

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

СТЕНОГРАММА

Заседания диссертационного совета Д 002.122.01
при Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и
геохимии Российской академии наук

от 15 октября 2020 года

Защита кандидатской диссертации Холиной Натальи Викторовны на тему:
**«Неоархейский высококремнистый магматизм Курского блока Восточной
Сарматии: геохимия, геохронология, петрология»**
на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по
специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

Москва, 2020 г.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВУЮЩИЙ – председатель диссертационного совета доктор геолого-минералогических наук, член-корр. РАН, Юдинцев Сергей Владимирович.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ диссертационного совета – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Андреева Ольга Андреевна.

Присутствовали члены Диссертационного совета:

Фамилия И.О.	Ученая степень, шифр специальности в совете
Юдинцев С.В.	чл.-корр. РАН, 25.00.36
Бортников Н.С.	академик РАН, 25.00.09
Андреева О.А.	к.г.-м.н., 25.00.04
Аранович Л.Я.	чл.-корр. РАН, 25.00.04
Арискин А.А.	д.г.-м.н., 25.00.09
Борисов А.А.	д.г.-м.н., 25.00.09
Борисов М.В.	д.г.-м.н., 25.00.09
Гирнис А.В.	д.г.-м.н., 25.00.04
Дубинина Е.О.	д.г.-м.н., 25.00.09
Кочкин Б.Т.	д.г.-м.н., 25.00.36
Луканин О.А.	д.г.-м.н., 25.00.09
Мальковский В.И.	д.г.-м.н., 25.00.36
Носова А.А.	д.г.-м.н., 25.00.04
Петров В.А.	д.г.-м.н., 25.00.36
Прокофьев В.Ю.	д.г.-м.н., 25.00.09
Пэк А.А.	д.г.-м.н., 25.00.36
Сафонов О.Г.	д.г.-м.н., 25.00.04
Самсонов А.В.	чл.-корр. РАН, 25.00.04
Шарков Е.В.	д.г.-м.н., 25.00.04
Ярмолюк В.В.	академик, 25.00.04

Юдинцев С.В.:

Итак, мы начинаем второе наше вечернее заседание. Мы рады, что мы стали так более многочисленны. Ведь на первом заседании было 19 человек при кворуме 18, а сейчас нас 20. И все условия для того, чтобы наше собрание было

правомочным, мы опять соблюли. По регламенту нашего заседания я зачитываю название диссертации. Автор-соискатель работы – Холина Наталья Викторовна. Диссертация «Неоархейский высококремнистый магматизм Курского блока Восточной Сарматии: геохимия, геохронология, петрология». Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Работа выполнена на кафедре полезных ископаемых и недропользования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Воронежский государственный университет (ФГБОУ ВО ВГУ). Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук Савко Константин Аркадьевич, Воронежский государственный университет, профессор, заведующий кафедрой полезных ископаемых и недропользования. Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук Щипанский Андрей Анатольевич, Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), главный научный сотрудник, заведующий лабораторией тектоники раннего докембрия; кандидат геолого-минералогических наук Щекина Татьяна Игоревна, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), кафедра петрологии и вулканологии, ведущий научный сотрудник; ведущая организация – Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук (ИГГД РАН). Пожалуйста, личное дело соискателя.

Андреева О.А.:

Холина Наталья Викторовна родилась 7 февраля 1983 года в городе Геленджик Краснодарского края. С 2000 г. по 2006 г. проходила обучение в Воронежском государственном университете на геологическом факультете. В 2006 году закончила Воронежский государственный университет с дипломом «Магистр геологии» по направлению «Геология». В 2018 году окончила аспирантуру Воронежского государственного университета по направлению «Петрология, вулканология». С 2006 года по настоящее время Наталья Викторовна работает в Научно-исследовательском институте Геологии при Воронежском государственном университете в отделе метаморфизма, магматизма и рудопроявления в должности ведущего инженера. С 2007 года по настоящее время

является преподавателем кафедры полезных ископаемых и недропользования геологического факультета ВГУ.

Бортников Н.С.:

А можно сказать? Сколько работ опубликовано по теме диссертации, и в каких журналах?

Юдинцев С.В.:

Как написано в автореферате, по теме диссертации опубликовано 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, в том числе две из них - Серия Геология, ВГУ, и одна - Precambrian Research. 2016, 2018, 2019 года. И в других изданиях еще 6 публикаций.

Бортников Н.С.:

Все нормально. Спасибо.

Юдинцев С.В.:

Других вопросов нет? Тогда, Наталья Викторовна, вам слово.

Холина Н.В.:

Здравствуйте уважаемый Диссертационный совет и председатель совета.

Излагает основные положения и выводы диссертации (доклад прилагается).

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Вопросы докладчику.

Бортников Н.С.:

Покажите первое защищаемое положение. Что вы вкладываете в термин «одновременно» образовались риолиты и граниты? Как вы понимаете это слово?

Холина Н.В.:

Я понимаю «синхронно», т.е. у них близкий возраст. Можно назвать и одновременно, и синхронно, просто у них датировки одинаковые и совпадают.

Бортников Н.С.:

Какие датировки?

Холина Н.В.:

2612 млн л., 2606 млн л. и 2611 млн л.

Бортников Н.С.:

Вы видите, что у вас, вот смотрите, вы даете ± 10 млн лет, ± 6 млн лет. Это значит у вас датировка, а возраст?

Холина Н.В.:

Я предполагаю возраст 2,61 млрд лет.

Бортников Н.С.:

Т.е. вы вот так вот миллионами лет, ± 10 млн лет, вам надо одновременно. Да?

Холина Н.В.:

Я предполагаю, что они локально проявлены. Возможно, этот термин не надо было бы использовать. Т.е. предполагается, что у них временной интервал примерно одинаковый.

Бортников Н.С.:

Вообще-то современные исследования показывают, что геологические процессы вообще не происходят одновременно. И сейчас датирование современных процессов проводится с точностью до тысяч лет. Это вам на будущее.

Холина Н.В.:

Хорошо. Спасибо.

Юдинцев С.В.:

Еще вопросы?

Шарков Е.В.:

Вот, скажите, пожалуйста. Вы сказали, что у вас в гранитах калий преобладает над натрием. Но, вот то, что вы говорили, исходный материал для плавления гранитов не содержит калия. Откуда тогда калий в гранитах?

Холина Н.В.:

В том образце, который определялся – метапелитовый гранулит, он высококалиевый, у него до 6,5 мас.% калия. И содержание калия в расплаве зависит от степени плавления. Предполагается, что степень плавления была до 20 %. Т.е. могли все-таки формироваться расплавы с повышенным содержанием калия.

Шарков Е.В.:

Т.е. эти ваши граниты совпадали с областью распространения калиевых гранулитов?

Холина Н.В.:

Получается, да. Метапелитовые гранулиты тоже были обогащены калием.

Шарков Е.В.:

Понятно.

Юдинцев С.В.:

Представляйтесь, пожалуйста, перед вопросом.

Мальковский В.И.:

Будьте добры, покажите 20 слайд. У вас в левом нижнем углу график приведен - гистограмма, и на нем красная кривая. Вот что это за кривая, какое распределение?

Холина Н.В.:

Данная гистограмма построена программой. Понимается, что по наиболее распространенным количествам определений температуры 800-850°C. Т.е. это просто интерпретация самой программы.

Мальковский В.И.:

А кривая откуда взялась? Какое распределение?

Холина Н.В.:

Количество образцов – температура.

Мальковский В.И.:

Нет. Кривая – это какая-то функция этой вашей температуры. Вот, что это за функция? Нормальная, логнормальная, какая?

Холина Н.В.:

Нормальная.

Мальковский В.И.:

Нормальная? Ну, понимаете какое дело? Я не случайно спросил, потому что нормальная будет для распределения, когда у нас аргумент имеется от $-\infty$ до $-\infty$. А температура отрицательной быть не может. Ладно, хорошо.

Юдинцев С.В.:

Еще вопросы?

Дубинина Е.О.:

Скажите, пожалуйста. Вот у вас очень серьезные выводы базируются на определении температуры. Вы получили высокие температуры для гранитов. А проверяли какими-нибудь другими методами вашу термометрию по «Ti в цирконе»? Потому что на самом деле не всегда корректно эти термометры могут

сработать. Не было ли у вас попыток или каких-нибудь работ, связанных с дополнительной проверкой температуры кристаллизации?

