

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.050.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19.11.2021 г. № 03/12

О присуждении Николенко Анне Михайловне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Петрогенезис и рудоносность пород щелочного комплекса Мушугай-Худук (Южная Монголия)»** по специальности 1.6.3 – «петрология, вулканология» принята к защите 13.09.2021 г. (протокол № 03/8) диссертационным советом 24.1.050.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3), приказ МИНОБРНАУКИ России № 561/нк от 03.06.2021 г.

Соискатель Николенко Анна Михайловна, 1982 года рождения, в 2006 году окончила магистратуру естественно-технического факультета Мурманского государственного технического университета (Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет») по специальности 130100.68 «Геология и разведка полезных ископаемых». Обучалась в аспирантуре Мурманского государственного технического университета с 2006 по 2008 год. Работает младшим научным сотрудником в ФГБУН Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории рудоносности щелочного магматизма (№ 215) ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – Анна Геннадьевна Дорошкевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией рудоносности щелочного магматизма ФГБУ Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

Официальные оппоненты: Плечов Павел Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология», профессор Геологического факультета Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова, профессор РАН, директор Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана (119071, Москва, Ленинский пр. 18, к. 2); **Врублевский Василий Васильевич**, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология», заведующий кафедрой динамической геологии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского Государственного университета (634050, Томск, пр. Ленина 36, НИ ТГУ) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии Наук, г. Иркутск в своём положительном заключении, подписанном

Воронцовым Александром Александровичем, доктором геолого-минералогических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма **указала**, что выполненная А.М. Николенко диссертационная работа является законченным исследованием, которое вносит существенный вклад в решение проблемы эволюции щелочных магм. Отмечено, что представленная диссертационная работа А.М. Николенко выполнена на высоком профессиональном уровне и отвечает квалификационным требованиям Положения ВАК о присуждении ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.6.3. – «Петрология, вулканология».

Соискатель имеет 14 **опубликованных работ**, в том числе по теме диссертации 7 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Nikolenko A. M., Doroshkevich A. G., Ponomarchuk A. V., Redina A. A., Prokopyev I. R., Vladykin N. V., Nikolaeva I. V. Ar-Ar geochronology and petrogenesis of the Mushgai-Khudag alkaline-carbonatite complex (southern Mongolia) // *Lithos*, 2020, 372-373.
2. Nikolenko A., Redina A., Doroshkevich A., Prokopyev I., Ragozin A., Vladykin N. The origin of magnetite-apatite rocks of Mushgai-Khudag Complex, South Mongolia: mineral chemistry and studies of melt and fluid inclusions // *Lithos*, 2018, v. 320-321, 567-582.
3. Redina A.A., Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Wohlgemuth-Ueberwasser C., Vladykin N.V. Conditions for the crystallization of fluorite in the Mushgai-Khudag complex (Southern Mongolia): Evidence from trace element geochemistry and fluid inclusions // *Geochemistry*, 2020, v. 80, is. 4, 125666
4. Nikolenko E. I., Lobov K. V., Agashev A. M., Tychkov N. S., Chervyakovskaya M. V., Sharygin I. S., Nikolenko A. M. 40Ar/39Ar Geochronology and New Mineralogical and Geochemical Data from Lamprophyres of Chompolo Field (South Yakutia, Russia) // *Minerals*, 2020, v. 10(10), 886.
5. Doroshkevich A. G., Chebotarev D. A., Sharygin V. V., Prokopyev I. R., Nikolenko A. M. Petrology of alkaline silicate rocks and carbonatites of the Chuktukon massif, Chadobets upland, Russia: Sources, evolution and relation to the Triassic Siberian LIP // *Lithos*, 2019, v. 332-333, 245-260.
6. Prokopyev I.R., Doroshkevich A.G., Sergeev S.A., Ernst R.E., Ponomarev J.D., Redina A.A., Chebotarev D.A., Nikolenko A.M., Dultsev V.F., Moroz T.N., Minakov A.V. Petrography, mineralogy and SIMS U-Pb geochronology of 1.9-1.8 Ga carbonatites and associated alkaline rocks of the Central-Aldan magnesiocarbonatite province (South Yakutia, Russia) // *Mineralogy and Petrology*, 2019, v.113, is. 3, 329-352.
7. Arzamastsev A. A., Arzamastseva L. V., Travin A. V., Belyatsky B. V., Shamatrina (Nikolenko) A. M., Antonov A. V., Sergeev S. A. Duration of formation of magmatic system of polyphase Paleozoic alkaline complexes of the central Kola: U-Pb, Rb-Sr, Ar-Ar data // *Doklady Earth Sciences*, 2017, v. 413, 2, 432-436.

