

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института геохимии

им. А.П. Виноградова СО РАН

Д.Г.-М.Н.

«14» октября 2021 г.

А.Б. Переселов

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Николенко Анны Михайловны “Петрогенезис и рудоносность щелочного комплекса Мушугай-Худук (Монголия)”, представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 - петрология, вулканология.

Проблемы формирования щелочных силикатных пород и щелочно-карбонатитовых магматических ассоциаций не одно десятилетие привлекают внимание петрологов и вулканологов всего мира. Геологические, геохронологические и изотопно-геохимические исследования таких ассоциаций представляет огромный научный интерес для понимания процессов, происходящих в глубинных геосферах, включая механизмы мантийно-корового взаимодействия, генерацию и эволюцию родоначальных щелочных магм и связанную с ними рудную минерализацию. Решению именно этих вопросов и посвящена диссертационная работа А.М. Николенко, в которой рассматривается позднемезозойский щелочной комплекс Мушугай-Худук (Южно-Монгольская провинция Центрально-Азиатского складчатого пояса), приведена характеристика источников вещества, обсуждается эволюция родоначальных расплавов и моделируется геодинамическая обстановка формирования комплекса.

Работа А.М. Николенко является, безусловно, **актуальной**, поскольку вносит существенный вклад в реконструкцию геологической истории развития складчатых поясов и несет уникальную информацию о процессах, протекающих в верхней мантии. **Научная новизна** исследования не вызывает сомнений. Автор исследования дает информацию о возрасте формирования щелочных силикатных пород и магнетит-апатитовых руд комплекса Мушугай-Худук, приводит новые данные по минеральному составу щелочных силикатных и магнетит-апатитовых пород, микроэлементному составу апатита из магнетит-апатитовых пород, составу расплавных и флюидных включений в апатитах из этих пород, отражающих эволюцию флюида. Впервые определены условия

гидротермального изменения и формирования РЗЭ минерализации магнетит-апатитовых руд. Эти данные позволяют охарактеризовать источники вещества и построить петрогенетическую модель формирования комплекса Мушугай-Худук, учитывая другие проявления щелочного карбонатитового магматизма в Центрально-Азиатском складчатом поясе (Западное Забайкалье и Центральная Тува).

Создание такой модели имеет **практическую значимость**, так как позволяет оценивать потенциальную рудоносность щелочных магм и связанных с ними поздних гидротермальных процессов.

В основу диссертационной работы А.М. Николенко положен **фактический материал**, собранный автором в ходе полевых работ в 2016 году. Приведенные в работе авторские $Ar-Ar$ геохронологические характеристики позволили уточнить время формирования пород комплекса Мушугай-Худук. Исходный материал, на котором основана работа, изучен с применением **новейших методов исследования** вещества различных геологических комплексов, включая рентгено-флуоресцентный анализ, метод ICP-MS, термобарогеохимические исследования, Рамановскую спектроскопию, масс-спектрометрические исследования (определение изотопного состава O и C в минералах, Sm и Nd в породах).

Работа А.М. Николенко состоит из введения, 8 глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 136 страниц. В работе содержится 25 рисунков и 16 таблиц. Список литературы включает 255 источников.

В Главе 1 “Состояние проблемы” приводятся сведения для различных щелочных провинций Земли, описаны типы породных ассоциаций и связанных с ними месторождений. Особое внимание уделяется обсуждению гипотез о происхождении высококалиевых магм, в том числе ассимиляции осадочных карбонатных пород, мантийному метасоматозу и гетерогенности мантии. В этой главе также приведена характеристика позднемезозойских щелочных карбонатитовых комплексов в Центрально-Азиатском складчатом поясе, включая результаты предшествующих исследований комплекса пород Мушугай-Худук. Эта информация необходима для понимания роли щелочного магматизма в геологической истории Земли.

Глава 2 “Геологическое строение комплекса Мушугай-Худук” посвящена характеристике геологических взаимоотношений породных комплексов Мушугай-Худук.

