

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
государственного  
учреждения науки  
им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения  
Российской Академии наук,

Федерального  
бюджетного

Иван-корреспондент РАН

Корень Николай Николаевич



*(Handwritten signature)*

*(Handwritten date)*

2020 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)**

Диссертация «Позднепалеозойский базитовый магматизм Алтайской аккреционно-коллизонной системы (Восточный Казахстан)» выполнена в лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций (№ 211) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

В период подготовки диссертации соискатель Хромых Сергей Владимирович работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника, научного сотрудника, старшего научного сотрудника.

В 2002 году С.В. Хромых окончил с отличием магистратуру геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»), по специальности «геология» со специализацией «петрология». В 2006 году защитил диссертацию «Петрология магматических комплексов глубинных уровней коллизонных систем (на примере ранних каледонид Ольхонского региона Западного Прибайкалья)» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология» (решение Диссертационного совета Д.003.022.02 Института земной коры СО РАН от 4 октября 2006 г № 7, диплом ДКН № 012626 от 8 декабря 2006 г.).

**По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

**Объектами исследования** являются базитовые магматические комплексы, проявленные в Алтайской аккреционно-коллизонной системе, возникшей в позднем палеозое при взаимодействии Сибирского и Казахстанского континентов и закрытии Обь-Зайсанского океанического бассейна.

**Актуальность исследований.** Одной из фундаментальных научных проблем петрологии, геохимии и геодинамики является понимание механизмов формирования и эволюция континентальной коры и роли мантии в этих процессах. Многочисленные

исследования магматических комплексов аккреционно-коллизионных систем ЦАСП [Федоровский и др., 1995; Изох и др., 1998, 2011; Ярмолюк и др., 2000, 2013, 2016; Коваленко и др., 2003; Козловский и др., 2006; Цыганков и др., 2007, 2016; Воронцов и др., 2010; Xiao et al., 2010, 2018; Ковач и др., 2011, 2012; Владимиров и др., 2013, 2017; Kozlovsky et al., 2015; Konopelko et al., 2017; Шелепаев и др., 2018 и другие] позволили установить, что базит-ультрабазитовый магматизм проявляется в разных формах и на разных стадиях их развития. Проблемы соотношения различных мантийных источников в эволюции аккреционно-коллизионных орогенов, механизмы взаимодействия мантийных расплавов с литосферой на разных стадиях их развития сейчас широко обсуждаются. Предложено несколько типов геодинамических моделей, - как признающих ведущую роль тектонических движений литосферы, так и предполагающих определяющее влияние независимых энергетических источников – мантийных плюмов. До сих пор для многих регионов Центральной Азии нет единого мнения о причинах и закономерностях проявления базит-ультрабазитового магматизма. Разнообразие используемых моделей и отсутствие единого мнения о причинах активности мантии еще раз подчеркивает разнообразие всех факторов, определяющих закономерности магматизма в аккреционно-коллизионных геодинамических обстановках. Для установления закономерностей эволюции мантийного магматизма несомненно важным является получение конкретных данных о геологической позиции, возрасте, составе источника и условиях формирования магматических комплексов мантийного генезиса в пределах аккреционно-коллизионных складчатых систем.

**Цель исследования.** На основе сопоставления данных о геологической позиции, составе и возрасте, установить этапы и масштабы проявления базит-ультрабазитового и гранитоидного магматизма, выявить закономерности мантийно-корового взаимодействия и предложить геодинамические сценарии развития Алтайской аккреционно-коллизионной системы (Восточного Казахстана).

