



ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию Хромых Сергея Владимировича
«ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИЙ БАЗИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ
АЛТАЙСКОЙ АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ
(ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)»

на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

Диссертация представляет собой образцовую разработку современного аналитического подхода при изучении геологических, в частности магматических, комплексов, что позволяет на количественном уровне обсуждать некоторые аспекты планетарной эволюции. Независимо от воззрений самого соискателя, полученные данные имеют научную ценность и являются хорошей основой для сравнительного анализа и петрогенетических выводов.

Актуальность, научная новизна и практическое значение работы
Исследование направлено на решение одного из фундаментальных вопросов петрологии о роли мантийных процессов в формировании структуры и состава континентальной коры. Ее рост тесно связан с развитием аккреционно-коллизийных поясов, которые на разных этапах своей геодинамической эволюции испытывали магматизм с характерным соотношением мантийного и корового вещества в источнике. На этом основании появляется возможность оценить степень «зрелости» подобных орогенов и масштабы плюм-литосферного взаимодействия на конкретных стадиях их формирования. В диссертационной работе эволюция тектонического режима прослеживается на примере Алтайской аккреционно-

коллизиионной системы (АКС) Восточного Казахстана, в строении которой участвуют разноформационные магматические комплексы позднего палеозоя. Сопоставление впервые полученных прецизионных геохронологических данных позволило установить этапы и общую продолжительность (~60 млн лет) мафит-ультрамафитового магматизма, уточнить его объемы и корреляционные соотношения с субсхронными гранитоидными ассоциациями АКС, выявить преобладание производных постколлизиионного магматизма в ранней перми. Благодаря всестороннему обсуждению данных по геологии, геохронологии, особенностям состава и происхождения базитовых и гранитоидных интрузий впервые показаны масштабы и взаимосвязь мантийно-корового магматизма с геодинамической эволюцией АКС. Сформулировано 5 защищаемых положений:

(1) В истории развития Алтайской АКС, возникшей в позднем палеозое при взаимодействии Сибирского и Казахстанского континентов, выделяется три этапа проявления ультрабазит-базитового магматизма: (i) конец раннего карбона (~330–324 м. л. н.): габбро-диоритовые интрузии саурского комплекса в Жарма-Саурской зоне; (ii) средний карбон (~315–311 м. л. н.): дайки долеритов и лампрофиров в Жарма-Саурской зоне, базальт-андезитовый вулканизм в Чарской зоне, габброидный интрузивный магматизм в Калба-Нарымской зоне; (iii) ранняя пермь (~297–267 м. л. н.): андезит-базальтовый вулканизм, малые интрузии габбро и пикритов, крупные габбро-монцонит-гранитоидные интрузии в Чарской зоне, дайковые пояса долеритов и лампрофиров в Калба-Нарымской зоне;

(2) Вещественный состав родоначальных магм ультрабазит-базитовых ассоциаций Алтайской АКС изменялся от раннекарбонового к среднекарбоновому и раннепермскому с последовательным увеличением содержаний K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , легких РЗЭ, Rb, Ba, Zr, Hf, Nb, Ta. Вариации составов магм определялись разным составом мантийных источников (гарцбургиты, шпинелевые лерцолиты, гранатовые лерцолиты) и разной степенью их плавления. Раннепермские ультрабазит-базитовые ассоциации наиболее обогащены TiO_2 и несовместимыми компонентами (P_2O_5 , Zr, Hf, Nb, Ta), что

свидетельствует о вовлечении в частичное плавление относительно обогащенных мантийных источников;

(3) Все проявления ультрабазит-базитового (мантийного) магматизма в Алтайской АКС сопровождалось субсинхронным коровым магматизмом (гранитоидными интрузиями или кремнекислыми вулканитами). Самый масштабный коровый магматизм был проявлен в ранней перми, его объемы в десятки раз превосходят объемы каменноугольного корового магматизма;

(4) Раннепермский гранитоидный магматизм является результатом мантийно-корового взаимодействия, которое происходило по двум различающимся механизмам: (i) базитовые магмы, находившиеся в подкоровых камерах, оказывали термальное и флюидное воздействие на коровые субстраты, приводя к образованию гранит-лейкогранитных ассоциаций в Жарма-Саурской и Калба-Нарымской зонах; (ii) базитовые магмы проникали на коровые уровни и взаимодействовали непосредственно с коровыми субстратами или анатектическим выплавками, приводя к образованию монцонит-гранитных ассоциаций в Чарской зоне. Механизмы мантийно-корового взаимодействия и объемы гранитоидов зависели от мощности и проницаемости литосферы;

(5) Мантийный и сопряженный коровый магматизм отражает последовательную смену геодинамических режимов и типов взаимодействия мантии и литосферы в развитии Алтайской АКС: (i) Раннекаменноугольный (C_{1s}) магматизм раннеорогенного этапа является результатом отрыва субдуцирующей литосферы (слэба) под окраиной Казахстанского континента; (ii) Среднекаменноугольный (C_{2m}) магматизм позднеорогенного этапа является результатом активизации сдвигово-раздвиговых движений вдоль крупных разломов и отражает коллапс орогенного сооружения; (iii) Раннепермский (300–270 м. л. н.) масштабный магматизм является результатом глобального термического возмущения в верхней мантии под воздействием Таримского мантийного плюма. Закономерности развития раннепермского магматизма отражают разные стадии взаимодействия мантийного плюма с литосферой (инициальная, максимальное взаимодействие, релаксация). Масштабное развитие раннепермского

магматизма на изученной территории обусловлено сочетанием термической аномалии в верхней мантии и процессов растяжения литосферы.