На основании проведенных исследований и анализа опубликованных данных автор выделил следующие типы пород:

- Вмещающие палеозойские осадки (песчаники, известняки, глинистые сланцы, алевролиты), вулканиты (туфы и лавы основного и среднего составов), грубообломочные

терригенные отложения и массивы гранитов, имеющих возраст от раннего девона до ранней перми, а также вулканы бимодальной риолит-базальтовой серии, возраст которых составляет 110-100 млн лет (Самойлов и Коваленко, 1983).

- Щелочные эффузивы: флогопитовые меланефелиниты, трахиты и фонолиты.

- Субвулканические породы: щелочные сиениты и шонкиниты. Щелочные сиениты – наиболее распространённые интрузивные породы комплекса Мушугай-Худук, самый крупный массив которых получил название «Главный массив» (Самойлов и Коваленко, 1983). Шонкиниты распространены локально в виде небольших даек мощностью до 5 м.

- Рудоносные породы, образующие штоки, жилы, дайки и минерализованные breccии магнетит-апатитовых и флюоритовых пород, а также карбонатитов. Флюоритовые породы распространены главным образом в восточной части комплекса и представлены сетью разнонаправленных протяженных жил (шириной 0,5–50 мм). Нередко встречаются и довольно крупные флюоритовые жилы длиной до 150 м и шириной до 10-30 см (Redina et al., 2020). Карбонатиты комплекса Мушугай-Худук встречаются как в виде карбонатитовых туфов и пирокластов с карбонатным цементом, так и в виде многочисленных жил и даек шириной от нескольких см до 1,5 м (Самойлов и Коваленко, 1983; Владыкин, 2013).

В главе 3 “Геохронология” показаны результаты геохронологического определения возраста флогопитовых меланефелинитов, щелочных сиенитов и магнетит-апатитовых пород комплекса Мушугай-Худук Ar-Ar методом по флогопиту и основной массе пород.

Возраст флогопитового меланефелинита равен 140.4 ± 2 млн. лет. Возрасты двух образцов щелочных сиенитов равны 133.6 ± 2.7 млн. лет и 139.2 ± 1.8 млн. лет. Возраст рудоносных магнетит-апатитовых пород равен 135.4 ± 3.4 млн. лет.

Приведены табличные данные и аргонограммы, которые не вызывают вопросов.

Глава 4,5,6 содержат фактический авторский материал и являются самыми объёмными среди всех глав диссертации.

В Главе 4 “Минералого-петрографическая характеристика пород комплекса Мушугай-Худук” приведены подробные петрографические сведения для всех типов пород комплекса Мушугай-Худук, табличные данные о составах минералов (флогопит, диопсид, фторапатит, магнетит, ильменит, гетит, гематит, монацит), микрофотографии и BSE изображения минеральных ассоциаций. В главе 5 “Петролого-геохимическая и изотопно-геохимическая характеристика пород комплекса Мушугай-Худук” представлены данные о содержаниях петрогенных и редких элементов в породах, редкоземельных элементов в апатитах из силикатных и магнетит-апатитовых пород комплекса, радиогенных (Sr, Nd, ^{238}U) и стабильных (O, C) изотопов в породах комплекса, изотопном составе кислорода в

минералах магнетит-апатитовых пород. В Главе 6 “Изучение расплавных и флюидных включений в апатите из магнетит-апатитовых пород” рассмотрены особенности трёх типов включений в апатите из магнетит-апатитовых пород (расплавные включения, рассол-расплавные и кристалло-флюидные включения разных генераций). Эти главы насыщены цветными рисунками, графиками высокого качества и всеми необходимыми табличными данными.