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов (все положительные, из них 3 без замечаний) от:

- 1) **Арзаматцева А.А.**, д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника ФГБУН Института геологии и геохронологии докембрия РАН; 2) **Асавина А.М.**, к.г.-м.н., научного сотрудника лаборатории геохимии и рудоносности щелочного магматизма ФГБУН Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН; 3) **Донской Т.В.**, д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории палеогеодинамики ФГБУН

Института земной коры СО РАН; 4) **Избродина И.А.**, к.г.-м.н., заведующего лабораторией петрологии ФГБУН Геологического института СО РАН; 5) **Козлова Е.Н.**, к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории минералогии Арктики Геологического института – обособленного подразделения ФГБУН Федерального исследовательского центра «КНЦ РАН»; 6) **Кривдика С.Г.**, д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Института геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновского НАНУ; 7) **Михайловой Ю.А.**, к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника Геологического института – обособленного подразделения ФГБУН Федерального исследовательского центра «КНЦ РАН»; 8) **Орсоева Д.А.**, к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории геодинамики ФГБУН Геологического института СО РАН; 9) **Толстова А.В.**, д.г.-м.н., директора Научно-исследовательского геологического предприятия АК «Алроса»; 10) **Никифорова А.В.**, д.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории редкометального магматизма ФГБУН ИГЕМ РАН; 11) **Удодатиной О.В.**, к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории петрографии ИГ ФИЦ Коми НЦ Уро РАН.

В отзывах отмечается высокий уровень выполненных исследований, ясность изложения материала, аргументированность сделанных выводов, применение обширного набора современных методов изучения вещества. Полученные результаты, несомненно, являются актуальными и новыми не только для рассмотрения проблемы генезиса щелочного комплекса Мушугай-Худук, но и вносят существенный вклад в общее понимание процессов эволюции щелочного магматизма – от источников вещества до влияния поздних гидротермальных процессов на рудоносность щелочно-карбонатитовых комплексов. К несомненным достоинствам работы относится также получение новых данных по геологии, геохимии, минералогии, изотопии; выполнение экспериментальных исследований по переносу РЗЭ в гидротермальных растворах; построение количественных геохимических моделей формирования карбонатитов; оценка характера мантийных источников магматических пород.

Основные замечания и комментарии касаются: 1) возраста пород, которые были использованы для формулировки первого защищаемого положения (Донская Т.В.); 2) уточнения Р-Т параметров образования пород и руд комплекса по изотопным и минеральным термометрам (Избродин И.А.); 3) ставится вопрос о возможности использования изотопно-геохимического моделирования по модели AFC, применимой только для образцов с ненарушенными Rb-Sr и Sm-Nd системами (Козлов Е.Н.); 4) ставится вопрос о переносе и переотложении РЗЭ в апатите из магнетит-апатитовых руд, которые могут быть связаны с преобразованием первичного апатита, обогащенного РЗЭ и кремнезёмом (Кривдик С.Г.); 5) уместность классификации новообразованного минерала как монацита-Се, т.к. изначально монацит – это и есть фосфат РЗЭ цериевой группы (Толстов А.В.); 6) неточность в использовании термина «ликвация» (Орсоев Д.А.); 7) отмечается недостаточность описания геологического строения комплекса, необходимость обосновать отсутствие агпайтовых составов в серии силикатных пород, ставится вопрос о корректности выбора для экспериментов состава раствора, содержащего сульфат лантана, а не карбонатов редких земель (Асавин А.В.); 8) неясны условия привноса РЗЭ в магнетит-апатитовые породы; не обсуждаются различия в оценках возраста отдельных образцов сиенитов; отмечено, что при расчетах температур изотопного равновесия необходимо учитывать погрешности измерения изотопного состава (Никифоров А.В.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Плечов П.Ю. и Врублевский В.В. являются высококвалифицированными специалистами в области петрологии щелочно-карбонатитовых комплексов. Оппоненты имеют целый ряд публикаций в соответствующей диссертационной работе сфере исследования и способны объективно оценить данную работу.

