



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**

пр-т Ленина, дом 36, Томск, 634050, Россия, <http://www.tsu.ru>

**ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию Хромовой Елены Александровны**

**«ВОЗРАСТ И ПЕТРОГЕНЕЗИС ПОРОД ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНОГО
КАРБОНАТИТОВОГО БЕЛОЗИМИНСКОГО МАССИВА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)»**

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

Диссертация посвящена геохронологии, особенностям строения, состава и генезиса Белозиминского щелочно-ультраосновного массива в Восточном Саяне. Полученные данные представляют научную ценность и хорошую основу для независимой петрогенетической экспертизы.

Актуальность, научное и практическое значение работы

Белозиминский плутон является интрузией центрального типа и представляет собой ассоциацию мельтейгит-ийолитов, нефелиновых сиенитов и редкометальных карбонатитов. Совместно с другими аналогичными по составу магматическими проявлениями плутон образует позднедокембрийский интрузивный комплекс (рудно-магматическую систему) в структуре Урикско-Ийского грабен-рифта. Карбонатиты варьируют по составу от кальцитовых до анкеритовых производных и содержат разнообразную Nb-REE минерализацию различного происхождения. Существующие представления о процессах редкометального рудогенезиса, связанного с магматическими карбонатитами, во многом еще остаются дискуссионными. В этом отношении изученный Белозиминский массив можно считать классическим примером подобных плутонических ассоциаций, сформировавшихся в обстановке рифтинга жестких блоков древних орогенов. На основании полученных данных уточняется изотопный возраст формирования его пород, установлены их субсинхронность и закономерности изменения вещественного состава, а также обсуждаются процессы магмогенерации и источники щелочных и

карбонатитовых расплавов, общие закономерности концентрирования редких металлов в подобных рудоносных системах.

Основными объектами исследований послужили фойдолиты-нефелиновые сиениты и комагматичные им полистадиальные карбонатиты. При этом щелочные породы рассматриваются как продукты ранней фазы становления Белозиминского массива. В основу диссертации положен фактический материал, который был получен при поисково-разведочных работах. Предоставленные образцы керн из восьми буровых скважин изучены при личном участии автора с применением современных методов анализа строения и состава пород и минералов (REM, EPMA, XRF, ICP-MS, LA-ICP-MS), изотопной ($Ar-Ar$, $Sm-Nd$, $Rb-Sr$, $Pb-Pb$) хронологии и геохимии в Аналитических центрах ГИН СО РАН (Улан-Удэ), ИГМ СО РАН (Новосибирск), ИГГД РАН и ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), Университетов Эрлангена и Потсдама (Германия).

По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 4 статьи в научных журналах из списка ВАК, включая зарубежные издания «Lithos» и «Journal of Asian Earth Sciences». Актуальность исследований поддержана грантом № 15-17-20036 Российского научного фонда.

На основании полученных результатов выдвигаются три защищаемых положения:

☞ Карбонатиты Белозиминского массива сформировались 645 млн лет назад синхронно с щелочными силикатными породами;

☞ Образование ряда мельтейгит-ийолит-нефелиновый сиенит Белозиминского массива связано с процессом фракционной кристаллизации. Эволюция этих пород выражена в изменение химического состава основных породообразующих минералов;

☞ Формирование на ранней стадии процесса карбонатитообразования Nb- и Zr- минералов обусловило снижение концентрации этих элементов в остаточной карбонатитовой магме, в то время как обогащение PЗЭ, барием, ураном, железом продолжилось с формированием позднестадийных карбонатитов. Эволюция карбонатитов выразилась в смене раннего флюоркальциопирохлора на кенопирохлор и далее на гидропирохлор, замещающийся Fe-содержащим колумбитом. (Цитируется по тексту диссертации. В автореферате формулировка имеет отличия: «Формирование на ранней стадии процесса карбонатитообразования... Эволюция химического состава минералов группы пирохлора в карбонатитах Белозиминского массива, которая выразилась в смене раннего флюоркальциопирохлора на кенопирохлор и

далее на гидропироклор, замещающийся Fe-содержащим колумбитом, в силу длительного временного диапазона их формирования, отражает общую эволюцию исследуемой системы».

Исходя из содержания диссертации и опубликованных соискателем результатов, защищаемые положения выглядят обоснованными. Однако в качестве замечания отметим, что некоторым формулировкам не хватает конкретности. Например, во втором и в третьем защищаемых положениях говорится об эволюции щелочных пород/карбонатитов/системы. Во-первых, утверждать о так называемой «эволюции пород» терминологически неверно, к тому же непонятно, какая эволюция обсуждается? Если геохимическая, то нужно указывать ее сигнатуры и параметры. По-видимому, в данном случае должна идти речь о развитии рудно-магматической системы в целом. Во-вторых, превращение пироклора вплоть до гидропироклора не имеет никакого отношения к эволюции самого процесса карбонатитообразования, а является только признаком гипергенных изменений пород.

Содержание работы

Рецензируемая диссертация общим объемом 164 страницы состоит из введения, четырех глав и заключения, списка литературы из 249 наименований, 48 рисунков и 39 таблиц.