В Главе 7 “Экспериментальное моделирование гидротермальных процессов на примере апатита из магнетит-апатитовых пород” приведены результаты серии авторских экспериментов по растворению фторапатита в реакциях с сульфат- и хлорсодержащими солевыми растворами, что позволяет воссоздавать гидротермальные условия, влияющие на процессы растворения, а также перераспределения макро- и микроэлементов в апатите. Автор заключает, что H_2SO_4 в гидротермальном флюиде способствует самой высокой реакционной способности, позволяющей формировать новые минеральные фазы во фторапатите во время процессов растворения-переосаждения.

В Главе 8 “Обсуждение результатов” рассмотрены следующие вопросы:

- Возраст и длительность формирования комплекса Мушугай-Худук. Отмечено, что ранее породы комплекса Мушугай-Худук были датированы Самойловым и Коваленко (1983) К-Аг методом в очень широком возрастном интервале: от 179 до 121 млн. лет. Возраст флогопитовых меланефелинитов был определен в 144 млн. лет, шонкинитов – 148-138 млн. лет, щелочных сиенитов – 179-140 млн. лет, магнетит-апатитовых пород – 138-121 млн лет. В диссертации автор использовал более прецизионный Аг-Аг метод, что позволило максимально сузить ранее полученный интервал до 140-133 млн лет.

- Петрогенезис комплекса Мушугай-Худук. Автор отмечает, что высокие значения $Mg\#$, Ni и Cr во флогопитовых меланефелинитах по сравнению с другими щелочными силикатными породами комплекса Мушугай-Худук могут свидетельствовать о том, что флогопитовые меланефелиниты являются наименее дифференцированными породами комплекса, то есть наиболее близкими по геохимическим и изотопным характеристикам к первичным расплавам. Поведение основных компонентов и микроэлементов, несмотря на незначительную дискретность между флогопитовыми меланефелинитами и другими щелочными силикатными породами комплекса, указывает на то, что щелочные силикатные породы комплекса могли образоваться в результате дифференциации щелочно-ультраосновного родительского расплава с ранним осаждением клинопироксена, апатита и флогопита.

- Эволюция гидротермальных процессов в комплексе Мушугай-Худук (на примере магнетит-апатитовых пород). Установлена высокая активность сульфат-иона при

формировании магнетит-апатитовых пород. Отмечено, что данные по изотопному составу кислорода в магнетит-апатитовых породах комплекса Мушугай-Худук не показывают какого-либо существенного воздействия вмещающих пород, что, наряду с геохимическими данными и данными расплавных включений, подтверждает, что первичный меланефелиновый расплав был изначально обогащен серой и фосфором.

- Поведение РЗЭ в магнетит-апатитовых породах под воздействием гидротермальных процессов. Как показано на графиках распределения РЗЭ, нормированных к хондриту, концентрации РЗЭ в апатите увеличиваются в силикатных породах от шонкинитов до щелочных сиенитов, и наряду с этим увеличением в апатите появляется отрицательная Eu аномалия. Такая тенденция является результатом кристаллизационной дифференциации, отвечающей за фракционирование полевого шпата. Последующее увеличение концентраций РЗЭ уже в апатите из магнетит-апатитовых пород и сохранение отрицательной Eu аномалии подразумевает, что магнетит-апатитовые породы могут быть продуктами расплава, кристаллизующего щелочные сиениты. Дальнейшее увеличение концентраций РЗЭ в апатите из гидротермально измененных магнетит-апатитовых пород может быть связано с привнесом большого количества РЗЭ с гидротермальными растворами из источника, который не испытывал фракционирование полевого шпата. Возможным источником РЗЭ могут быть как вмещающие известняки и/или карбонатиты, так и щелочные силикатные породы комплекса (например, шонкиниты или флогопитовые меланефелиниты).

- Источники вещества и геодинамическая обстановка. Отмечается участие субдущированного компонента в составе первичного мантийного источника. Полученные изотопно-геохимические характеристики для пород комплекса Мушугай-Худук согласуются с геодинамической моделью региона в пределах Центрально-Азиатского складчатого пояса в мезозое при постепенном завершении Монголо-Охотской субдукции под Сибирский кратон.