**Наиболее важные результаты, полученные соискателем:**

1. В истории развития Алтайской аккреционно-коллизионной системы, возникшей в позднем палеозое при взаимодействии Сибирского и Казахстанского континентов, выделяется три этапа проявления ультрабазит-базитового магматизма: 1) конец раннего карбона (~ 330 – 324 млн. лет назад): габбро-диоритовые интрузии саурского комплекса в Жарма-Саурской зоне; 2) средний карбон (~ 315 – 311 млн. лет назад): дайки долеритов и лампрофиров в Жарма-Саурской зоне, базальт-андезитовый вулканизм в Чарской зоне, габброидный интрузивный магматизм в Калба-Нарымской зоне; 3) ранняя пермь (~ 297 – 267 млн. лет назад): андезит-базальтовый вулканизм, малые интрузии габбро и пикритов, крупные габбро-монцит-гранитоидные интрузии в Чарской зоне, дайковые пояса долеритов и лампрофиров в Калба-Нарымской зоне.

2. Вещественный состав родоначальных магм ультрабазит-базитовых ассоциаций Алтайской аккреционно-коллизионной системы изменялся от раннекарбонového к среднекарбонovому 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 (деплементированные 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 аккреционно-коллизионной системе 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: 1) 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. 2) 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 аккреционно-коллизии системы: 1) Раннекаменноугольный ( $C_{1s}$ ) магматизм раннеорогенного этапа является результатом отрыва субдущирующей литосферы (слэба) под окраиной Казахстанского континента. 2) Среднекаменноугольный ( $C_{2m}$ ) магматизм позднеорогенного этапа является результатом активизации сдвигово-раздвиговых движений вдоль крупных разломов и отражает коллапс орогенного сооружения. 3) Раннепермский (300-270 млн. лет) 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 термического возмущения в верхней мантии и процессами растяжения литосферы.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации:**

В основу работы положен собственный материал автора, полученные в результате многолетних исследований на территории Алтайской аккреционно-коллизии системы. Первые исследования на этой территории начаты автором в 1998 году, проводились в 2002, 2003, 2005 гг., с 2008 по 2019 гг. – ежегодно. Автором лично выполнялись петрографические, минералогические и геохронологические (U-Pb датирование цирконов методом LA-ICP-MS) исследования. С.В. Хромых провел обобщение большого объема ранее опубликованных данных о геологической позиции, внутреннем строении массивов и составе пород базитовых комплексов Алтайской аккреционно-коллизии системы. С.В. Хромых является одним из главных авторов большинства статей в рецензируемых научных журналах, в которых опубликованы материалы диссертационной работы.

#### **Степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований:**

Научные положения и выводы диссертационной работы С.В. Хромых являются достоверными и обоснованными. Достоверность представленных результатов исследований основывается на высоком научно-методическом уровне и представительности исходных данных, а также корректном использовании общепринятых методик и на глубокой проработке научной литературы и ее широком использовании.

Для получения результатов использована геологическая коллекция из более чем 900 образцов, изучено более 800 петрографических шлифов. Большинство аналитических исследований проведено с использованием современного оборудования в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН, г. Новосибирск. Выполнено около 500 анализов состава минералов методами СЭМ на приборах LEO-1430VP и JEOL JSM 6510LV, около 300 рентгено-флюоресцентных анализов на содержание главных компонентов на спектрометре ARL-9900XP, около 200 анализов на содержание редких элементов на масс-спектрометре высокого разрешения Finnigan Element. Изотопно-геохимическая характеристика проведена с использованием 25 определений изотопного состава Nd (масс-спектрометр Finnigan-MAT 262,

Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты), 15 определений изотопного состава Sr (масс-спектрометр МИ-1201-АТ, ЦКП МИИ ИГМ СО РАН), 2 определения изотопного состава Hf в цирконах (масс-спектрометр Nu Plasma HR MC-ICP-MS, Университет Гонконга, Китай). В ходе исследований выполнено 44 U-Pb определения возраста по цирконам (масс-спектрометры Finnigan Element XR с системой лазерной абляции UP 213, ЦКП МИИ ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ), в том числе 19 определений возраста базит-ультрабазитовых ассоциаций; 20 Ar-Ar определений возраста (масс-спектрометр Noble Gas 5400, ЦКП МИИ ИГМ СО РАН), в том числе 6 определений возраста базит-ультрабазитовых ассоциаций.

