



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**

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

**ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию
НИКОЛЕНКО Анны Михайловны**

**«ПЕТРОГЕНЕЗИС И РУДОНОСНОСТЬ ПОРОД
ЩЕЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА МУШУГАЙ-ХУДУК (МОНГОЛИЯ)»**

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология

Диссертация посвящена геохронологии, особенностям строения, состава и генезиса щелочного магматического комплекса Мушугай-Худук в Южной Монголии. Полученные данные имеют фундаментально-научное значение для петрологии и позволяют оценить рудный потенциал изверженных пород.

Актуальность, научное и практическое значение работы

Высококалиевый магматический комплекс Мушугай-Худук приурочен к позднемезозойской системе грабен-рифтов Монгольского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса. В его составе объединяются производные вулканической серии меланефелинит-трахит-фонолитового состава, малые интрузии шонкинитов и щелочных сиенитов, мелкие штоки, дайки и жильные тела кальцитовых карбонатитов, апатит-магнетитовых и флюоритовых пород, распространенные на площади около 80 км² в современном эрозионном срезе. К карбонатитам предлагается также относить пирокластические участки с карбонатным цементом среди эффузивов.

Существующие представления о хронологии, источниках и эволюции калиевого магматизма, связанного с ним карбонатитообразования еще во многом остаются дискуссионными. Проведенные исследования позволяют судить о химической неоднородности мантийного вещества, роли плюм-литосферных процессов в магмо- и рудогенезисе, составе карбонатизированных щелочных расплавов, условиях и

механизмах концентрирования редких элементов в рудно-магматических системах. В этом отношении комплекс Мушугай-Худук можно считать индикатором подобных вулканоплутонических ассоциаций, возникающих в обстановке рифтинга складчатых поясов палеозоя. На основании аналитических данных уточнен изотопный возраст формирования комагматичных щелочных пород и карбонатитов, установлены закономерности изменения их вещественного состава, особенности петрогенезиса и вероятных источников рудоносных расплавов.

В основу диссертации положен фактический материал, собранный автором при полевых изысканиях и изучении коллекции Института геохимии СО РАН. Исследование строения и состава горных пород (около 100 образцов) и минералов проводилось при личном участии автора и включало полноценный арсенал современных прецизионных методов анализа вещества (SEM, EPMA, XRF, ICP-MS, LA-ICP-MS, термобарогеохимия и рамановская спектроскопия), изотопной Ar-Ar хронологии и Nd-Sr-Pb-O-C геохимии в Аналитических центрах ГИН СО РАН (Улан-Удэ), ИГМ СО РАН и НГУ (Новосибирск), НИИЯФ (Томск), Геологического института КНЦ (Апатиты), ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Эксперименты с системой минерал-флюид выполнялись в научном центре GFZ (Потсдам, Германия).

По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 7 статей в высокорейтинговых международных научных журналах «Lithos», «Mineralogy and Petrology», «Minerals», «Geochemistry», «Doklady Earth Sciences», входящих в перечень ВАК. Актуальность и уровень исследований подтверждены грантами Российского научного фонда №№ 15-17-20036, 19-17-00013, 19-17-00019.

На основании полученных результатов выдвигаются три защищаемых положения:

●* Формирование щелочных пород и магнетит-апатитовых руд комплекса Мушугай-Худук происходило в интервале 140–133 млн лет. Этот возрастной диапазон совпадает с этапом проявлений позднемезозойского щелочно-карбонатитового магматизма, а также с пиками бимодального вулканизма и гранитоидного магматизма в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса;

●* Родительские расплавы комплекса Мушугай-Худук образовались из изотопно неоднородного источника литосферной мантии, метасоматизированного субдуцированным веществом;

●* Магнетит-апатитовые породы являются продуктом эволюционировавшего исходного щелочного силикатного расплава и образовались на этапе кристаллизации щелочных сиенитов. Гидротермальные флюиды фторид-сульфатного состава

обусловили изменение и перекристаллизацию магнетит-апатитовых пород с замещением апатита новообразованными фосфосидеритом и монацитом-Се, и формированием сульфатсодержащих минералов (барит, целестин, ангидрит).

