызванное внедрением щелочно-ультраосновных магм, не сопровождалось значимым привнесением в обрамляющие породы большинства редких и редкоземельных элементов.

Впервые проведен детальный факторный и дискриминационный анализ пород контактовой зоны щелочно-ультраосновных массивов, дана геохимическая интерпретация математически-выявленных закономерностей. К нашему сожалению, эта часть работы не вошла в автореферат, а она представляет большой научно-методический интерес.

Впервые показан механизм образования альвикитов за счет магматического замещения карбонатитовым расплавом алюмосиликатных пород на термальном пике карбонатитогенеза, что является существенным вкладом в понимание генезиса этого промышленно значимого и широко распространенного типа пород.

Автором выявлена роль постмагматических метасоматических процессов (альбитизация, образование феррокарбонатитов) в эффективном разделении геохимических пар элементов: ниобия и тантала, циркония и гафния, показана дифференциальная подвижность в этих условиях редкоземельных элементов иттриевой и цериевой групп, что может иметь прямое практическое значение при детальной оценке фенитовых ореолов на редкоземельное и редкометальное оруденение. Практическое значение имеет и тот вывод, что флогопитизация, наложенная на потенциально апатитоносные твейтозиты, ведет к снижению в последних содержания пятиокиси фосфора.

Важным положительным моментом работы является анализ проблемы пересчета анализов важнейших пороодообразующих минералов на формулы и на миналы, что в принципе должно быть предметом отдельной дискуссии, поскольку в большинстве случаев с момента выхода книги А.Г. Булаха исследователи используют предложенные им методы, тогда как накопление новых данных о структуре, типохимизме и пределах смесимости в минеральных системах, а также переход к новым методам анализа состава минералов делают актуальным появление нового справочника. И присутствующее в диссертации Е.Н. Козлова обсуждение проблемы пересчета, и нанесения составов нефелина заслуживает включения в него. То же самое можно сказать и отсутствия в составе пироксенов вакансионных членов (молекулы Эскола), и о доказательстве присутствия части кальция в позиции M2, что можно рассматривать как твердые растворы между клинопироксеном и волластонитом. Вызывает интерес также вывод о вхождении титана в биотит по ранее не известной схеме изоморфизма  $2^{VI}R^{2+} \Leftrightarrow ^{VI}Ti^{4+} + ^{VI}O$ , что, впрочем, требует дополнительного обоснования и подтверждения наличия в триоктаэдрическом слое такого количества вакансий независимыми методами в данном конкретном случае.

В диссертации очень интересен раздел, посвященный результатам изотопного исследования метасоматитов и построению модели фиксации компонентов. Он довольно скудно отражен в автореферате и в явном виде не отражен в защищаемых положениях, хотя выводы по этому разделу вполне достойны этого.

Отдельно следует отметить прекрасно выполненный подробный авторский обзор истории изучения фенитов, на наш взгляд достойный отдельной публикации.

Работа написана хорошим языком, отлично иллюстрирована, имеются надлежащие ссылки на работы предшественников. Общая структура работы логична, эту работу приятно и интересно читать. Общее впечатление – позитивное, хотя имеется ряд замечаний, изложенных далее по ходу обсуждения защищаемых положений.

Первое защищаемое положение *«Породы контактового ореола интрузии Озерная Варака, а также других щелочно-ультраосновных массивов Кольской провинции подверглись полиметасоматической переработке в ходе трех последовательных процессов: фенитизации фюидолитового этапа, метасоматоза карбонатитового этапа и постмагматических преобразований, связанных с карбонатитогенезом. Несмотря на незначительное распространение в ряде массивов карбонатитов, метасоматоз карбонатитового этапа играл определяющую роль в приконтактных изменениях докембрийских пород фундамента»* обосновано большим объемом выполненных полных химических и микрозондовых анализов минералов, химических, минеральных и изотопных составов пород и выявлением типохимизма сквозных минералов (пироксена, амфибола, полевых шпатов, нефелина, апатита, титанита, кальцита), описанием взаимоотношений минералов с использованием оптической и электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа. Это позволило выявить следы наложенных метасоматических процессов, в том числе в тех

случаях, когда они совмещены в пределах одного образца, связать эти процессы со стадиями магматизма в массиве Озерная Варака. Автором различаются этапы метасоматоза, отвечающие внедрению ультраосновного, фодолитового и карбонатитового расплавов и постмагматической стадии.