Результаты исследований Хромых С.В. по теме диссертации опубликованы в 23 статьях в рецензируемых научных журналах.

#### **Научная новизна:**

1. Впервые выполнено исследование базит-ультрабазитовых магматических комплексов Восточного Казахстана с применением современных геологических, петрологических, изотопно-геохимических методов. Выявлены характерные особенности геологической позиции и состава разных базит-ультрабазитовых ассоциаций, на этой основе уточнен объем некоторых выделявшихся ранее комплексов и ассоциаций.

2. Впервые современными геохронологическими методами определены интервалы базит-ультрабазитового магматизма (ранний карбона, средний карбон, ранняя пермь). Впервые геохронологическими методами оценена общая продолжительность магматизма на территории Алтайской аккреционно-коллизийной системы – от конца раннего карбона до конца ранней перми (~ 330 – 270 млн. лет). Составлена новая схема корреляции магматических комплексов.

3. Благодаря сопоставлению данных о геологической позиции, составе и возрасте магматических комплексов, впервые оценены масштабы базит-ультрабазитового и гранитоидного магматизма; определено, что главный объем магматизма был проявлен в ранней перми. Установлено, что раннепермский пост-коллизийный магматизм в десятки раз по объемам превосходит аккреционно-коллизийный магматизм.

4. На основании анализа геологических, петролого-геохимических и геохронологических данных установлено, что мантийный и сопряженный коровый магматизм отражает последовательную смену геодинамических режимов и типов взаимодействия мантии и литосферы в развитии Алтайской аккреционно-коллизийной системы.

5. Впервые предложены согласованные геодинамические сценарии, объясняющие активность мантии на разных этапах развития Алтайской аккреционно-коллизийной системы.

**Практическая значимость работы соискателя.** Изложенные в работе результаты исследования могут быть использованы при корректировке схем магматизма, при геологическом картировании нового поколения на территории Казахстана. Некоторые результаты, полученные в работе, также могут быть использованы для оценки рудоносного потенциала территорий аккреционно-коллизийных складчатых систем и для прогноза размещения рудных месторождений (благородные и редкие металлы).

**Соответствие результатов работы научным специальностям.** Результаты работы соответствуют пунктам 1 (магматическая геология), 2 (магматическая петрология), 3 (рудоносный магматизм) и 5 (палеовулканология) паспорта специальности 25.00.04.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** По теме диссертации опубликовано более 50 научных работ, в том числе 23 статьи в рецензируемых научных журналах. Результаты исследований по теме работы докладывались на всероссийских и международных конференциях и совещаниях, наиболее важными из которых являются: Всероссийское научное совещание «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского складчатого пояса (от океана к континенту)» (Иркутск, 2007, 2014, 2017, 2019); Международной конференции

«Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей» (Иркутск, 2007; Качканар, 2009); Тектоническом совещании (Москва, 2008, 2019, 2020); Международной геологической конференции «Граниты и эволюция Земли» (Улан-Удэ, 2008; Новосибирск, 2014); XI Всероссийском петрографическом совещании «Магматизм и метаморфизм в истории Земли» (Екатеринбург, 2010); Международной конференции «Крупные изверженные провинции Азии» (Иркутск, 2011, 2015; Томск, 2019); Всероссийской конференции «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (Владивосток, 2011); Международном рабочем совещании по проекту IGCP-592 «Continental construction in Central Asia» (Урумчи, Китай, 2013); Международной конференции «Корреляция Алтаид и Уралид» (Новосибирск, 2014, 2016, 2018); Международном Китайско-Российском совещании по Центрально-Азиатскому складчатому поясу (Пекин, Китай, 2015; Иркутск, 2017); Международной научно-практической конференции «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан» (Алматы, Казахстан, 2015); Всероссийской петрографической конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов» (Томск, 2016, 2017, 2018); Международной научно-практической конференции «Недра Казахстана – основа стабильности и процветания страны» (Усть-Каменогорск, Казахстан, 2019).