- Типизация магнетит-апатитовых пород комплекса Мушугай-Худук. Автор указывает на то, что магнетит-апатитовые руды комплекса по петрологическим и минералого-геохимическим характеристикам наиболее близки к фоскоритам, либо к апатитовым рудам габбро-сиенитовой формации, но с некоторыми отличительными особенностями.

Несомненным достоинством диссертации является то, что в ней использован комплексный подход к решению петрологических задач. Этот подход включает в себя синтез геологической, петрографической и изотопно-геохимической информации, полученной автором и обсуждение с привлечением опубликованных ранее данных.

Рисунки и таблицы хорошего качества с указанием всех необходимых индексов с соответствующими пояснениями в подписях. Текст читается легко и не содержит грамматических ошибок.

Основываясь на изложенном материале, А.М. Николенко формулирует три защищаемых положения. Все они не вызывают сомнения. В то же время, необходимо отметить следующее:

Автор неоднократно упоминает, что серия щелочных пород образовалась в результате процесса фракционной кристаллизации. Учитывая, что это один из главных механизмов породо- и магмообразования, логично было бы этот вывод отметить и в защищаемых положениях.

Замечания:

1. На рисунке 3 отсутствует координатная сетка.
2. На рисунке 11 в названиях осей Rb должен быть по вертикали, Sm - по горизонтали.
3. На диаграммах Харкера больше фигуративных точек, чем аналитических данных в таблицах.
4. Автор указывает на понижение концентрации РЗЭ от флогопитовых меланефелинитов к шонкинитам-фонотефритам и щелочным сиенитам-трахитам. Как один из вариантов объяснения такой закономерности предлагается механизм разделения силикатной и карбонатной магм на стадии кристаллизации флогопитовых меланефелинитов (с.87). Это могло быть в том случае, если бы РЗЭ концентрировались в карбонатном расплаве. Действительно, такое явление описала Андреева с соавторами, изучая расплавные включения в минералах щелочных силикатных пород. Об этом говорит сам автор диссертации на странице 92. В то же время, наблюдения автора и многочисленные публикации (Баскина и др., 1978; Онтеев и др., 1979; Самойлов, Коваленко, 1983) свидетельствуют о том, что карбонатиты комплекса Мушугай-Худук не содержат значительной РЗЭ минерализации (стр. 92). Это противоречие необходимо объяснить.

Эти замечания являются дискуссионными и рекомендательными и не снижают научную ценность работы А.М. Николенко.

Собственный геологический материал соискателя, комплекс использованных современных методов исследования вещества позволяет характеризовать диссертацию как научный труд, внесший значительный вклад в решение проблемы эволюции щелочных магм. Исследования А.М. Николенко, касающиеся состава гидротермальных растворов на

примере магнетит-апатитовых руд комплекса имеют важное значение при оценке перераспределения рудных компонентов в щелочных силикатных и карбонатных системах. Актуальность темы исследований и высокий научный уровень, показанный автором, позволяют говорить о том, что рассматриваемая рецензируемая работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям. Основные результаты исследований, позволившие сформулировать защищаемые положения, опубликованы в зарубежных научных журналах и российских периодических изданиях, рекомендованных ВАК. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы. Ее автор, Николенко Анна Михайловна, несомненно, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 - петрология, вулканология.

Воронцов Александр Александрович
доктор геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник ИГХ СО РАН

Я, Воронцов Александр Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



13 октября 2021 г.

Подпись д.г.-м.н. Воронцова, д.г.-м.н. заверяю

Начальник Отдела кадров ИГХ СО РАН

13 октября 2021 г.



Л.Н. Одареева

Отзыв на диссертационную работу Николенко Анны Михайловны рассмотрен и принят в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета ИГХ СО РАН от 13 октября 2021 г., Протокол № 10.

Председатель Ученого совета ИГХ СО РАН,

д.г.-м.н.



А.Б. Перепелов

Секретарь Ученого совета ИГХ СО РАН,

к.х.н.



И.Ю. Пархоменко