Обоснование защищаемых положений опирается на представительный фактический материал, собранный и систематизированный автором на протяжении многолетних исследований геологии Алтая с 1998 по 2019 годы. Структура и вещественный состав пород изучен в более чем 900 образцах и пробах, выполнено 500 МРСА пороодообразующих минералов, около 300 РФА и около 200 ICP-MS измерений содержания петрогенных и редких рассеянных элементов. Изотопный анализ включал 25 и 15 определений в породах изотопного состава Nd и Sr соответственно, 2 LA-ICP-MS измерения изотопов Hf в цирконе, 44 U-Pb датировки цирконов (LA-ICP-MS, SHRIMP-II), из них 19 дат получено для базит-ультрабазитовых ассоциаций, 20 Ar-Ar датировок. Исследования проводились в Аналитических центрах ИГМ СО РАН (Новосибирск), КНЦ РАН (Апатиты), ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), ГИ СО РАН (Улан-Удэ), Университета Гонконга.

Приведенные данные и комплексный подход в их интерпретации могут быть применены для палеотектонических реконструкций в складчатых поясах окраинно-континентального типа. Это позволяет проводить геологическую корреляцию при создании нового поколения геокарт по территории Казахстана, а также прогнозировать ее рудный потенциал в отношении благородных и редких металлов.

По теме диссертации опубликовано 23 статьи в рейтинговых научных журналах, включая зарубежные издания *Lithos*, *Journal of Asian Earth Sciences*, *Episodes*. Актуальность исследований поддержана проектами и грантами Государственного задания ИГМ СО РАН, РФФИ, РФФ, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Содержание работы

Диссертация имеет общий объем 439 страниц и состоит из введения, восьми глав и заключения, списка литературы из 408 наименований, 103 рисунков и 23 таблиц. Исходя из содержательной части работы и опубликованных соискателем результатов, защищаемые положения выглядят вполне обоснованными.

В обзорных главах 1 и 2 рассматриваются существующие геодинамические модели развития мантийного и корового магматизма в аккреционно-коллизиионных поясах, а также геологическая эволюция Обь-Зайсанской области герцинид/Алтайской АКС с обоснованием выбора объектов исследования. В главе 3 приводится методика исследований. К содержанию этих разделов замечаний не возникает. Соискатель великолепно ориентируется в общих теоретических аспектах магматической петрологии и оперирует самой современной геологической информацией на мировом и региональном уровне. Очевидно, поэтому он имеет полное представление о новейших методических подходах для получения и интерпретации научных данных.

Материал в главах 4–6 изложен в соответствии с принятой схемой геолого-структурного районирования Обь-Зайсанской складчатой области и включает характеристику геологического строения, вещественного состава, изотопной геохимии и геохронологии магматических комплексов, сформированных на ранне-позднеорогенном и посторогенном этапах развития Алтайской АКС. На основании этих данных: (1) проводится возрастная и структурно-вещественная корреляция магматизма и его геодинамической обстановки с главными этапами окраинно-континентального тектогенеза на примере АКС; (2) для комплексов орогенного этапа отстаивается точка зрения о генерации ювенильной базитовой магмы в результате плавления деплетированной мантии и/или материала надсубдукционного клина. Остаются вопросы, например, вещество какого обедненного мантийного домена участвовало в магмогенезисе и что послужило источником тепла? Это не уточняется и при заключительном обсуждении. Очевидно, что изотопных (Nd–Sr) данных явно недостаточно для более корректных выводов по террейну с многоэтапным развитием; (3) рассматривается возможность непосредственного участия мантийного плюма в эволюции посторогенного магматизма. При этом важная роль отводится не только обогащенным протолитам и фракционной дифференциации субщелочной мафитовой магмы, но также процессам мантийно-корового взаимодействия, включая минглинг и смешение глубинных и анатектических

расплавов. Предполагается, что подобный гибризм широко проявлен при формировании полифазных интрузий габбро-монцонит-гранитоидного состава. Для субсинхронных гранодиорит-гранит-лейкогранитных батолитов допускается плавление коровых субстратов под воздействием флюидов, отделившихся от очагов мантийной базитовой магмы.