Исходя из содержания диссертации и опубликованных соискателем результатов, защищаемые положения выглядят обоснованными. Однако в качестве замечания отметим, что формулировки второго и третьего защищаемых положений могли бы быть более конкретными и полными. Например, при обсуждении природы магматического источника следовало указать, в чем заключается его изотопная неоднородность, т. е., о каких исходно-мантийных резервуарах идет речь. Также необходимо упоминание об особенностях формирования изученного щелочного комплекса (генетической интерпретации посвящены разделы 8.2 и 8.3 в тексте диссертации на стр. 86–97). В содержании автореферата соответствующие разделы не выделяются. Кроме того, при оформлении автореферата, оглавления и вводной части диссертации допущены досадные неточности: (i) название работы должно полностью соответствовать титулу рукописи-оригинала; (ii) при определении цели и задач не следует повторяться (например, о возрасте пород); (iii) в оглавлении отсутствуют обозначения главы 5 и раздела 5.2.

Содержание работы

Рецензируемая диссертация объемом 136 страниц состоит из введения, 8 глав и заключения, списка литературы из 255 наименований, 25 рисунков и 16 таблиц.

В главе 1 «Состояние проблемы» (отсутствует в автореферате) выполнен краткий обзор представлений о систематике, закономерностях проявления и рудоносности щелочного магматизма с акцентированием вопросов петрогенезиса в случае его калиевой специфики. Следовало бы сразу пояснить причину сделанного акцента. Кроме того, почему-то совсем не рассматриваются процессы карбонатитообразования, особенно если учитывать тематику предпринятых изысканий. В целом, автор достаточно разбирается в затронутых теоретических аспектах петрологии, но их изложение хотя и понятно, иногда бывает сумбурным и не всегда правильным по терминологии (например, на стр. 23: «...переработка и метасоматоз происходят в процессе субдукции, где отложения плавятся...», «...пироксениты... способны производить К-обогащенные расплавы, которые активизируются при повышении температуры...»; на стр. 24: «...вариациях изотопных мантийных компонентов...»; на стр. 27 «магмы...образовались из мантийного

источника ЕМ-II с высоким соотношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, что могло быть связано с процессом субдукции.»).

В главах 2 и 3 приведены сведения о геологическом строении и выполненном Ar-Ar изотопном датировании щелочных и магнетит-апатитовых пород комплекса Мушугай-Худук. Принципиальные замечания к содержанию отсутствуют, но терминологические неточности встречаются и здесь. Например, выделяемые каледонский и герцинский домены с метаморфическими, вулканогенными и осадочными породами никак не могут быть «...перекрыты ... гранитами...» (стр. 28)! Судя по приведенной геологической схеме, они прорываются гранитными интрузивами.

В главе 4 рассмотрены выявленные минералого-петрографические особенности пород комплекса Мушугай-Худук. На основании результатов оптических, SEM и спектрометрических исследований были проведены типизация петрографических разновидностей и определение химического состава породобразующих и акцессорных минералов. В качестве замечаний отметим следующее: (1) отсутствуют полные данные по химизму фосфосидерита, впервые установленного в изученных породах; (2) отсутствует точная «аналитика» по минералам из карбонатитов; (3) при таком минералогическом разнообразии очень мало иллюстративного материала для сравнительного анализа.

В главе 5 представлены результаты по геохимии петрогенных и редких элементов, радиогенных (Nd-Sr-Pb) и стабильных (O-C) изотопов в породах изученного комплекса. Отметим, что приведенные новые данные существенно дополняют уже опубликованную другими исследователями информацию и предоставляют автору возможность для более уверенной петрологической интерпретации и моделирования. В связи с этим возникает вопрос, чьи данные приводятся на петрохимических (TAS, Харкер-индекс) и Nd-Sr изотопной диаграммах? Аналитических точек заметно больше по сравнению с таблицами 10 и 12. На рис. 11 показана зависимость между содержаниями Sm и Rb, которая не относится к семейству диаграмм Харкера и не соответствует концентрациям элементов в анализах пород таблицы 10. Также не понятен смысл таблицы 15. О каком расплаве идет речь и причем здесь равновесие в минеральных парах?