Холина Н.В.:

К сожалению, мы использовали только эти два геотермометра.

Дубинина Е.О.:

Спасибо.

Петров В.А.:

Я прошу прощения. Я задам вопрос, но если я где-то ошибаюсь, как я понял, то вы меня поправьте, пожалуйста. Я пытался записывать, значит источник риолитов с возрастом где-то 3,6 млрд лет. Собственно формирование самих риолитов 2,6 млрд лет. Т.е. разница между ними, между источником и извержением риолитов, 1 млрд лет. Вот у меня вопрос такой, за этот миллиард лет общая геодинамическая ситуация поменялась или нет и каким образом?

Холина Н.В.:

Конечно, поменялась.

Петров В.А.:

Каким образом, что произошло?

Холина Н.В.:

У нас, во-первых, произошла стабилизация Курского блока, архейской коры как таковой. Во-вторых, на уровне 2,8 млрд лет был проявлен высокотемпературный гранулитовый метаморфизм. Произошло заложение рифтогенных структур – зеленокаменных поясов второго порядка. И уже потом было излияние наших вулканитов.

Петров В.А.:

Т.е. такая довольно длительная и серьезная перестройка?

Холина Н.В.:

Да.

Петров В.А.:

Хорошо, спасибо большое. И второй вопрос, если позволите? Все-таки я хотел бы услышать практическую значимость работы.

Холина Н.В.:

Практическая значимость работы, на мой взгляд, очень важна при построении геологических, тектонических карт. Потому что предполагается завершающий этап, т.е. у нас данные породы сформировались на границе между археем и протерозоем. Плюс мы можем проводить корреляции с другими древними областями и континентами. Вот то, что я рассказывала. Мегаблок Сарматия ранее принадлежал континенту Ваалбара. Т.е. по корреляционным схемам, по условиям образования можно коррелировать с другими древними кратонами.

Петров В.А.:

Тогда еще один вопрос. Покажите, пожалуйста, слайд, где у вас разрезы. Вот в левой части. Желтое – это кварцевые протерозойские породы? Скажите, каким-то образом они имеют какой-то тип?

Холина Н.В.:

Какую скважину вы имеете в виду?

Петров В.А.:

Ну, вот эта, самая левая, скважина 6064. Там конгломераты? Там минерализация какая-нибудь есть?

Холина Н.В.:

Да, там золоторудные конгломераты.

Петров В.А.:

Хорошо, спасибо.

Бортников Н.С.:

А не могли бы вы сказать, какими методами вы пользовались? Вы не сказали в докладе и у вас это не написано в автореферате.

Холина Н.В.:

Методы изучения вещества?

Бортников Н.С.:

Какие методы, какой прибор?

Холина Н.В.:

Микрозондовый анализ использовался. Т.е. изучались составы минералов непосредственно с использованием микрозондового анализа. Проводили геохронологические исследования – определялся U-Pb возраст циркона. Sm-Nd и

Lu-Hf изотопные системы. В Ярославле определяли параметры по термобарометрии – рассчитывались содержания Ti в кварце и цирконе.

Бортников Н.С.:

Простите меня ради Бога, вот как, каким методом вы определяли содержание титана в кварце?

Холина Н.В.:

В кварце? Во-первых, мы использовали специальное оборудование. За счет того, что кремний замещается титаном, мы смотрели и выбирали те образцы, вкрапленники кварца которых содержали рутил. Сам по себе анализ предполагал, что при анализировании содержания титана, мы не будем попадать в иголки рутила. Соответственно, один образец кварца у нас был с повышенным содержанием титана, другой – с пониженным. Т.е. мы это проследить хотели, такие корреляции.

Бортников Н.С.:

Так какой метод вы использовали? Там вы сказали – рентгеноспектральный анализ вы использовали. А титан вы тоже рентгеноспектральным методом определяли?

Холина Н.В.:

Затрудняюсь ответить.

Гирнис А.В.

Вот у вас во втором защищаемом положении вывод такой делается, что у вас происходило плавление в равновесии с Орх-Pl реститом. Правда, дальше написано, что рестит был Пm-Vt-Орх-Pl-ым. А вот отсутствие кварца в рестите вы как обосновывали?

Холина Н.В.:

Вот эта вот ассоциация Орх-Pl-Vt-Пm была взята исходя из экспериментальных данных, которые проводились в работе (Patino Douce et al., 1997). По теоретическому моделированию. Соответственно использовалась именно данная ассоциация минералов. Поэтому кварц здесь не учитывался.

Гирнис А.В.

Нет, вопрос в чем, почему там не мог быть кварц?

Холина Н.В.:

Об этом, мне кажется, очень сложно судить, тем более в промежуточных камерах мы не можем утверждать, что кристаллизовался магматический кварц.

Луканин О.А.:

У меня два вопроса. Первый вопрос – вы сказали, что выплавление происходило на небольших глубинах, меньше 4 кбар давления. Т.е. это глубины порядка 10 км?

Холина Н.В.:

Ну, где-то 7-10 км.

Луканин О.А.:

Хорошо. Тогда на какой глубине формировались гранитные интрузии?

Холина Н.В.:

До 7 км.

Луканин О.А.:

Это можно как-то реконструировать?

Холина Н.В.:

Я пыталась конструкцию какую-то отрисовать. Если мы предполагаем давление кристаллизации 2,5-2,6 кбар, соответственно, глубина формирования была не более 7 км, т.е. это близповерхностные расплавы.

Луканин О.А.:

А интрузии какой формы?

Холина Н.В.:

Интрузии неправильной формы. Т.е. это не штоки, не дайки.

Луканин О.А.:

А второй вопрос – продолжение вопроса, который уже прозвучал - «откуда калий?». Он связан с тем, что, как вы во вступлении справедливо написали «начиная с мезоархея, это эпоха возникновения высококалиевого магматизма». Судя по вашему ответу и вашей работе, все сводится к тому, что образуются высококалиевые гранулиты. Как ваша работа имеет отношение к этой проблеме? Почему именно в мезоархее начинает проявляться высококалиевый магматизм и т.д.?

Холина Н.В.:

В данной ситуации плавилась разновозрастные породы и разные по составу породы. Метапелитовые гранулиты сами по себе не характеризуются повышенными содержаниями калия, для архея это не характерно. Но тот образец, с которым мы моделировали данный расплав, проводили эксперимент, он характеризовался повышенным содержанием калия. Повышенное содержание я думаю связано с разной степенью плавления вещества, которое было в пределах верхней коры.

Юдинцев С.В.:

Еще вопросы. Представьтесь, пожалуйста.

Сафонов О.Г.:

Вот, граниты типа-А обычно низкоглиноземистые, а у вас граниты лежат в достаточно высокоглиноземистой области. И риолиты туда вытягиваются. С чем это связано? Это связано с примесью метапелитового материала, который вы предполагаете?

Холина Н.В.:

Да, я думаю, что это действительно за счет привноса глиноземистого вещества из метапелитового гранулита.

Сафонов О.Г.:

Ну, тогда рассматривая условия зарождения этих магм, вы пишете о рестите и ссылаетесь на работу по плавлению тоналитов и гранодиоритов, при этом вы говорите, что состав у вас был комбинированный. Можно ли сравнивать вот эти эксперименты с тем, что вы предполагаете? Все-таки там метапелитового материала достаточно много. Там рестит мог быть и совершенно другой.

Холина Н.В.:

Да, я поняла.

Сафонов О.Г.:

Я еще прошу прощение, сразу еще один вопрос. А вот ТТГ какие? Потому что ТТГ тоже разные могут быть – есть биотитовые, есть биотит-амфиболовые ТТГ.

Холина Н.В.:

Биотитовые. По поводу составов этого расплава. Почему мы использовали эти источники. Мы решили проверить теоретическое моделирование и провести

эксперимент. Был взят петапелитовый гранулит с Курско-Бесединского блока и ТТГ-гранитоиды, находящиеся рядом с нашими конкретными участками. И переплавили данные породы в Черноголовке. И получили точно такой же по составу расплав, как у природных риолитов и гранитов, с таким же содержанием петрогенных окислов. Содержание на редкоземельные элементы, к сожалению, мы не успели определить к защите. Они будут к концу октября измерены. Чтобы проследить, действительно ли все также идентично как в теоретическом моделировании.

