

### Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Хромых Сергея Владимировича “Позднепалеозойский базитовый магматизм Алтайской аккреционно-коллизийной системы (Восточный Казахстан)”, представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04. – петрология, вулканология.

Базитовый магматизм принадлежит к одному из наиболее интересных и важных в научном и практическом отношении проявлений эндогенной активности Земли. Он является индикатором состава мантийных источников вещества и процессов, которые играют важнейшую роль при оценке глобального преобразовании литосферы Земли. Проблемам происхождения базитов посвящено огромное число публикаций. Это связано, прежде всего, с тем, что базитовые комплексы проявляются во всех фанерозойских геодинамических обстановках и участвуют в составе разнообразных ассоциаций, в том числе совместно с гранитоидами, которые являются источником редкометалльного, редкоземельного и ряда других видов оруденения. В то же время, для долгоживущих аккреционно-коллизийных систем остро дискуссионными вопросами остаются последовательность формирования базитов и ассоциирующих с ним магматических пород, а также эволюция состава их источников во времени. Это определяет **актуальность** диссертационной работы Хромых С.В., которая даёт информацию об основных закономерностях развития базитов и продуктах их эволюции в Алтайском сегменте Центрально-Азиатского складчатого пояса, изменчивости состава источников расплавов и, следовательно, вовлекаемых в плавление частей мантийных и коровых субстратов. Для получения результатов с 1998 года автором проводились целенаправленные геологические исследования, в результате которых была создана уникальная коллекция из более чем 900 проб и образцов. Выполнено около 500 анализов состава минералов, около 300 рентгенофлюоресцентных анализов на содержание порообразующих элементов, около 200 масс-спектрометрических анализов на содержание редких элементов. Изотопно-геохимическая характеристика проведена с использованием 25 определений изотопного состава Nd, 15 определений изотопного состава Sr, 2 определений изотопного состава Hf в цирконах. В ходе исследований выполнено 44 U-Pb определения возраста по цирконам, в том числе 19 определений возраста базитов и ультрабазитов, 20 Ar-Ar определений возраста, в том числе 6 определений возраста базитов и ультрабазитов. Здесь уместно отметить высокое качество оформления диссертации.

С учетом того, что входные данные диссертации, включая геологическую, геохронологическую, геохимическую и изотопную характеристики базитов и ассоциирующих с ними пород являются преимущественно авторскими, можно полагать ее существенный вклад на новом уровне в петрологию магматизма складчатых областей.

Диссертационная работа Хромых С.В. состоит из введения, 8 глав и заключения. Общий объем работы 439 страниц, включая 103 иллюстрации и 23 таблицы. Список использованной литературы содержит 408 наименований.

В 1 главе на основе анализа литературных данных (от пионерских работ Боуэна 1934 года до публикаций 2016-2018 г.г.) рассмотрены петрологические и геодинамические модели образования различных типов земных базитов, различающихся по составу и формирующих различные магматические серии. Этот обзор, выполненный на высоком уровне, необходим для понимания особенностей проявления мантийного базитового магматизма в аккреционно-коллизионных орогенах.

Во 2 главе представлены материалы по районированию и геологическому строению территории, в пределах которой проводились исследования автора. Она охватывает Обь-Зайсанскую складчатую систему, расположенную между складчатыми сооружениями Алтая и Казахстана. На основе литературных сведений и новейших авторских данных обоснована последовательность геодинамических режимов в развитии Обь-Зайсанской складчатой системы, приведшая к формированию Алтайской аккреционно-коллизионной системы.

По литературным данным предшествующих исследователей этого сложного в геологическом плане региона приведены наиболее полные схемы расчленения и корреляции магматических комплексов. Во всех схемах ранее было выделено три этапа базитового магматизма: 1) раннекарбонный, 2) средне-позднекарбонный и 3) пермо-триасовый. Автор приводит новые возрастные даты, которые позволяют скорректировать ранние схемы расчленения и предложить новую схему магматизма для Алтайской аккреционно-коллизионной системы. Эта информация определяет **новизну** диссертационной работы и являются основой для первого защищаемого положения.