В главах 6 и 7 изложены данные по термобарогеохимии микровключений в апатите из магнетит-апатитовых пород (гл. 6) и моделированию процессов взаимодействия апатита с водным флюидом разного солевого состава. Содержание гл. 7 больше напоминает констатацию факта со ссылкой на опубликованную статью и

практически не сопровождается количественными характеристиками проведенных опытов и составов новообразованных минеральных фаз. Поэтому сделанный вывод не вполне убедителен. К тому же для обозначения гидротермального флюида автор пользуется сразу двумя разными терминами: водный раствор и солевой раствор (стр. 82–83), что затрудняет восприятие материала.

В главе 8 рассматривается несколько аспектов формирования комплекса Мушугай-Худук: возрастной рубеж становления, систематика и генезис пород, источники вещества, геодинамическая обстановка магматизма, особенности эволюции поздне-, постмагматических процессов. Содержание раздела и основные выводы не вызывают особых сомнений. Автор умело сочетает уже известные данные и современные петрологические модели с полученными оригинальными результатами, что позволяет уточнить условия и параметры щелочного и карбонатитового магмо- и петрогенезиса, дает возможность обоснования последовательности и характера эволюции магматизма в геологической истории крупных складчатых поясов. В качестве рекомендаций отметим следующее: (1) наряду с РЗЭ, стоило оценить эффект ликвации по концентрациям в породах других HFS-элементов; также необходимо иметь в виду, что уровень накопления химических элементов (например, Ba и Sr) в минерале контролируется не только процессом, но и изоморфной емкостью его кристаллической решетки; (2) силикатно-карбонатная жидкостная несмешиваемость происходит на стадии существования расплава, а не его кристаллизации (см. стр. 87); (3) при обсуждении роли коровой контаминации в петрогенезисе надо иметь в виду, что значения $\delta^{18}\text{O} > 6\text{‰}$ в породах и минералах (см. например, стр. 91) всегда свидетельствуют о контаминированности либо расплава, либо породы веществом коры и не очень важно, поступало ли оно непосредственно из вмещающих пород или низкотемпературных гидротерм; (4) не вполне понятна природа «...просачивающегося...» гидротермального флюида, что за источник? Указанные шонкиниты вряд ли могут быть источником, породы уже сформировались (стр. 92, 104); (5) что подразумевается под «субдуцированным материалом», только осадки верхнего слоя или речь идет обо всей пластине океанической литосферы? (стр. 92–93); (6) надо обозначить, вещество какого резервуара деплетированной мантии смешивалось с компонентом ЕМ. По приведенным диаграммам изотопного состава Pb нельзя сделать определенный вывод, т. к. первичные отношения Pb–Pb не рассчитывались, а при таком возрасте и величине U/Pb смещение аналитических точек будет обязательно. На основании выявленных вариаций LILE/HFSE (рис. 24)

тоже не получается дать утвердительный ответ, тем более что из них только Ва является LIL-элементом.

Заключительный раздел диссертации отражает основные этапы, содержание и результаты проведенных исследований, а также их научную новизну и ценность.

Общие замечания, дискуссия и рекомендации

1. Во Введении соискатель отмечает «...связь щелочного магматизма с зонами орогенеза». Что имеется в виду? Возможно, речь идет только о приуроченности магматизма к областям завершенной складчатости и употребление термина «орогенез» как совокупности тектонических процессов здесь неуместно. Кроме того, для обозначения магматических комплексов щелочных пород и карбонатитов и подобного магматизма в целом в диссертации применяется не совсем удачное название «щелочно-карбонатитовый», особенно если помнить, что существует отдельный петрографический тип «щелочные карбонатиты». Конечно, на английском языке «carbonatite-alkaline magmatism» звучит более понятно.