Большое значение имеет проведенное в работе статистическое исследование геохимии разных групп пород статистическими методами, в том числе факторного и дискриминационного анализа, позволившее выделить три фактора (в математическом смысле), ответственные за 90.7% общей дисперсии химического состава пород. Один из них интерпретирован как фактор метасоматоза карбонатитового этапа, второй – как результат наложенных посткарбонатитовых изменений твейтозитов, а третий – как фактор метасоматоза фодолитового этапа. Эта интереснейшая часть работы, к сожалению, не вошла в автореферат. Факторный и дискриминационный анализ проведен автором в уравнениях первого порядка относительно содержаний петрогенных оксидов, поэтому дискриминационные функции легко могут быть выражены в виде линейных функций содержаний оксидов. Отсутствие этого является недостатком работы, поскольку без этого невозможно практическое приложение полученного результата. К недостаткам следует отнести также отсутствие в тексте диссертации сопоставления полученных факторов с результатами расчета привноса-выноса компонентов. В то же время, на результаты этого сопоставления автор ссылается.

Второе защищаемое положение *«На всех этапах формирования контактовых ореолов щелочно-ультраосновных комплексов концентрирование в метасоматитах редкоземельных элементов, фосфора и, в меньшей степени, высокозарядных элементов происходило при их соосаждении с кальцием, железом и магнием в зонах базификации. Наиболее интенсивное накопление этих элементов осуществлялось на карбонатитовом этапе становления комплексов»* доказано детальным рассмотрением геохимии редких и редкоземельных элементов в метасоматических породах, в том числе построением баланса привноса-выноса компонентов. Сам термин «соосаждение» применен весьма нестрого (изначально этот термин обозначает захват и осаждение микроэлемента в форме структурной или адсорбированной примеси в твердой фазе макроэлемента, а не просто одновременность осаждения), но это не меняет значимости полученных результатов.

На основании этого баланса диссертантом была построена модель формирования зон метасоматитов вокруг массива, и оценки выноса компонентов из магмы, показавшие, в частности, что из исходной щелочно-ультраосновной магмы «было вынесено 29%  $\text{Na}_2\text{O}$  и 15%  $\text{K}_2\text{O}$ , (для прочих петрогенных элементов потери не превышают 1-2%)». Численное моделирование такого рода для восстановления исходного состава магмы является новым научным результатом, и значение этого результата сложно переоценить, поскольку по этим цифрам легко рассчитать, что для магмы до потери метасоматизирующего флюида коэффициент агпаитности составлял 1.19 (почти столько же, сколько для ювита Ковдорского массива), а для продукта его кристаллизации, потерявшего флюид, коэффициент агпаитности составляет 0.88.

Осаждение редких (HFSE и REE) элементов в зонах базификации продемонстрировано диаграммами изменения масс компонентов для модельных реакций образования пород из протолитов. К сожалению, из двенадцати рассмотренных реакций (пар пород) это продемонстрировано только для семи, и не рассмотрено ни для пары твейтозит-альвикит, ни в сквозном процессе фенит-твейтозит-альвикит, что дало бы возможность наглядно сравнить результаты балансовых расчётов с модельными построениями по изотопии Sr и Nd.

К недостаткам этой части следует отнести явно завышенную точность цифр в уравнениях баланса (два, а то и три знака после запятой). Из этого логично вытекает вопрос/замечание о величине погрешности при расчете  $\Delta M_i/M^0$  и  $\Delta M_i/M_i^0$ , которые используются автором для ранжирования элементов по степени привноса/выноса и оценке их подвижности. Кроме того, хотелось бы обратить внимание автора, что такой параметр оказывается излишне чувствителен к привносу компонентов, которых изначально в породе было мало, поскольку увязывает

активность миграции компонентов с их начальным содержанием в породе, от которого привнос, собственно, и не зависит.

В тексте диссертации значительный объем занимает обсуждение особенностей поведения геохимически сходных элементов, выявление “CHARAC и “не-CHARAC” условий дифференциации флюида и сделан обоснованный вывод о специфическом режиме разделения геохимически сходных элементов, при метасоматозе фойдолитового этапа. Этот вывод может иметь, в том числе, и практическое значение. Однако в качестве механизма, ответственного за это разделение, автор предполагает перенос подвижных редких элементов в виде фторидных, фосфатных и карбонатных комплексов, не приводя при этом обзора данных, которые бы свидетельствовали о том, что константы устойчивости этих комплексов действительно существенно отличаются.

***Третье защищаемое положение «При внедрении щелочно-ультраосновных магм в докембрийские породы фундамента инъецировался значительный объем флюида, относительно бедного элементами-примесями. От агпаитовых магм отделялось существенно меньшее количество фторидного флюида, эффективно экстрагировавшего высокзарядные и редкоземельные элементы из расплава и обогатившего указанными компонентами породы обрамления»***

Это положение основывается на исследовании фенитового обрамления Малого Ковдорского массива по методике, аналогичной использованной при изучении метасоматитов Озерной Вараки. Геологическое исследование зоны фенитизации агпаитового массива Малый Ковдор позволило на его примере продемонстрировать известный на примере других агпаитовых массивов факт крайне ограниченного проявления метасоматических процессов в связи с агпаитовыми расплавами (Когарко, 1977).