Сафонов О.Г.:

А с кем вы плавил?

Холина Н.В.:

С Марией Новиковой.

Юдинцев С.В.:

Еще поросы. Не вижу больше вопросов. У меня вопрос о пространственном соотношении гранитов и риолитов, оно где-то наблюдалось?

Холина Н.В.:

Только конкретно на данном участке, который показан на карте. Именно здесь. У нас ведь есть две рифтогенные структуры. Если брать Белгородско-Михайловскую структуру, то там совершенно отсутствуют данные образования. Т.е. кислые породы присутствуют только в пределах Тим-Ястребовской структуры на данном локальном участке.

Юдинцев С.В.:

Для моего образования ТТГ-граниты это что такое, как расшифровывается?

Холина Н.В.:

Тоналит-трондьемит-гранодиоритовые комплексы.

Юдинцев С.В.:

Спасибо за доклад. Теперь мы передаем слово научному руководителю.

Андреева О.А.:

Я зачитаю отзыв научного руководителя, т.к. он не смог присутствовать сегодня.

Зачитывает отзыв научного руководителя (отзыв прилагается).

Юдинцев С.В.:

Вопросы задать научному руководителю мы не можем при всем желании. Поэтому переходим к вопросам всех отзывов, кроме отзывов официальных оппонентов.

Андреева О.А.:

Зачитывает отзыв организации, где была выполнена работа (отзыв прилагается).

Это было заключение организации, где выполнялась работа. Далее отзыв ведущей организации о диссертации Холиной Натальи Викторовны.

Зачитывает отзыв ведущей организации (отзыв прилагается).

Сразу же я зачитаю отзывы на автореферат в сжатом виде. На автореферат поступило 17 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается новизна проведенного исследования, что работа выполнена на высоком научном уровне с привлечением большого фактического материала, с использованием современных петрологических, изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических методов и является существенным вкладом в изучение природы высококремнистого магматизма, источников расплавов, механизма зарождения материнских магм и реконструкции геодинамической обстановки магматизма в неогарее Восточной Сарматии. В целом представленная к защите диссертационная работа Н.В. Холиной является завершенной научной работой и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Поступили отзывы от: 1. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории геологии и геодинамики Арестовой Натальи Александровны и д.г.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории геологии и геодинамики Чекулаева Валерия Петровича (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург), 2. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории геологии и геодинамики Арзамасцева Андрея Александровича (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург), 3. д.г.-м.н., член-корр. РАН, главного научного сотрудника лаборатории петрологии, изотопной геохронологии и рудообразования, директора Акинина Вячеслава Васильевича (СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан), 4. д.г.-м.н., главного научного сотрудника Андреева Валентина Леонидовича (Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,

г. Сыктывкар), 5. д.г.-м.н., профессора, заведующего отделом Геологии и геодинамики докембрия Артеменко Геннадия Владимировича (ИГМР НАН, Украина, г. Киев), 6. к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории геологии докембрия Ветрина Валерия Романовича (ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты), 7. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории палеогеодинамики Донской Татьяны Владимировны (ИЗК СО РАН, г. Иркутск), 8. к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории региональной геологии и геотектоники Козлова Павла Сергеевича (ФГБУН ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург), 9. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории метаморфизма и метасоматоза Лиханова Игоря Ивановича (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), 10. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории геодинамики и магматизма Ножкина Александра Дмитриевича (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), 11. д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Туркиной Ольги Михайловны (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), 12. д.г.-м.н., директора Толстова Александра Васильевича (Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО), г. Мирный), 13. д.г.-м.н., старшего научного сотрудника Шумлянско Леонида Владиславовича (Школа наук про Землю и планеты, Университет Кертин, Австралия, г. Перт), 14. к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории петро- и рудогенеза Азимова Павла Яковлевича и д.г.-м.н., заведующего лабораторией петро- и рудогенеза Балтыбаева Шаукета Каимовича (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург), 15. к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Хромых Сергея Владимировича и к.г.-м.н., научного сотрудника лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Котлер Павла Дмитриевича (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), 16. д.г.-м.н., член-корр. РАН, директор Крук Николая Николаевича (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск), 17. к.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии, петрографии и геохимии Альбекова Александра Юрьевича (ВГУ, г. Воронеж).

Два отзыва (А.А. Арзамасцева и В.Р. Ветрина) без замечаний. В остальных имеются замечания, наиболее существенные из которых сводятся к следующему:

Первая группа замечаний, касающихся окислительно-восстановительных условий кристаллизации кислых магм, сформулированы в отзыве И.И. Лиханова:

1. Каковы были окислительно-восстановительные условия? Высокая железистость силикатов, наличие ильменита как единственного Fe-Ti окисла могут указывать на их образование из маловодных расплавов в восстановительных условиях. Это так или есть альтернатива?

Вторая группа замечаний, касающихся условий метаморфизма, сформулированы в отзывах П.С. Козлова, П.Я. Азимова и Ш.К. Балтыбаева, С.В. Хромых и П.Д. Котлер.

1. Указано, что риолиты метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Каким образом была установлена степень метаморфизма?

Замечания, касающиеся обоснованности принадлежности Восточной Сарматии (и др. кратонов Дхарвар, Пилбара, Каапваль) к суперкратону Ваалбара, сформулированы в отзыве И.И. Лиханова.

1. Как выдвинутое предположение о принадлежности Восточной Сарматии (и др. кратонов Дхарвар, Пилбара, Каапваль) к суперкратону Ваалбара согласуется с современными палеомагнитными реконструкциями положения суперконтинентов?

Замечания, касающиеся определения физико-химических условий образования ультракислых магм, сформулированы в отзывах П.Я. Азимова и Ш.К. Балтыбаева, Н.А. Арестовой и В.П. Чекулаева, В.В. Акинина, О.М. Туркиной, Н.Н. Крук.

1. Предполагает ли оценка давления 2,5-2,6 кбар, оцененная для кристаллизации расплава, наличие промежуточной камеры, в которой кристаллизовались вкрапленники кварца?

2. По одному параметру (содержание Ti в кварце) не могут быть определены две неизвестные величины (Т и Р).

Замечания, касающиеся предложенной геодинамической модели формирования неорархейского магматизма, имеются в отзывах Л.В. Шумлянського, С.В. Хромых и П.Д. Котлер.

1. Амфиболиты новокриворожской свиты намного древнее – около 3 млрд лет, и они не могут быть причиной плавления коры около 2,6 млрд лет.

2. Автором указывается, что кремнекислый магматизм связан с плавлением верхних частей литосферы под воздействием глубинного плюма. Учитывая

локальность проявлений изученных вулканитов и гранитов, представляется логичным предложить модель внутриконтинентального рифтогенеза.

Замечания относительно источников расплавов кислых магм прозвучали в отзывах Н.А. Арестовой и В.П. Чекулаева, О.М. Туркиной, Л.В. Шумлянского.

1. Как объясняется то, что изотопный состав Hf в цирконе из риолитов характеризуется широким диапазоном изотопных параметров, в том числе имеет более молодой возраст T_{Hf}^c до 3,0 млрд лет, чем минимальный $T_{Nd}(DM)$ (3,4 млрд лет)? Предполагается ли вклад более ювенильного источника (с более радиогенным изотопным составом) или цирконы из метапелитов могут иметь более широкий диапазон T_{Hf}^c в отличие от усредненной величины их $T_{Nd}(DM)$?

Замечания, касающиеся предложенной модели формирования неоархейских высококремнистых магм, высказаны в отзывах Н.А. Арестовой и В.П. Чекулаева, Г.В. Артеменко, Т.В. Донской, Л.В. Шумлянского, Н.Н. Крук.

1. Метапелиты как источники для гранитов и риолитов А-типа выглядят необычно. Вклад метаосадков в смеси 30 мас.% метапелита + 70 мас.% ТТГ завышен.