Выбор ведущей организации (ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН) обосновывается тем, что она имеет структурные подразделения, направление научно-исследовательской деятельности которых полностью соответствуют тематике диссертации (лаборатория геохимии щелочных пород, лаборатория основного и ультраосновного магматизма). Специалисты лаборатории могут объективно и аргументированно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **разработана** петрогенетическая модель формирования комплекса Мушугай-Худук; **доказано** формирование щелочных пород и магнетит-апатитовых руд комплекса Мушугай-Худук в раннемеловое время; **установлены** изотопные индикаторы формирования родительских расплавы комплекса Мушугай-Худук из метасоматизированной литосферной мантии; **предложены** критерии для обоснования связи магнетит-апатитовых руд комплекса с эволюцией щелочного сиенитового расплава.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что **доказаны** следующие положения:

1. 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.

2. Родительские расплавы комплекса Мушугай-Худук образовались из изотопно неоднородного источника литосферной мантии, метасоматизированного субдуцированным веществом.

3. 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).

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов: геологических, микрорентгеноспектральных, минералогических, геохимических, экспериментальных, изотопно-геохронологических и изучение расплавных и флюидных включений. В процессе работы **выполнено** 45 определений петрогенных элементов в породах (метод РФА), 30 определений редкоэлементного состава (ICP-MS; атомно-эмиссионный метод и метод пламенной атомно-эмиссионной спектроскопии), 23 анализа Sm-Nd изотопного состава пород, 16 – определений Rb-Sr изотопного состава пород, 7 Pb-Pb изотопных анализов пород, 5 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопных датировок пород, получено более 300 анализов минералов методом рентгеноспектрального микроанализа (EMPA) и более 500 анализов методом

сканирующей электронной микроскопии, 6 анализов определения изотопного состава кислорода и углерода в кальцитах, 30 анализов изотопного состава кислорода в минералах (оксиды, фосфаты и силикаты), 90 анализов концентраций микроэлементов в апатите методом лазерной абляции.

В диссертационной работе **обобщены** имеющиеся и получены новые данные по геологической позиции, минералого-петрографическим особенностям, геохимическим и изотопным характеристикам пород щелочного комплекса Мушугай-Худук; экспериментально **определены** условия гидротермального изменения и формирования РЗЭ минерализации магнетит-апатитовых руд; с помощью методов рамановской спектроскопии **был впервые идентифицирован** минерал фосфосидерит, частично или полностью замещающий апатит в измененных магнетит-апатитовых породах; экспериментально **установлено**, что растворимость и перекристаллизация апатита из магнетит-апатитовых руд непосредственно связана с воздействием SO_4 -обогащенного флюида; была **дана** характеристика источников вещества, **проведено** сравнение комплекса Мушугай-Худук с другими проявлениями щелочного карбонатитового магматизма в ЦАСП (Западное Забайкалье и Центральная Тува).