Модельные расчеты фенитизации в ряду гнейс-фенитизированный гнейс-фенит показали, что на первой стадии процесс был аналогичен процессу фенитизации в Озерной Вараке, представляя собой щелочной метасоматоз с преобладающим выносом компонентов, тогда как на второй стадии происходит базификация, при которой в породу привносились калий и кальций, а натрий – напротив – выносился. В этом процессе активно привносились редкоземельные элементы и HFSE. Активный привнос редких и редкоземельных элементов в фениты, окружающие агпаитовые массивы, неоднократно описан, однако в данной работе впервые показано, что степень привноса этих элементов в фениты оказывается не связана с их содержанием в магме, породившей процесс фенитизации, а контролируется содержанием во флюиде фтора, ответственного за степень экстракции редкоземельных элементов и HFSE из магмы.

К сожалению, приходится констатировать, что заявление об объеме флюида в этом защищаемом положении не доказано, поскольку ни для Озерной Вараки, ни для Малого Ковдорского массива не приведено данных, из которых можно было бы оценить концентрацию растворов и/или объем вынесенной воды. Сам по себе объем метасоматитов о количестве воды, составляющей большую часть флюида, не говорит. Логично было бы предложить рассмотреть эту проблему путем исследования включений в минералах фенитовых ореолов массивов или путем сопоставления содержаний фтора, хлора и гидроксида в одноименных минералах из сопоставимых пород контактовых ореолов разных массивов.

При обсуждении особенностей распределения редкоземельных элементов в породах Малого Ковдора диссертант отмечает «излом» в Gd, как один из признаков специфического режима дифференциации, но, судя по наличию этого излома на спектре гнейса на том же рисунке, эта аномалия скорее связана с особенностями работы конкретного прибора ICP-MS в конкретную смену.

В качестве замечаний следует также отметить неудачное использование некоторых терминов. В частности, в третьем защищаемом положении используется термин «примесные элементы» в приложении к растворам. Очевидно, это возникло как перевод англоязычного

термина «trace elements», но в русском варианте это делает фразу бессмыслицей. Другим примером неудачного использования является термин «Хадокристалл», по-видимому, взятый автором как перевод термина «Chadokrystalle» из словаря С.А. Шлиппе и Е.Ф. Сеницына (1962), но уже забытого самими носителями языка (32 из 33 опрошенных германоязычных геологов ответили, что не знают этого слова). Неверно используется термин и HFSE, например, бессмыслицей является фраза «Данные анализы титанита бедны HFSE и примесными элементами в общем (в сумме – не более 0.09 a.p.f.u.)» (с.114), поскольку титан является классическим представителем этой геохимической группы элементов.

Высказанные замечания не умаляют достоинств представленной диссертационной работы. Не будет преуменьшением сказать, что некоторые из этих замечаний являются пожеланиями к следующей работе диссертанта.

По результатам исследования опубликовано 14 работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в список ВАК.

Таким образом, диссертация Евгения Николаевича Козлова является научно-квалификационной работой, в которой решена проблема расшифровки последовательности образования пород контактовых ореолов щелочно-ультраосновных массивов, оценки параметров метасоматического воздействия и определения поведения элементов на каждом этапе преобразования приконтактных пород, имеющей существенное значение для геохимии и петрологии массивов щелочно-ультраосновной формации, что соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков.

Отзыв составлен заведующей лабораторией геохимии и рудоносности щелочного магматизма доктором геолого-минералогических наук, академиком РАН Л.Н. Козарко и старшим научным сотрудником лаборатории геохимии и рудоносности щелочного магматизма кандидатом геолого-минералогических наук В.А. Зайцевым. Диссертация и отзыв рассмотрены на заседании геохимической секции ученого Совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) 06.12.2016 протокол № 7 и принят в качестве официального отзыва ведущей организации.

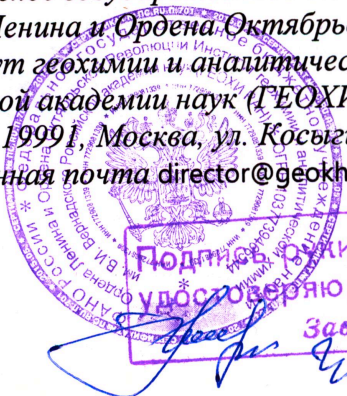
Козарко Лия Николаевна,  
Заведующая лабораторией  
Доктор геолого-минералогических наук  
Академик РАН



Зайцев Виктор Анатольевич,  
старший научный сотрудник,  
кандидат геолого-минералогических наук



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции  
Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского  
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН),  
Россия, 119991, Москва, ул. Косыгина д. 19  
Электронная почта director@geokhi.ru



Козарко Лия Николаевна  
Зайцев Виктор Анатольевич  
Зав. канцелярией ГЕОХИ РАН