2. Плавление ТТГ не может привести к появлению высококалийевых расплавов (6-9 % K_2O).

3. Почему петрогенетические построения основаны на «остаточных» риолитах, а не на более близких к родоначальным магмам гранитах?

Замечания относительно минералого-петрографических и геохимических особенностей кислых пород прозвучали в отзывах П.Я. Азимова и Ш.К. Балтыбаева, Л.В. Шумлянского, В.В. Акинина, Н.А. Арестовой и В.П. Чекулаева, А.В. Толстова, А.Д. Ножкина, С.В. Хромых и П.Д. Котлер.

1. Плаггиоклаз не упомянут в числе вкрапленников в риолите и его содержание в породе занижено.

2. На диаграммах Харкера необходимо было выделить не только положения точек составов, но и тренды.

3. Словосочетание «высококремнистый магматизм» является неудачным, следовало бы использовать термин «кислый».

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Отвечайте на замечания.

Холина Н.В.:

Для начала ответы на замечания и вопросы ведущей организации.

В первом положении говорится о «близких петрогеохимических характеристиках» исследованных гранитов и риолитов. Хотя они все-таки отличаются.

Граниты по химическому составу близки к риолитам, но отличаются от них в деталях. Это также высококремнистые породы, но с более высокой железистостью и более низкими концентрациями Са и редкоземельных элементов. Риолиты, обедненные кальцием, элементами группы железа, но обогащенные, высокозарядными и редкоземельными элементами, могли представлять собой комплементарные гранитному кумулусу остаточные расплавы.

Относительно P-T условий и температуры кристаллизации во вкрапленниках кварца.

В диссертации не акцентировалось внимание на определении температурной зональности. Целью было продемонстрировать высокие температуры риолитового расплава и температуры кристаллизации расплава. В диссертации показаны небольшие корреляции относительно содержания титана во вкрапленниках кварца, но это не превышает погрешности термометра. Погрешность составляет $\pm 35^{\circ}\text{C}$.

Дискуссионна интерпретация полученных оценок давления.

Давление в интервале 2.5-2.6 кбар оценено как давление кристаллизации, но не как давление магмогенерации. Давление магмогенерации отследить намного сложнее. Мы предполагаем, что давление было от 2,5 до 4 кбар. Трудно предположить, что такие высокие температуры сохранялись в промежуточных очагах и при подъеме магмы к поверхности.

По поводу связи формирования очагов магмогенерации с «плюмовыми» базальтами.

Для выплавления таких высокотемпературных кислых магм необходим мощный тепловой источник, которым могли быть только мантийные магмы. Я считаю, что это плюм, вызвавший континентальный рифтогенез и внедрение базитовых магм. И это не «украинский плюм», который дотянулся до России, поскольку на протяжении всего раннего докембрия это был единый мегаблок Сарматия. И Украинский щит, и Воронежский кристаллический массив входят в

состав мегаблока Сарматия. Эти базиты подстилают риолиты Курского блока в разрезах скважин и широко проявлены на УЩ.

По поводу рисовки, которая присутствует на данных схемах геологических карт, что нарисованы рвущие контакты атаманского комплекса.

Да, данная рисовка была сделана согласно принятой «стратиграфической» схеме, когда атаманский комплекс завершал палепротерозойский тектогенез Курского блока. Поэтому мы будем пересматривать рисовку, это мое упущение, необходимо пересмотреть рисовку структуры относительно полученных новых данных.

По поводу моделирования, почему именно модель дегидратационного плавления.

Я уже говорила, мы дополнительно провели экспериментальное моделирование, т.е. подтвердили, что действительно породы сформировались при 20%-ом дегидратационном плавлении смеси метапелитового гранулита и ТТГ-гранитоидов. Опыты проводились при температуре 950°C и давлении 4 кбар без добавления флюида. Полученный расплав (до 20 % по объему) совпадает по составу с неоархейскими риолитами и гранитами по петрогенным оксидам.

Со всеми остальными замечаниями я согласна.

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Переходим к дискуссии. Кто хотел бы выступить?

Холина Н.В.:

Вопросы еще по отзывам. Я могу ответить. Это были только ответы ведущей организации.

Юдинцев С.В.:

А, давайте, конечно.

Холина Н.В.:

Вопрос по поводу окислительно-восстановительных условий, заданный Лихановым И.И. Действительно, высокая железистость силикатов, наличие ильменита могут указывать на образование кислых магм из маловодных расплавов в восстановительных условиях.

Относительно условий метаморфизма. В работе указано, что риолиты метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Данная степень

метаморфизма определялась по вмещающим палеопротерозойским осадкам методами минеральной геотермобарометрии. Возраст метаморфизма оценивался как 2,07 млрд лет.

По поводу оценки давления в интервале 2,5-2,6 кбар. Предполагается ли наличие промежуточной камеры, в которой кристаллизовались бы вкрапленники кварца? Уже было сказано, что предполагается давление в интервале 2,5-4,0 кбар, при котором формировался расплав. О наличии промежуточной камеры судить сложно. Вкрапленники кварца могли кристаллизоваться из расплава и при его подъеме к поверхности.

По поводу P-T параметров и определения содержания Ti в кварце, что по одному параметру нельзя определять и температуру и давление. Температуры кристаллизации расплава определялись не только по «Ti-in-Qtz» геотермометру в кварце, но и независимо от него по «Ti-in-Zrn» геотермометру. И температуры практически совпадают. Т.е. при погрешности $\pm 35^\circ$ температуры хорошо сходятся в пределах ошибки. Используемый в работе барометр очень мало зависит от поправки на температуру.

По поводу вопроса Туркиной ОМ., может ли быть вклад ювенильных источников, почему у нас изотопный состав Hf характеризуется широким диапазоном изотопных параметров? Да, действительно, можно предполагать вклад более ювенильных источников. У нас Западнее района ультракислого неархейского магматизма находится мезоархейская гранит-зеленокаменная область, где ТТГ-гранитоиды имеют возраст 2,96-3,05 млрд лет. Возможен их вклад в источниках расплавов.

Вопрос по поводу калия, то, что плавление ТТГ не может привести к появлению высококалиевых расплавов. Палеоархейские метапелиты содержат 7,5 % K_2O в образце, который датирован на SHRIMP. Из ТТГ вполне можно выплавить К-гранитоиды при небольшой фракции расплава (до 20 % степени плавления). Т.е. такой эксперимент действительно нами был проведен при температуре 950° и давлении 4 кбар. Содержание K_2O в полученном стекле 5,6-6,3 %. Т.е. они действительно высококалиевые.

Замечание о том, что плагиоклаз не упомянут в числе вкрапленников в риолите. Плагиоклаз присутствует среди вкрапленников наряду с вкрапленниками кварца и микроклина.

По поводу неудачного термина «высококремнистый магматизм», то, пожалуй, я соглашусь, что можно было бы использовать понятие «ультракислый».

Наверное, все. Спасибо большое.

Юдинцев С.В.:

Слово официальному оппоненту. Андрей Анатольевич, пожалуйста.

Щипанский А.А.: (официальный отзыв прилагается)

Я единственный в этой аудитории, да и в том круге исследователей, которые давали свои оценки этой работе, который непосредственно работал вот здесь, в этих краях, и знаю положение этих калиевых риолитов и гранитоидов атаманских. И многие вопросы, которые возникают здесь, они связаны с тем, что работа там специфическая. Это все скважины. Единственная обнаженная часть – это карьер Лебединский, огромный-огромный карьер, где добывают очень высококачественный продукт для высококачественного железа. Это железистые кварциты коробковской свиты. И она подстилается вот здесь в небольших участках этого карьера. Здесь обнажаются калиевые риолиты. Они на вид не очень хорошие, но в полировке они замечательные. Получается черный матрикс и голубые красивые порфиновые выделения кварца. Все остальное – это скважины. И 90 % скважин были ориентированы на увеличение запасов. И вот фактически вот эта вся карта составлена на основании той интерпретации, которую в свое время предложили в качестве стратиграфической шкалы докембрия. И основные идеи времени принятия этой шкалы были следующие – вот геосинклинальный цикл, инверсия геосинклиналей, и она заключительном этапе появляются гранитоиды атаманского комплекса. Возраст их считался 1,9 млрд лет по К-Аг методу. Ну, а на эти калиевые риолиты давно обращали внимание. Были пробурены скважины, в которых было видно, что они перекрываются с несогласием кварцевыми аренидами стойленкой свиты, которая и в Кривом роге, и в Белгород-Михайловской зоне, и здесь – она одинаковая. Это высокозрелый кварцит или, как называют литологи, кварцевый аренит. Это свидетельствует о том, что перед накоплением палеопротерозойской толщи существовал пенеплен. Для того, чтобы получить

такие мощные толщи, нужен обязательно пенеплен. И вот в это время и формировались эти калиевые риолиты и вот эти гранитоиды. Это действительно большая заслуга коллектива Воронежского университета и Натальи Викторовны, что они вот этот пробел неизвестности, что из себя представляют эти породы, они как бы его восполнили.