Глава 3 посвящена характеристике методов изучения геологических комплексов. Здесь приведены исчерпывающие сведения для всех этапов изучения магматических пород, от описания геологических обнажений, отбора проб, дробления, истирания до изучения минерального и химического составов. Учитывая, что автор использовал современные прецизионные методы анализа вещества с указанием места проведения исследований и подробным описанием методик, достоверность полученных геохронологических и изотопно-геохимических данных не вызывает сомнений.

Главы с 4,5,6 занимают основной объём диссертации, в них представлен авторский фактический материал. Эти главы насыщены цветными иллюстрациями (геологические схемы, фотографии шлифов, графическая информация, катодолюминесцентные изображения цирконов, выполненные с помощью растрового электронного микроскопа) и табличными данными. В этих главах автор по единой схеме охарактеризовал магматические комплексы каждого из трёх этапов их формирования (от раннего карбона до ранней перми). В эту характеристику вошли результаты геологических, петрографических, минералогических, геохимических, изотопных и геохронологических исследований базитов и ассоциирующих с ними пород. Так, в 4-й главе рассмотрены наиболее ранние (ранний карбон) магматические комплексы, сформированные на этапе сокращения океанического бассейна и начала орогенных процессов. В 5-й главе рассмотрены магматические комплексы среднего карбона, формирование которых происходило сразу после главного коллизионного события. В первую очередь это



вулканические ассоциации, заполняющие орогенные впадины и прогибы, формирование которых, согласно данным предшествующих исследований, явилось началом существенного проявления эндогенной активности в регионе. Кроме того, в этой главе рассмотрены перидотит-габбровые интрузии в Калба-Нарымской зоне, геологическая позиция которых однозначно указывает на их допермский возраст. Также приведены сведения о синхронном кислом вулканизме и субсинхронном гранитоидном магматизме. В 6-й главе рассмотрено наибольшее количество разнообразных магматических комплексов, интервал проявления которых предшествующими исследователями оценивался от среднего карбона до раннего триаса, но по новым геохронологическим данным автора образованным в ранней перми.

Очевидно, что используемый автором системный подход к изучению магматических комплексов себя полностью оправдывает, поскольку позволяет сравнивать магматизм каждого этапа между собой и оценивать эволюционные закономерности изменения составов магм и их источников во времени.

В главе 7 кратко изложены сведения о рудных (золоторудных, медно-никелевых, титан-циркониевых, редкометальных) месторождениях восточного Казахстана, что необходимо для полной характеристики разных стадий магмогенеза и сопутствующих процессов, включая пегматитообразование и гидротермальное минералообразование. Автор приходит к выводу о том, что главный объем оруденения был сформирован в ранней перми – времени наибольшего проявления эндогенной активности и магматизма.

Глава 8 является логическим продолжением всех предыдущих глав. В ней обобщены авторские материалы о геологической позиции, взаимоотношениях, составе и возрасте базитовых ассоциаций Алтайской аккреционно-коллизийной системы. Все эти данные позволили автору предложить и обосновать модели эволюции мантийных источников магматизма, увязать состав пород с геодинамическими сценариями их образования и сформулировать защищаемые положения.

Все защищаемые положения обоснованы фактическим материалом.

**Главными достижениями** диссертационной работы, расширяющими наши знания о позднепалеозойской истории геологических комплексов Алтайской аккреционно-коллизийной системы как одного из ключевых звеньев Центрально-Азиатского складчатого пояса, являются:

1. Установление меньшей продолжительности эндогенной активности: не с раннего карбона до раннего триаса (~ 90 млн. лет) для всех структурно-формационных зон как предполагалось ранее, а с конца раннего карбона (только в Жарма-Саурской зоне) до конца ранней перми для всех структурно-формационных зон (~ 60-50 млн. лет).
2. Обоснование новых возрастных границ для магматических этапов.
3. Определение вещественных параметров базитов и ассоциирующих с ними магматических пород широкого диапазона составов по содержанию  $\text{SiO}_2$ .