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что новые возрастные данные для комплекса Мушугай-Худук могут быть использованы для уточнения легенд Гостгеолкарт, схем корреляции и оценки геодинамических условий формирования; а анализ поведения редких и рудных элементов в процессе гидротермальных изменений магнетит-апатитовых руд и результаты экспериментального моделирования могут быть использованы для разработки эффективных технологических схем извлечения рудных компонентов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для определения состава породообразующих и акцессорных минералов был использован метод рентгеноспектрального микроанализа на базе Центра коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (ЦКП ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Диагностика акцессорных минералов проводилась с помощью сканирующей электронной микроскопии (ЦКП ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Содержания петрогенных компонентов определены методом РФА, редких элементов – методом индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием (ICP-MS) (НГУ, ЦКП ИГМ СО РАН, г. Новосибирск). Rb-Sr изотопные исследования выполнены по валовым пробам в ЦКП ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), Sm-Nd - в Геологическом институте Кольского научного центра РАН (г. Апатиты), Pb-Pb – в ЦИИ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Определение возраста пород $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопным методом по слюдам и основной массе пород проводилось в ЦКП ИГМ СО РАН. Определение изотопного состава кислорода и углерода в кальцитах выполнено в ЦКП ИГМ СО РАН, изотопного состава кислорода в минералах (оксиды, фосфаты и силикаты) - в Геологическом институте СО РАН (г. Улан-Удэ). Экспериментальное изучение устойчивости апатита в реакциях с гидротермальными флюидами было выполнено на базе научного центра GFZ (г. Потсдам, Германия).

Теория построена на результатах исследования геологического строения, возраста и изотопно-геохимических характеристиках пород Мушугай-Худук, а также на особенностях минерального состава магнетит-апатитовых руд комплекса. **Идеи**

диссертации базируются на известных моделях формирования позднемезозойских щелочно-карбонатитовых комплексов в Центрально-Азиатском складчатом поясе, а также на результатах петрологических и экспериментальных исследований образования магнетит-апатитовых месторождений [Никифоров и др., 2004; Рипп и др., 2009; Doroshkevich et al., 2010, 2016; Дорошкевич, 2013; Nikiforov and Yarmolyuk, 2019; Kovalenko et al., 2004; Кузьмин и Ярмолук, 2014; Сальникова и др., 2010; Prokopyev et al., 2016; Владыкин, 2005, 2013; Kynicky and Chakhmouradian, 2011; Charlier et al., 2008; Duchesne and Liégeois, 2015; Force, 1991 Кухаренко и др., 1965; Zaitsev and Bell, 1995; Dunworth and Bell, 2001; Krasnova et al., 2004; Wall and Zaitsev, 2004 и другие]. Для сравнительной характеристики **использованы** результаты исследования позднемезозойских карбонатитовых комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса [Doroshkevich et al., 2010, 2016; Сальникова и др., 2010; Prokopyev et al., 2016; Nikiforov and Yarmolyuk, 2011], а также изучения особенностей перераспределения и отложения рудных компонентов в апатите в результате воздействия поздних гидротермальных флюидов [Harlov et al., 2004, 2006; Рипп и др., 2009]. **Установлена** согласованность результатов исследования соискателя с данными по геологическому строению и петрологии позднемезозойских щелочно-карбонатитовых комплексов ЦАСП. Полученные данные являются научно-обоснованными и фактологически аргументированными. **Использованы** необходимые методики пробоотбора и пробоподготовки. Соискателем были **изучены** образцы горных пород, отобранных лично в ходе полевых работ (более 85 образцов), было изучено и описано более 100 прозрачно-полированных шлифов и 20 полированных пластинок. Из проб выделено около 40 монофракций породообразующих минералов для проведения аналитических исследований.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в экспедиционных работах, отборе образцов и пробоподготовке для аналитических исследований. Соискателем самостоятельно проведено комплексное минералого-петрографическое исследование и детальное изучение минералогических особенностей силикатных пород и магнетит-апатитовых руд комплекса Мушугай-Худук, выполнена обработка аналитических данных, а также разработана петрогенетическая модель формирования комплекса. Совместно с соавторами проведена интерпретация полученных данных, написаны тексты статей, тезисов и материалов конференций.

На заседании 19.11.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Николенко А.М. учёную степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.6.3, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0.

Председатель

диссертационного совета, д.г.-м.н.

Учёный секретарь

диссертационного совета, д.г.-м.н.

22.11.2021



А.Э. Изох

О.М. Туркина