Я с удовольствием прочитал два раза эту работу. Во-первых, она очень хорошо структурирована. Задачи – и по задачам написана диссертация. Первая задача, вторая, третья, четвертая. И, естественно, эти задачи нашли ответы на вопросы, которые она ставила, и нашли отражение в защищаемых положениях. И что такое кандидатская диссертация. Вот я недавно слушал какую-то передачу. PhD на западе означает получение лицензии на научные исследования. Т.е. этот человек должен и может заниматься научными исследованиями. Множество вопросов, которые задавали и рецензенты на эту работу и другие исследователи, они не находят такого точного на сегодняшний день ответа. Но она сделала на сегодняшний день все, что можно было сделать. Во-первых, это ограниченный материал, потому что скважины эти давным-давно уничтожены. И потребовалось огромное количество времени, чтобы найти какой-то материал. Это все работа 70-х и, наверное, начала 80-х годов прошлого века. Это последние скважины, которые тогда были пробурены. И действительно есть еще такие же массивы. Я знаю, в Белгородско-Михайловской зоне есть массив Беленихинский. Но это скважина 1959 г. Естественно от нее ничего не осталось, кроме описания минералогов. Там действительно есть тантал и колумбат. Это было известно. Но возраст массива никто тогда не мог определить, как и в 70-е и в 80-е годы. Естественно возникают вопросы по поводу определения температур. Ну да, есть такие вот два метода. И я думаю, что ее оценки правильные, поскольку, вот если вы заметили, то все цирконы ложатся как раз на конкордии 2,61 млрд лет. Если бы была температура плавления меньше, то мы бы получили огромный шлейф цирконов их ТТГ серии. Значит, температуры были достаточно высокими, чтобы растворить цирконы и образовать новые. Т.е. действительно, где-то порядка 900°C. Такие температуры действительно требуют глубинного тепла. И если проявления такие. К сожалению, это опять вопросы обнаженности территории. Возможно, что когда-то в каких-то скважинах были какие-то базальты, естественно метаморфизованные, поскольку

палеопротерозой и метаморфизм никто не отменял. Но как их тогда было измерить? Поэтому при ответе на все эти вопросы надо учитывать этот момент. И, слава Богу, что там еще продолжают какие-то усилия по изучению этой территории. Ведь сейчас интересуют только железистые кварциты. Это господин Усманов А.Б. хозяин этого дела. И никаких работ по поиску дальнейших расширений этой железорудной базы никто не ведет. И хорошо, что появляются вот такие работы.

И последнее, единственное у меня замечание было, которое заметили и другие исследователи, это рвущий контакт. Они установили возраст как 2,6 млрд лет, а породы рвут кварцевые аренины стойленской свиты. Это естественно надо все пересматривать. И скорее всего скважины втыкались в тектонические «окна» фундамента. Ну, а так как есть присдвиговые структуры, связанные с рифтогенезом, то они не имеют никакого отношения к атаманскому комплексу. Т.е. это надо переделывать. И не обращать внимание, что когда-то в 1978-1979 гг была принята эта стратиграфическая схема. Появились новые данные – переделывайте. Никаких признаков того, что калиевые гранитоиды где-то рвут железистые кварциты, я не видел. Я посмотрел там десятки тысяч погонных метров керна. И, на мой взгляд, эта работа очень хорошая, очень хорошо написана. Очень строго написана. С той степенью допущений, которые можно сделать. Опубликован материал в хороших журналах, в том числе в рейтинговом журнале Precambrian Research. И, на мой взгляд, я бы проголосовал «за». И я призываю ученый совет проголосовать за эту работу. Работа очень хорошая и очень будет полезна.

Юдинцев С.В.:

Спасибо, Андрей Анатольевич. Я не услышал в этом докладе особенно сильного оппонирования. Надеюсь, в своем отзыве Татьяна Игоревна Щекина будет более критична. Ее нет. Отзыв будет зачитан секретарем совета.

Андреева О.А.:

Зачитывает отзыв официального оппонента Щекиной Татьяны Игоревны (отзыв прилагается).

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Наталья Викторовна, вам слово.

Холина Н.В.:

Ответы на замечания Щекиной Татьяны Игоревны. Всего три замечания. По поводу первого замечания, что в работе использованы диаграммы [Eby, 1992]. Да, они действительно иногда не работают. Разделить граниты на типы А1 и А2, т.е. на постколлизийные и внутриплитные, используя данные диаграммы, иногда не получается. Мне пришлось действительно приводить другие доводы, чтобы подтвердить свою гипотезу о внутриплитном магматизме.

По поводу экспериментального плавления, что действительно есть теоретическое моделирование, и для этого, я повторюсь, мы провели эксперимент с плавлением таких же пород при таких же условиях температуры и давления, чтобы получить идентичный природным риолитам и гранитам расплав.

По поводу флюидов, то предполагается, что расплав не содержал хотя бы незначительные количества F, Cl, они бы понижали температуру, а температуры были достаточно высокие. Поэтому они не изучались при данном исследовании.

И еще по поводу «сухих» расплавов, я тоже думаю, что это не совсем корректно. Все-таки, даже если присутствуют малые содержания процентов воды в расплаве, «сухим» его называть уже нельзя. Я с этим согласна. Спасибо большое.

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Со второй попытки объявляю общую дискуссию. Кто хотел бы высказаться?

Самсонов А.В.:

Я, наверное, хотел бы сказать несколько слов, поскольку я хорошо знаю Наталью еще со студенческих времен. Вот. И знаю ее вот такой вот пытливый и все время сомневающийся ум, который не дает ей однозначно отвечать на вопросы. Она все время сомневается. И вот эта вот работа, она была сделана, построена, организована именно благодаря ее внутренним сомнениям. Одно, другое, третье. Вот, к сожалению, доклад не очень был удачно построен. В докладе не была показана внутренняя логика этого исследования, всей системы доказательств. Поскольку под каждым защищаемым положением лежит ни одно, ни два, а даже до трех систем совершенно независимых обоснований. Оно отчасти было показано, а отчасти ушло из области. Но обратите внимание, это архей, это эпидот-амфиболитовая фация, это кислая порода. И заниматься петрологией для таких пород, да еще и не имея нормальной геологии, это сплошные скважины, это

дорогостоящее. Все, что возможно было сделать, на самом деле было сделано. Потому что, вот этот заключительный штрих, который, к сожалению, не вошел в работу, меньше бы вопросов было. Это эксперимент. Те пропорции метapelитов и тоналитов, которые были заложены в моделировании, они были взяты из изучения Lu-Hf системы, из соотношения пропорций древнего Hf-го компонента в цирконе и более молодого мезоархейского. Наталья, проведя моделирование, получив уже результат, а вот все равно она сомневается. И в результате были организованы вот эти работы по эксперименту уже с теми системами, которые были проверены. Т.е. я считаю, что работа более чем завершенная. Работа очень высококлассная. Она компактная по площади, по объектам, по региону. Но она очень глубокая по глубине. Все, что можно было выкопать из этих риолитов, наверное, выкопано. Что еще можно было бы капнуть, даже не берусь. Поэтому, я считаю, что конечно работа высококлассная, и исследователь сделал максимум, что можно было сделать. И вклад Натальи в эту работу очень большой. Она занимается ею уже, и не знаю, с какого года этими риолитами. Сначала с геологией, потом с минералогией, с геохимией. И конечно она, несомненно, заслуживает присвоения искомой степени. Спасибо.