4. Классификация, геохимическая и изотопная характеристики типов магматических источников.
5. Обоснование одновременного участия вещества мантийной и коровой природы в ходе литосферообразующих процессов при эволюции орогенов.
6. Согласование связей составов продуктов магматизма с геодинамическими режимами и типами взаимодействия мантии и литосферы.

Учитывая сложность задач, решаемых в диссертации, возникают следующие вопросы и замечания:

1. Автор рассматривает раннеорогенный, позднеорогенный и посторогенный магматизм в возрастном диапазоне от раннего карбона до ранней перми для Алтайской аккреционно-коллизийной системы. Как известно, близковозрастные подобные стадии маркировали развитие литосферы на всем протяжении Центрально-Азиатского складчатого пояса, отражая наращивание континентальной коры в западном, юго-западном и южном направлениях по мере удаления от Сибирского кратона. Особенно отчетливо, и на это указывает сам автор, аналогии прослеживаются для раннепермских базитовых и гранитоидных ассоциаций. В связи с этим возникает вопрос о применимости предложенных автором геодинамических моделей к восточным сегментам Центрально-Азиатского складчатого пояса, включая территории Китая и южной Монголии. Иными словами могут ли рассматриваться полученные вещественные характеристики пород и их эволюция во времени в качестве эталонных для развития аккреционно-коллизийных систем?
2. Выделение трёх позднепалеозойских этапов проявления ультрабазит-базитового магматизма (~ 330-324 млн лет, ~ 315-311 млн лет, ~ 297-267 млн лет) указывает на амагматичные периоды продолжительностью в 9 и 14 млн лет. Можно ли с уверенностью говорить о существовании таких амагматичных периодов учитывая погрешности определения возраста? Если действительно были периоды отсутствия эндогенной активности, то их следовало бы объяснить в геодинамических моделях.
3. Несомненным достоинством работы является то, что автор использует геохимические данные для оценки механизмов эволюции расплавов для конкретных магматических комплексов. В то же время, некоторые интерпретации следует детализировать. Так, например, при оценке эволюции составов Преображенского массива в биотит-амфиболовых гранитах 3-й фазы описываются вариации элементов с низкими коэффициентами распределения  $C_{\text{минерал}}/C_{\text{расплав}}$  (меньше 1), которые объясняются фракционированием плагиоклаза, т.е. кристаллизационной дифференциацией. На бинарных диаграммах широкие вариации и тренд с уменьшением высоконеогерентных Zr и La по мере увеличения  $\text{SiO}_2$  вряд ли возможно объяснить только кристаллизационной дифференциацией. Для этого, очевидно, необходимо привлекать механизм смешения анатектических коровых магм, обеднённых редкими литофильными элементами, с про-



дуктами фракционирования базальтовых магм, которые представлены породами среднего состава. Для подтверждения петрологических моделей напрашиваются графики с отношениями несовместимых элементов и вынесенными на них составами эталонных анатектических гранитов.

4. В ряде случаев автор применяет разные диаграммы TAS (классификация Российская и классификация по Middlemost, 1985), что затрудняет сравнение по составу пород разных зон.
5. Табличные данные с содержаниями Cu, Zn, Sc не учитываются при обсуждении механизмов эволюции расплавов.

Приведённые выше замечания не влияют на главные результаты и выводы работы. Актуальность темы исследований, высокий научный уровень, показанный автором, его личный вклад в решение проблемы этапности и механизмов эволюции мантийных магм Алтайской аккреционно-коллизонной системы в возрастном диапазоне 330-267 млн лет, указывают на то, что рассматриваемая работа полностью отвечает требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней" ВАК. Основные результаты исследований, позволившие сформулировать защищаемые положения, представлены в 23 публикациях по теме работы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Ее автор, Хромых Сергей Владимирович, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук, по специальности 25.00.04. – петрология, вулканология.

Официальный оппонент,

Воронцов Александр Александрович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, тел. 89246100559, voront@igc.irk.ru

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

Подпись