Глава 7 представляет краткую информацию о рудном потенциале Алтайской АКС. Предполагается, что выявляемая взаимосвязь процессов рудогенеза и магматизма свидетельствует о пике эндогенного рудообразования в раннепермскую эпоху. При этом генерирующие расплавы и флюиды в той или иной степени вызваны мантийной активностью. Установленные закономерности позволяют осуществить прогноз и наметить направления региональных работ на поиски и разведку месторождений Au, Cu-Ni и редких металлов.

Глава 8 посвящена обсуждению полученных данных, на основании синтеза которых органично сформулированы защищаемые положения диссертации, предложена усовершенствованная корреляционная схема магматических и геодинамических событий. Их синхронизация в сочетании с результатами минералого-геохимического изучения парагенных ассоциаций изверженных пород способствовала разработке соискателем концептуальной модели формирования герцинской АКС в составе Центрально-Азиатского супереррейна. При этом утверждается, что тектоническая эволюция сопровождалась сменой деплетированных мантийных источников базитовых расплавов на домены с большей долей вещества обогащенной мантии. Наряду с гетерогенностью протолитов, отмечается вероятное различие по степени их плавления. Вполне реалистичным выглядит предположение о том, что пространственная сопряженность и синхронность базитов и гранитоидов обусловлены термическим воздействием мантийных магм на коровые субстраты. На завершающем постороженном этапе возникновения расплавов связывается уже непосредственно с плюм-литосферным взаимодействием. В целом, на примере крупной геологической структуры соискателю удалось провести комплексную реконструкцию развития базитового и фельзитового

магматизма аккреционно-коллизионных обстановок, подтверждающую представления о важной роли мантийных процессов в континентальном росте.

Общие замечания, вопросы для дискуссии и рекомендации

Большинство замечаний и вопросов касается констатирующей части 8.4 «Геодинамические модели...». Можно выделить следующее:

(1) Вызывает сомнение оценка длительности орогенеза (всего ~20 млн лет!), которая в данном случае опирается только на возраст магматизма (см. стр. 386);

(2) Очевидно, что предложенной вполне логичной и строгой схеме магматизма не хватает аргументов, объясняющих, с чем связаны разная степень плавления, гетерогенность и изменение глубины мантийных протолитов для субсинхронных (например, от 297–293 до 280 млн лет и не только) базитовых извержений в сравнительно небольшом по площади регионе (стр. 387–388 и др.). К тому же, возникает вопрос, чем вызвано плавление мантийного и корового субстратов в интервале ~280–276 млн лет, ведь по словам автора в это время уже происходила релаксации литосферы?

(3) Остается не понятным, что послужило источником тепла при выплавлении базитовых магм на орогенном этапе?

(4) Для полноценных выводов о природе источников базитовых магм недостаточно данных по изотопному составу Nd и Sr;

(5) Один из постулатов предложенной модели подразумевает, что массовое гранитообразование в Алтайской АКС (особенно в ранней перми) происходило за счет плавления корового субстрата под тепловым воздействием мантийной базитовой магмы. Для таких объёмов анатектических выплавок следовало бы более точно определиться с масштабами ее очагов;

(6) Очевидно, что предлагаемая модель имеет больше концептуальный эвристический характер и пока не формализована по многим параметрам (например, см. стр. 379, где объем разновозрастных подкоровых магматических камер обозначается как «...сравнительно невелик», «...мал», «...на порядки больше»). Однако заложенный в основу диссертационной работы синтез новейших геологических данных будет способствовать

дальнейшему — развитию — научных — представлений — о — реальных — и — взаимосвязанных процессах геодинамики и магматизма.

Заключение по диссертации

Большинство замечаний носит дискуссионный или рекомендательный характер, что не влияет на общее положительное впечатление от диссертации. Она является крупным фундаментально-научным обобщением в области магматической петрологии, базируется на оригинальном фактическом материале и выполнена на современном методологическом и аналитическом уровне. Работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, автореферат и публикации отражают ее содержание и главные положения. Считаю, что Хромых Сергей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

14 сентября 2020 года

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

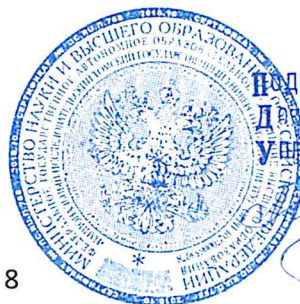
В.В. Врублевский

Официальный оппонент:

Врублевский Василий Васильевич, заведующий кафедрой динамической геологии геолого-географического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета, доктор геолого-минералогических наук, доцент. Почтовый адрес: 634050 Томск, пр-т Ленина, д. 36, НИ ТГУ, ГГФ; тел. 89039154706; e-mail: vasvr@yandex.ru

Я, Врублевский Василий Васильевич, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку

В.В. Врублевский



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ДОКУМЕНТ 1 КАТЕГОРИИ
УТВЕРЖДЕНИЯ ДЕКАНА

И. В. АНРИЕНКО