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Еще кто-нибудь?

Бортников Н.С.:

Я с удовольствием послушал этот доклад. Он крайне интересный и хорошо сделан. И, вне всякого сомнения, Наталья Викторовна заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук. Тем не менее, я позволю себе сделать целый ряд замечаний, которые не обесценивают работу. А просто для того, чтобы Наталья Викторовна использовала это в своей дальнейшей работе.

Ну, во-первых, название работы. Неудачное. Понимаете, когда вы говорите, что это геохимия, геохронология и петрология, вы перечислили просто три науки. Нас в свое время, когда мы писали «минералогия какого-то месторождения», нас директор института Ф.С. Щибров ругал. Он говорил, что минералогия – это наука, а вы изучаете минеральный состав месторождения. Вы геохимию не изучали, потому что геохимия – это наука о закономерностях поведения и распределения

элементов и изотопов и их миграции в оболочках земли. У вас этого нет. Вы изучали химический состав пород, химический изотопный состав циркона. И не цирконов, а циркона. Не употребляйте никогда название минералов во множественном числе. Это первое.

Теперь, второе. Вот к возрасту. Вы говорите, что у вас два типа пород образовались одновременно. Я понял, что геологических контактов вы не наблюдали, т.е. вы не можете сказать, что у вас раньше, что позже. И вы привели нам результаты не определения возраста, а результаты датирования. Это две больших разницы. Вот в англоязычной литературе так и используют – «датирование». То, что вы нам привели, это датирование, а является ли это возрастом пород? Циркона – может быть. Но пород – не обязательно. Почему? Потому что в качестве циркона могут быть автокристы (когда циркон кристаллизуется вместе с этой породой одновременно), могут быть антикристы (т.е. порода захватила циркон с более ранней фазой), это могут быть ксенокристы (когда порода или магма захватила циркон из вмещающих пород), и, наконец, это может быть унаследованный циркон (когда магма захватила циркон значительно более древний). В свое время мы с товарищем Шарковым Е.В. нашли циркон с возрастом 2,5 млрд лет в современной рифтовой долине. И вот до сих пор нам говорят, что конкистадоры сбросили циркон, а вы его приписали к рифтам. Поэтому, ну мы-то знаем, что он действительно древний, коровый, и это связано с раскрытием Атлантического океана. Но в современных магматических породах в зонах спрединга находят цирконы, различающиеся на 10-15 млн лет. Батолит, с которым связано самое уникальное известнейшее месторождение Корнуолл, кристаллизовался 20 млн лет. Т.е. все эти возрасты, которые вы здесь привели, они укладываются в период кристаллизации этого крупнейшего батолита. А вы говорите, что они одновременные. И если у вас нет геологических границ между риолитами и гранитами, то вы даже не можете сказать на основании этих данных, что у вас раньше, граниты или риолиты. Понимаете, в чем все дело? Но это так, просто на будущее.

И я хочу сказать, что там замечания рецензента по поводу того зональности, что температура от центра зерна кварца к краю должна падать, то это не верно. Потому что она может и пульсировать, и могут быть более высокие температуры.

Я уже не очень помню, но, по-моему, у нас это было по включениям установлено, что температура пульсирует. Т.е. это вполне возможно. Появляются новые фазы, внедряются новые фазы магматизма, которые могут повышать температуру кристаллизующейся магмы. Это вот то, что я хотел сказать. Но я призываю членов ученого совета голосовать «за». Мне кажется, что это очень хорошая работа. И может быть член-корреспондент Самсонов А.В., зная эту работу, высказал какие-то критические замечания и по докладу и по представлению, у меня такого впечатления не сложилось. Мне кажется, что это был очень хороший доклад, и очень хорошо представлена работа. Хорошая работа. Поздравляю вас.

Юдинцев С.В.:

Еще есть желающие? Пожалуйста.

Арискин А.А.:

Вначале я так, немного дискуссионного плана замечу, что геохимия давным-давно не является наукой о распределении элементов, это наука, которая дает физико-химическое толкование законов распределения элементов. И это очень хорошо понимал Жариков В.А., когда вел наш замечательный курс «Физико-химическая геохимия». И мне не видится ничего странного в таких названиях, и наша современная литература полна именно таких трактовок. Что касается конкретно работы, на мой взгляд, она отвечает всему тому, что должно присутствовать в хорошей достойной кандидатской диссертации. Есть замечательный объект. Да, сложный, проблемный с точки зрения получения информации. По материалу – более 50 скважин рассмотрела соискатель. Есть методы, есть постановка задач, есть результаты. В общем, тот инструментарий, который используют петрологии и геохимики при решении проблем магмообразования применительно к кислым породам, он в значительной мере представлен, он отвечает тому, что должно присутствовать в такого рода исследованиях. Большинство замечаний, которые были высказаны, они ведь относятся скорее к генетической интерпретации. И тут надо конечно понимать, и я уверен, что мы это все почувствовали, ведь проблема образования кислых пород стоит на перекрестке вопросов геодинамики, генетических вопросов, физико-химических аспектов. Вот то количество гипотез, которое в эту точку пересечения сливается, настолько

велико, что было бы трудно ожидать, что соискатель нашла какое-то однозначное решение. Она пошла по пути одностадийной модели. Но на самом деле есть альтернатива. И вы не случайно упоминали метабазиты, которые подстилают разновозрастные породы, которые в регионе присутствуют. Они метаморфизованные и основного состава. Вот эта возможная связь вашего мезоархейского источника с базитовым мезоархейским магматизмом здесь, как альтернатива, и не прозвучала. Может быть, здесь было бы и интересно. Последнее, что я хочу сказать с точки зрения методов. Вы пошли по пути оценки пропорций, эксперимент провели, о котором говорили. Сейчас есть очень хорошая модель rhyolite-MELTS. Может быть, вы слышали. MELTS – это разработка Gil Gualda с коллегами. 2012-2015 года. Она общедоступна. Сейчас она стала рутинным инструментарием в большей мере зарубежных коллег. Я тестировал ее, и она дает очень приличные результаты именно для Pl-Orх парагенезисов. Там есть кварц, калиевый полевой шпат. Вы можете ваши валовые составы выдавать, смотреть, используя разные пропорции и исследуя разные варианты смешения, о которых вы говорите. Можете подставлять коэффициенты распределения редких земель и других элементов, так же анализировать спектры. Мне кажется, это украсило бы работу. Но это, скажем, на будущее, такие пожелания. А в целом, безусловно, работа заслуживает признания. Удачи вам.

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Так, еще кто-то есть, кто хотел бы выступить? Нет желающих. Ну, тогда будем завершать наше заседание. Лишь хочу сказать, что сравнительно недавно проходила в этой аудитории защита кандидатской диссертации Савко Константина Аркадьевича при диссертационном совете, в котором я служил секретарем. Прошло всего каких-то 30 лет. И мы уже слушаем хорошую диссертационную работу уже ученика профессора Савко К.А. Натальи Викторовны. Так что геология живет, развивается. Тогда Sm-Nd и Lu-Hf методов еще не было. Но, тем не менее, все эволюционирует в правильном направлении. Так что работа хорошая, и я тоже призываю всех членов диссертационного совета голосовать за нее. Вам заключительное слово.

Холина Н.В.:

Огромное спасибо, безусловно, диссертационному совету за замечания. Каждое замечание очень важно, поверьте. И для будущей работы и для настоящей работы, и для меня, как ученого. Огромное спасибо руководителю и коллективу, который помог мне проводить данные исследования. Безусловно, Константину Аркадьевичу Савко, оппонентам, которые глубоко познакомились с моей работой и вынесли свои какие-то пожелания и замечания. Огромное спасибо.

Юдинцев С.В.:

Спасибо. Следующая наша задача – назначить состав счетной комиссии. И я предлагаю комиссию в следующем виде – Борисов Николай Васильевич, Гирнис Андрей Владиславович и Дубинина Елена Олеговна. Елена Олеговна – председатель. Кто за это решение? Прошу голосовать. Хорошо. Комиссия приступает к работе.

Борисов Н.В.:

Все проголосовали?

Дубинина Е.О.:

Все, да?