2. В комплексе Мушугай-Худук как наиболее ранняя интрузивная фаза выделяются флогопитовые меланефелиниты. По минералогическому признаку обычно они классифицируются как породы, обогащенные модальным фельдшпатоидом. Предполагается, что в изученных разновидностях нефелин находится в тонкозернистой основной массе, однако точная диагностика не проводилась. На TAS-диаграмме большинство химических составов пород группируется в поле базанитов-тефритов. Возможно, при выборе терминологии, которой надо придерживаться в этом случае, не стоит отдавать своеобразную «дань» в пользу нефелинит-карбонатитовых вулканов Восточно-Африканского рифта. С другой стороны, рецензент согласен с тем, что считать тефритами практически бесполевошатовые породы было бы не совсем правильно.

3. Как понял рецензент, для петрологической модели комплекса Мушугай-Худук предполагается не только кристаллизационная дифференциация магмы, но и связанный с ней процесс 2-ступенчатой ликвации. После первоначального разделения части меланефелинитового расплава на карбонатитовую и «сиенитовую» фракции, от эволюционированного щелочного расплава произошло обособление жидкости, обогащенной железом и фосфором. В связи с этим возникает три вопроса. Во-первых, как при незначительном распространении меланефелинитов (судя по геологической схеме) ультраосновная магма смогла продуцировать такие значительные объемы сиенитов-трахитов-фонолитов. Во-вторых, какой состав имела гипотетическая

силикатная жидкость, сопряженная с Fe-P солевым расплавом и где локализованы ее сопоставимые по объему производные (см. стр. 87). В-третьих, насколько по времени отделены друг от друга стадии ликвации и хватить ли тепловой энергии для этого процесса. Ведь измеренные температуры гомогенизации 830–850°C расплавных микровключений свидетельствуют только о начале кристаллизации магнетит-апатитовых пород, а по данным изотопно-кислородного равновесия между флогопитом, апатитом и магнетитом температура самого расплава могла быть более 1000°C (табл. 14). Здесь отметим, что для неизмененных магнетит-апатитовых пород данные по $\delta^{18}\text{O}$ -равновесию с участием магнетита отсутствуют.

4. В породообразующих минералах наблюдаются заметные вариации значений $\delta^{18}\text{O} \sim 3\text{--}8.4 \text{ ‰}$. При генетической интерпретации изотопного состава автору важно было бы определиться, с какими факторами это связано. Вполне реальными выглядят следующие: (i) различная способность кристаллических решеток накапливать тяжелый ^{18}O , (ii) масштабы изотопного фракционирования в минеральном парагенезисе, температуры прекращения изотопного обмена, (iii) степень и характер коровой контаминации (поступление непосредственно в расплав, взаимодействие флюид-порода, участие вещества только на уровне микроэлементов или изотопов). Кстати, при моделировании взаимодействия CO_2 -водный флюид-карбонатит за изотопный C-O состав флюидной фазы принимались значения $\delta^{18}\text{O}$ (21.7 ‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (2.0 ‰) во вмещающих известняках. Однако на рис. 18, иллюстрирующем полученные результаты, видно, что флюид имеет заметно более «тяжелый» изотопный состав ($\delta^{18}\text{O} \sim 25 \text{ ‰}$, $\delta^{13}\text{C} \sim 4.0 \text{ ‰}$).

5. При формулировании защищаемых положений желательно конкретизировать новизну достигнутых результатов. Это способствовало бы лучшему пониманию авторской точки зрения.

Среди мелких замечаний отметим стиливые и терминологические неточности, обычно связанные с геологической интерпретацией (например, «верхнекарбонские известняки», «нижнепалеозойские бассейны», «ранний меловой период», см. стр. 28, 97) и др., погрешности в списке литературы; недопустимые в тексте на русском языке словосочетания типа «Andreeva et al. (1998) наблюдали ...», «Andreeva and Kovalenko (2003), изучая...», см. стр. 79, 86 и др.

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 Николенко Анна Михайловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

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



В. В. Врублевский

29 октября 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