В первой главе диссертации выполнен краткий обзор современных представлений по систематике, закономерностям проявления и генезиса карбонатитов, типам их редкометальной минерализации. Очевидно, что для понимания общих петрологических аспектов этой сложной проблемы следовало бы охватить более широкий круг вопросов по геохимии и изотопии не только карбонатитов, но и процессов щелочного петрогенезиса. Все-таки, изученный интрузив имеет щелочно-ультраосновную специфику! Автор не решился на более полный обзор и анализ необходимой литературы, отсюда искажение и упрощение некоторых научных представлений, терминологические и стилистические неточности (например, см. стр. 15, 17-18). Как следствие, в диссертации отсутствует понятная генетическая интерпретация и глава с обобщением полученных данных.

Во второй главе изложены сведения об изученности, геологическом строении и возрасте щелочных интрузий Зиминского рудного района. На взгляд рецензента: (i) структура главы должна быть более логичной с перестановкой разделов 2.2 и 2.3; (ii) рамках такой темы диссертации не требуется настолько детальная история исследования Белозиминского массива, тем более по литературным данным; (iii)

зачем нужны названия свит и магматических комплексов, если их обозначений нет на геологических схемах; куда исчезли упомянутые (стр. 23) диабазы и габбро-диабазы? (iv) при одновременном употреблении терминов «рудный район» и «рудный узел» (стр. 22) следует помнить, что между ними нет равенства и рудный район по площади на порядок больше, чем рудный узел; (v) не указываются параметры Pb-Pb изохроны.

В главах 3 и 4 рассмотрены и обсуждаются особенности строения и главные закономерности изменчивости вещественного состава щелочных пород и карбонатитов Белозиминского массива. На основании результатов оптических и спектрометрических исследований: (1) проведена петрографическая типизация разновидностей магматических пород; (2) изучен химизм главных породобразующих и акцессорных минералов, установлены их парагенезисы и новые минеральные фазы; (3) отстаивается представление о формировании пород путем кристаллизационного фракционирования щелочного и карбонатитового расплавов. При этом полученные геохимические и изотопные данные позволили автору предположить, что родоначальная магма могла иметь состав, сходный с меланефелинитом, и умеренно деплетированный мантийный источник без явных признаков коровой контаминации. В диссертации не уточняется, вещество какого мантийного домена входило в состав протолита, но допускается его взаимодействие с каким-то «метасоматическим» агентом. По мнению рецензента, могло происходить смешение деплетированной (PREMA-тип) и обогащенной литосферной (EM-тип) мантии, компоненты которых обычно фиксируются в карбонатисодержащих магматических комплексах.

Следует отметить, что в диссертации не приводится единой системы аргументов в пользу воззрений автора и результаты исследований обсуждаются только в заключении соответствующих глав. Вместе с тем, в концептуальных аспектах соискатель придерживался уже известных моделей и полученные данные позволяют уточнить не только некоторые параметры щелочного и карбонатитового магмо- и петрогенезиса, но также общий характер и последовательность рудообразования в полистадиальных карбонатитовых ассоциациях.

Общие замечания, вопросы для дискуссии и рекомендации

1. При формулировании защищаемых положений следовало конкретизировать новизну достигнутых результатов. Это способствовало бы их более органичной адаптации в рамках существующих моделей и восприятию авторской точки зрения.

2. Для представления результатов в главе 3 «Петрография и минералогия...» требуется более современный формат с акцентом на химизм минералов. К тому же

нет необходимости в настолько подробном петрографическом описании методами обычной оптической микроскопии, ведь Белозиминский массив ранее уже был достаточно изучен. Если получено что-то принципиально новое, то это никак не отражено в работе, кроме более качественных, но не всегда информативных изображений (например, что за обозначение Pgx на фото, какой-то пироксен? Доминирующий в нефелиновом сиените калиевый полевой шпат на снимках почему-то отсутствует).

3. В геологической характеристике интрузива как важнейший элемент строения карбонатитов отмечалась полосчатость (стр. 32). Согласен, ее наличие может свидетельствовать об условиях внедрения или кристаллизации расплавов. Однако при последующем описании и генетической интерпретации пород об этом ничего не говорится. Отмечается только, что магматогенные кальцит-доломитовые и анкеритовые карбонатиты могут иметь гранобластовую или гетерогранобластовую структуру (стр. 53, 56), а это уже является признаком метаморфических пород.

4. Желательна более детальная систематика клинопироксенов (например, в координатах wo-en-fs) при наблюдаемых изменениях их состава. Также нет указаний на позицию Al, Ca, Na в структуре амфиболов. Судя по классификационной диаграмме и табличным данным, непонятно, какие образцы автор считает рихтеритом и магнезиальной роговой обманкой в нефелиновом сиените.