Борисов Н.В.:

Так, оглашаю результаты счетной комиссии. Из 27 членов совета 20 присутствуют. Из 20 бюллетеней в урне оказалось 20. Не роздано соответственно 7 бюллетеней. Роздано – 20. И результаты голосования: 20 – «за», против – нет, недействительных – нет.

Юдинцев С.В.:

Кто голосует за утверждение протокола? Все «за». Единогласно. Спасибо.

Необходимо утвердить проект заключения. Пожалуйста, посмотрите. Прошу проголосовать, кто за то, чтобы принять за основу этот проект? Все – «за». Кто против – «нет». Теперь мы должны поблагодарить соискателя с присуждением ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Председатель диссертационного совета Д 002.122.01

чл.-корр. РАН, д.г.-м.н.

С.В. Юдинцев

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 002.122.01

к.г.-м.н.

15.10.2020



О.А. Андреева

Приложение**ДОКЛАД****Холиной Натальи Викторовны**

на тему: «Неоархейский высококремнистый магматизм Курского блока Восточной Сарматии: геохимия, геохронология, петрология»

Конец архейской истории ознаменовался фундаментальными изменениями геологических процессов на Земле, связанных с завершением стабилизации архейских кратонов. Это нашло отражение в появлении широкого спектра высококалийевых гранитоидов в интервале 3,0-2,5 млрд лет.

Актуальность диссертационной работы определяется тем, что самые ранние калиевые граниты и риолиты неоархея отражают кардинальные изменения природы геодинамических процессов. Оценка возрастных и пространственных взаимоотношений, определение их тектонической природы позволит выяснить условия возникновения и источники расплавов кислых пород. Это может дать важные свидетельства об эволюции коры Восточной Сарматии на границе неоархея и палеопротерозоя.

Объектом исследований является неоархейский ультракислый магматизм в пределах Курского блока Восточной Сарматии, расположенный в южном замыкании Тим-Ястребовской структуры. Представлен калиевыми риолитами лебединской свиты михайловской серии и калиевыми гранитами атаманского комплекса.

Целью исследований было установление петрогенезиса и тектонической обстановки формирования неоархейского ультракислого магматизма.

Задачами являлись:

- определение геохимической характеристики неоархейских вулканитов и гранитов,
- оценки изотопного возраста,
- определение физико-химических условий образования ультракислых магм,
- установление источников расплавов,
- обоснование геодинамической обстановки проявления высококремнистого магматизма.

Защищаемое положение 1. Высококремнистые риолиты и граниты А-типа Курского блока Восточной Сарматии образовались одновременно в конце неогархея 2,61 млрд. лет, имеют близкие петрогеохимические и изотопные характеристики и представляют единую вулканоплутоническую ассоциацию.

Проявления неогархейского магматизма локально сосредоточены в южном замыкании Тим-Ястребовской структуры и на перемычке между Тим-Ястребовской и Вологовской палеопротерозойскими синформами.

Кислые вулканиты представлены риолитами и туфами риолитового состава. Стратиграфическое положение установлено точно, так как на толще вулканитов с размывом и угловым несогласием залегают образования стойленской свиты палеопротерозоя. Породы подверглись метаморфическим изменениям, в разной степени рассланцованы.

Граниты образуют массивы неправильной формы. Петротипом является Атамановский массив в юго-восточном замыкании Тим-Ястребовской палеопротерозойской структуры.

Метариолиты и метатуфы массивные, с порфирированной структурой, обусловленной наличием в мелкозернистой основной массе фенокристов кварца, микроклина и микроклин-пертита, достигающих 20 % объема породы. В риолитах отсутствует вулканическое стекло, которое было перекристаллизовано при метаморфических изменениях.

Породы атаманского комплекса представлены биотитовыми, роговообманково-биотитовыми и порфирированными биотитовыми гранитами. Характерной их особенностью является высокая железистость железомagneзиальных силикатов. Биотит имеет высокую железистость ($X_{\text{Fe}} = 0,83-1,00$) и представлен преимущественно аннитом. В некоторых зернах видны тонкие линзовидные прослойки магнетита вдоль трещин чешуек биотита. Зеленая роговая обманка отвечает по составу гастингситу с очень высокой железистостью ($X_{\text{Fe}} = 0,92-0,96$) и содержанием K_2O , превышающим содержание Na_2O .

И метавулканиты и граниты являются высококремнистыми (содержание SiO_2 до 79 мас. %), характеризуются повышенным коэффициентом железистости (для метавулканитов $X_{\text{Fe}} = 0,54-0,85$; для гранитов $X_{\text{Fe}} = 0,90-0,96$). Относятся к умеренно- и высокоглиноземистым породам. В них отмечаются широкие вариации

в целом повышенных содержаний щелочей ($K_2O+Na_2O = 3,5-9,5$) с преобладанием калия. Характеризуются низкими содержаниями CaO (0,05–1,6 мас. %) и MgO (0,18–4,4 мас. %), являются высоко- и ультракалиевыми породами (до 8–9 мас. %). Граниты чуть более обогащены натрием.

На петрохимических диаграммах Харкера четкой зависимости изменений содержаний петрогенных оксидов и редких элементов от концентрации SiO_2 не установлено.

По геохимическим характеристикам наблюдается преобладание LREE над HREE, отчетливо выделяется европиевый минимум. Породы характеризуются низкими концентрациями Sr, высокими Rb, Ba, Ga, высокозарядных Zr, Nb, Th и другими. Граниты отличаются от риолитов чуть более низкими концентрациями всех высокозарядных и редкоземельных элементов.

Такие геохимические особенности в совокупности с высокими содержаниями SiO_2 , K_2O и Fe_2O_3 сближают их с анорогенными гранитами А-типа. Это подтверждается положением точек их составов на дискриминантных диаграммах Whalen.

Для геохронологических исследований был выделен акцессорный циркон из пробы риолитов, отобранной в гидрогеологической шахте под карьером Лебединского железорудного месторождения и из проб гранитов из центральной и краевой частей Атамановского массива.

Средневзвешенный возраст циркона по 14 точкам составил 2612 ± 10 млн лет. Полученное значение интерпретируется как возраст кристаллизации риолитов.

В пробе гранита 1544/209 из центральной части Атамановского массива средневзвешенный возраст $^{207}Pb/^{206}Pb$ по 10 точкам составил $2611 \pm 5,7$ млн лет. Только в одном зерне циркона из гранита сохранилось унаследованное ядро, возраст которого 3181 ± 7 млн лет.

В пробе 5011/154,5 из краевой части Атамановского массива средневзвешенный возраст (по 23 точкам) составил 2606 ± 7 млн лет и рассматривается как возраст кристаллизации.

Таким образом, полученные возраста гранита $2611,7 \pm 5,7$ млн лет и 2606 ± 7 млн лет совпадают с возрастом циркона из метариолита - 2612 ± 10 млн лет.

В результате большинство полученных данных свидетельствуют, что неоархейские риолиты и граниты представляют собой единую вулканоплутоническую ассоциацию и, возможно, являются комагматами. Доказательством этого служат: (1) синхронность формирования – 2,61 млрд лет; (2) тесная пространственная сопряженность их локальных проявлений – в южном замыкании Тим-Ястребовской структуры; (3) близкие геохимические характеристики.

Граниты атаманского комплекса могли представлять собой промежуточные камеры, в которых происходила дифференциация исходных кислых магм с образованием остаточных риолитовых расплавов, которые были обеднены Са, элементами группы Fe, но обогащены Ti, высокозарядными и редкоземельными элементами.

Защищаемое положение 2. Зарождение неоархейских высококремнистых магм происходило при дегидратационном плавлении пород Курского блока при высокой температуре (около 900°C), низком давлении (около 2,5 кбар), в условиях верхней коры в равновесии с ортопироксен-плагиоклазовым реститом.

Для определения температуры кристаллизации риолитового расплава использовалось два геотермометра: титан-кварцевый и титан-цирконовый.

Были определены содержания титана во вкрапленниках кварца из двух образцов. В образце 5329/280,0 были довольно высокие содержания титана (до 500 ppm). Температуры кристаллизации составляют 850-950°C. Менее высокие содержания титана (90-247 ppm) и, соответственно, температуры кристаллизации зафиксированы во вкрапленнике из образца 5327/149,5. Температуры кристаллизации составляют 735-870°C.