5. Требуется пояснения пониженное содержание K_2O в нефелине из сиенитов. Обычно для нефелина поздних магматических фракций и взаимосвязанных метасоматических образований характерно увеличение кальсилитовой составляющей. Может быть, более калиевый нефелин в мельтейгит-ийолитах является продуктом нефелинизации пироксенитов? В связи с этим возникает вопрос о роли процесса фенитизации в формировании пород массива в целом. В главе 2 автор ссылается на литературные данные о высокой щелочности (до 17 мас. % щелочей) исходного карбонатитового расплава. При этом он отмечает постепенные (непонятно, чем выражено) контакты между силикатными породами (стр. 31), но не упоминает о наличии фенитов. Так, может быть, не все щелочные породы массива являются магматическими. Тогда будет проще объяснить совмещение/перекрытие полей составов клинопироксена или слюды в разновидностях пород или, например, несопоставимость объемов щелочных производных и карбонатитов, особенно в глубинных частях.

6. Установленные особенности химизма минералов автор рассматривает как признаки фракционной кристаллизации расплава. По мнению рецензента, доводы не

так однозначны. Например, соотношение Fe^{2+}/Fe^{3+} заметно изменяется только в слюде, количество фтора значительно возрастает исключительно в карбонатитах. К тому же рассматривается вероятность участия флюидов и метасоматических процессов (см. стр. 81-84, 86-87).

7. Для распределения редких рассеянных элементов в щелочных породах (стр. 91) также не наблюдается отчетливой зависимости в их накоплении, как это обычно происходит при фракционной кристаллизации. По крайней мере, комплементарный РЗЭ-спектр нефелинового сиенита (стр. 92) должен был бы демонстрировать обогащение относительно ультраосновных производных. Отличие может быть связано не столько с механизмом эволюции магмы, сколько с ее источником (нужна редкоэлементная характеристика эталонных источников для сравнения). Кстати, если рассматривать карбонатиты как результат фракционирования родоначального щелочного расплава, то по какой причине они оказались так обогащены РЗЭ относительно сиенитов? Возможно, это поздне- или постмагматический флюидный перенос, признаки которого нередко фиксируются в редкоземельных карбонатитах.

8. Утверждение автора о маловероятной коровой контаминации (стр. 101) на основании полученных Pb-Pb изотопных данных весьма поверхностное. При таком возрасте пород и разбросе значений измеренных изотопных отношений свинца необходимо сравнивать только первичные Pb/Pb, особенно если учитывать, что измерялся валовый состав пород, а более достоверные данные обычно получаются по минералам с низким U/Pb. С другой стороны, об отсутствии эффектов контаминации на стадии существования расплава практически однозначно свидетельствуют первичные отношения изотопов Nd и Sr. В этой связи непонятно, почему соискатель не привел в диссертации данные по геохимии стабильных изотопов, опубликованные в рейтинговом научном журнале *Journal of Asian Earth Sciences* при его соавторстве.

9. Раздел «Заключение» выглядит очень лаконичным и не полностью отражает содержание и результаты диссертационного исследования, в основном повторяются только защищаемые положения.

В плане дискуссии необходимо иметь в виду аспект, который автором почти не обсуждается. Им априори принимается, что происходило кристаллизационное фракционирование отдельно щелочного и карбонатитового расплавов, хотя и утверждается что интрузивные фазы синхронны. При этом никак не рассматривается возможность дифференциации единой материнской магмы. Ведь в таком случае придется объяснить наблюдаемые несоответствия по сравнению с классической моделью, связанные, например, с особенностями состава некоторых

породообразующих минералов или распределением редких рассеянных элементов (особенно РЗЭ и Nb), несогласованным поведением изотопов Nd и Sr в карбонатитах и нефелиновых сиенитах. С другой стороны, фиксируется изотопное сходство пород, что свидетельствует об родстве их источников (не указывается, вещество какого мантийного домена участвует, но, видимо, преобладает компонент PREMA, характерный для многих докембрийских карбонатитсодержащих комплексов).

Среди мелких замечаний отметим: (•) на некоторых вариационных диаграммах (например, TAS-диаграмма) почему-то англоязычные условные обозначения; (•) следовало сравнить состав исходного меланефелинитового расплава с химизмом пород массива; (•) допущены ошибки в терминах (например, «магнезиоребекит», стр. 11, «смесимый интервал», стр. 17, «спаянность», стр. 51, «олексминскит», табл. 3.6.1; (•) отсутствие рис. 3.6.2 и 3.6.3, погрешности в табл. 3.7.7, несоответствие некоторых ссылок в тексте и списке литературы; (•) стиливые неточности, часть которых связана с геологической интерпретацией.

Заключение по диссертации

Автореферат и опубликованные материалы отражают основное содержание диссертации. Уровень проведенного научного исследования соответствует современным квалификационным требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а сам автор Хромова Елена Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.04 – петрология, вулканология.

Доктор геол.-минерал. наук,
зав. кафедрой динамической
геологии НИ ТГУ

В. В. Врублевский

05 февраля 2021 года

Официальный оппонент:

Врублевский Василий Васильевич, заведующий кафедрой динамической геологии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук, доцент. Почтовый адрес: 634050 Томск, пр-т Ленина, д. 36, НИ ТГУ, ГГФ; тел. 89039154706; e-mail: vasvr@yandex.ru

Я, Врублевский Василий Васильевич, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку



В. В. Врублевский