Среднее значение полученной температуры кристаллизации 850-930°C.

Для оценки давления использовался Ti-in-quartz геобарометр. Для расчетов были приняты температуры, полученные с помощью "Ti-in-quartz" геотермометра. Все рассчитанные значения давлений попадают в узкий интервал 2,54-2,63 кбар.

Для определения температуры кристаллизации с помощью "Ti-in-zircon" геотермометра были измерены содержания Ti в зернах циркона из образца риолитов, для которых были определены значения U-Pb возраста. Температуры кристаллизации цирконов в среднем составляют 850°C.

Проведенные исследования показали высокие температуры кристаллизации 850-930°C. Температура расплава в магматическом очаге могла достигать 1000°C. Расплав начал кристаллизоваться в низкобарических условиях на глубине около 7 км.

Малоглубинные условия в интервале P 2,5-2,6 кбар дополняются данными по геохимии минералов и пород:

1) резкие отрицательные Eu аномалии в цирконе из риолита и в валовых пробах риолитов и гранитов предполагают ведущую роль плагиоклаза в реститовой ассоциации кислых магм. Это указывает на то, что риолитовый расплав имел низкие содержания воды и начал кристаллизоваться в малоглубинных низкобарических условиях;

2) сильно фракционированные спектры HREE в цирконах из риолита исключают участие граната в кумулусной ассоциации, что также указывает на малоглубинные низкобарические условия;

3) высокие Fe/Mg отношения пород могут указывать на доминанту ортопироксена в реститовой ассоциации, что предполагает небольшие давления и относительно сухие условия генерации кислого расплава.

Таким образом, все полученные данные говорят о формировании кислых магм при высоких температурах и низких давлениях в сухих условиях в пределах верхней коры.

Рассмотренные граничные условия образования кислых расплавов хорошо согласуются с экспериментальными данными по дегидратационному плавлению высокоглиноземистого тоналита и гранодиорита при давлении $P \leq 4$ кбар, $T > 900^\circ C$ и содержании $H_2O \leq 4\%$. Было проведено моделирование содержаний REE.

В качестве источника была выбрана смесь 30 мас. % метапелит + 70 мас.% ТТГ. Степень плавления F (20 %) и состав рестита (50 Pl+35 Орх+10 Bt+5 Ilm) были приняты в соответствии с экспериментальными данными [Patino Douce et al., 1997]. В результате проведенного моделирования в модельном кислом расплаве и в природных риолитах и гранитах REE по характеру распределения идентичны.

Таким образом, кислые расплавы, материнские для изученных риолитов и гранитов с возрастом 2,61 млрд лет, могли образоваться при 20 %

дегидратационном плавлении смеси метапелит-ТТГ в равновесии с Пm-Vt-Орх-Pl реститом при давлении не более 4 кбар, т.е. на небольшой глубине порядка 12 км.

Граниты атаманского комплекса кристаллизовались на более глубоких уровнях и содержали в себе примесь Орх-Pl реститовой компоненты, что определило их геохимические отличия от кислых вулканитов, освобожденных от этих фаз в ходе перемещения расплавов на более высокие уровни коры.

Источником тепла во внутриплитной обстановке мог быть плюмовый магматизм.

Защищаемое положение 3. Основные источники неархейских высококремнистых магм имели длительную коровую предысторию ($\epsilon_{Nd}^{2.61}$ = от -5,4 до -6,7; $\epsilon_{Hf}^{2.61}$ = от -0,6 до -8,9) и представлены мезоархейскими ТТГ ассоциациями и палеоархейскими метапелитами Курского блока, слагающими архейское ядро Восточной Сарматии.

Для определения коровой истории источников расплавов были проведены Sm-Nd изотопно-геохимические исследования. Изотопные значения рассчитаны на возраст 2612 млн л.

На диаграмме в координатах возраст - $\epsilon_{Nd}(T)$ точки риолитов и гранитов попадают в один и тот же интервал в поле палеоархейской континентальной коры. Их Sm-Nd модельные возрасты $T_{Nd}(DM) = 3,4-3,6$ млрд лет на 1 млрд лет более древние, чем U-Pb возраста цирконов из этих пород, что свидетельствует о длительной коровой предыстории источника расплавов.

Дополнительно была проанализирована Lu-Hf изотопная система в цирконах из риолита.

Область составов цирконов ограничена параллельными линиями эволюции коры с модельными возрастaми в $\sim 3,0$ и $3,5$ млрд лет, что свидетельствует о контаминации расплавов веществом палео- и мезоархейской коры. Модельные возрастa источника $T_{Hf}(DM)$ варьируют от 2895 до 3247 млн лет и показывают минимальный возраст исходного материала магмы, из которой кристаллизовался циркон. Возраст коровой экстракции T_{Hf}^c $3,0-3,6$ млрд лет отражает время пребывания в коре источника риолитов.

На гистограмме времени коровой экстракции T_{Hf}^c показано наличие трех кластеров значений возрастa: более выраженного пика с возрастом $3,5-3,6$ млрд лет

и менее выраженных 3,05-3,2 млрд лет и 3,3-3,4 млрд лет. Это отражает Lu-Hf гетерогенность среды кристаллизации цирконов, унаследованную от разных по составу и возрасту пород в коровом источнике расплавов.

Проведенные геохронологические и изотопные исследования позволяют сделать следующие выводы относительно источников расплавов кислых магм.

Sm-Nd данные указывают на то, что кислые магмы формировались за счет корового источника с палеоархейской предысторией. U-Pb изотопная система практически не сохранила информацию о палеоархейском протолите в источнике магм. Высокие температуры этих магм, установленные для риолитов, приводят, по-видимому, к полному растворению цирконов протолита, стирая предшествующую коровую историю.

Lu-Hf изотопная система выявила возможное участие разновозрастных архейских пород в источниках кислых магм, что согласуется с возрастной гетерогенностью архейской коры Курского блока.

Следовательно, источниками расплавов могли служить:

- мезоархейские метапелитовые гранулиты обоянского комплекса ($T_{Nd}(DM) = 3,49-3,64$ млрд лет),
- ТТГ ассоциации салтыковского комплекса (U-Pb возраст циркона около 3 млрд лет).

Защищаемое положение 4. Проявления неоархейского высококремнистого магматизма в Курском блоке имеют внутриплитную природу и связаны с плавлением вещества верхней коры за счет подъема базальтовых магм, производные которых подстилают высококремнистые риолиты и вмещают граниты.

Для определения тектонической обстановки формирования магматических пород использовались диаграммы Пирса [Pearce et al., 1984], на которых риолиты и граниты попадают в поле и внутриплитных, и постколлизийных гранитов.

На диаграммах для разделения гранитов А-типа [Eby, 1992] большая часть точек составов метариолитов попадает в поле анорогенных внутриплитных (A1) гранитов, а гранитов атаманского комплекса в поле постколлизийных (A2) гранитов.

Высококремнистый магматизм скорее сопряжен с внутриплитной обстановкой, так как:

- 1) в Восточной Сарматии не известны коллизионные события, предшествовавшие формированию риолитов и гранитов с возрастом 2600 млн лет;
- 2) проявления кислого магматизма с возрастом 2600 млн лет локальны и известны только в южном замыкании Тим-Ястребовской структуры.

В пределах Курского блока для широко проявленного базитового магматизма отсутствуют датировки с возрастом около 2,6 млрд лет, хотя в разрезах скважин 2281 и 2169 metabазиты подстилают метариолиты и прорываются внутриплитными гранитами. На Украинском щите под палеопротерозойскими железисто-кремнистыми породами залегает мощная толща (до 850 м) metabазитов новокриворожской свиты с плюмовыми геохимическими характеристиками. Под воздействием этого глубинного плюма во внутриплитной обстановке образовались незакономерно распространенные, малоглубинные очаги плавления самых верхних частей литосферы. Под действием поступающего тепла отделялись остаточные комплементарные гранитному кумулусу риолитовые расплавы. Эти события проявились в образовании вулcano-плутонической ассоциации внутриплитных гранитоидов.

Спасибо за внимание.

15.10.2020

Юсеев