**Основные публикации соискателя, в которых опубликованы материалы диссертации:**

*Статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:*

1. Титов А.В., **Хромых С.В.**, Владимиров А.Г., Поспелова Л.Н. Расплавные включения в гранате и кварце из дацит-порфиров Актюбинской вулканической структуры (Казахстан): Оценка условий генерации и состава первичных расплавов // Доклады РАН, 2001, т. 377, № 1, с. 86–90.
2. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Руднев С.Н., **Хромых С.В.** Геодинамика и гранитоидный магматизм коллизионных орогенов // Геология и геофизика, 2003, т. 44, № 12, с. 1321–1338.
3. Владимиров А.Г., Крук Н.Н., **Хромых С.В.**, Полянский О.П., Червов В.В., Владимиров В.Г., Травин А.В., Бабин Г.А., Куйбида М.Л., Хомяков В.Д. Пермский магматизм и деформации литосферы Алтая как следствие термических процессов в земной коре и мантии // Геология и геофизика. - 2008. - Т. 49. - № 7. - С. 621–636.
4. Крук Н.Н., Шокальский С.П., **Хромых С.В.**, Николаева И.В. Магматизм ранних стадий коллизии Сибирского и Казахстанского континентов. // Доклады РАН. – 2009. – т. 428, № 4, с. 500–504.
5. **Хромых С.В.**, Куйбида М.Л., Крук Н.Н. Петрогенезис высокотемпературных кремнекислых расплавов в вулканических структурах Алтайской коллизионной системы герцинид, Восточный Казахстан // Геология и геофизика. 2011. т. 52. № 4. с. 529–540.
6. **Хромых С.В.**, Владимиров А.Г., Травин А.В., Лобанов С.С. Габбро-пикритоидные массивы в складчатой системе герцинид Восточного Казахстана – индикатор взаимодействия плюма с коллизионной системой // Доклады Академии наук, 2011 // Доклады Академии наук. 2011. т. 441. № 5. с. 651–656.
7. Владимиров А.Г., Изох А.Э., Поляков Г.В., Бабин Г.А., Мехоношин А.С., Крук Н.Н., Хлестов В.В., **Хромых С.В.**, Травин А.В., Юдин Д.С., Шелепаев Р.А., Кармышева И.В., Михеев Е.И. Габбро-гранитные интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций // Петрология. 2013. т. 21. № 2. С. 177–201.
8. **Хромых С.В.**, Владимиров А.Г., Изох А.Э., Травин А.В., Прокопьев И.Р., Азимбаев Е., Лобанов С.С. Петрология и геохимия габброидов и пикритоидов Алтайской коллизионной системы герцинид: свидетельства активности Таримского плюма // Геология и геофизика. 2013. т. 54. № 10. с. 1648–1667.

9. **Хромых С.В.**, Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Травин А.В., Анникова И.Ю. Геохимия и возраст редкометалльных дайковых поясов Восточного Казахстана // Доклады академии наук, 2014, т. 459, № 5, с. 612-617.
10. Котлер П.Д., **Хромых С.В.**, Владимиров А.Г., Навозов О.В., Травин А.В., Караваева Г.С., Крук Н.Н., Мурзинцев Н.Г. Новые данные о возрасте и геодинамическая интерпретация гранитоидов Калба-Нарымского батолита (Восточный Казахстан) // Доклады Академии наук. 2015. т. 462. № 5. с. 572-577.
11. Котлер П.Д., Крук Н.Н., **Хромых С.В.**, Навозов О.В. Вещественный состав и источники осадочных толщ Калба-Нарымского террейна (Восточный Казахстан) // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 400. с. 345-353.
12. Соколова Е.Н., Смирнов С.З., **Хромых С.В.** Условия кристаллизации, состав и источники редкометалльных магм при формировании онгонитов Калба-Нарымской зоны Восточного Казахстана // Петрология. 2016. т. 24, № 2. с. 168-193.
13. **Хромых С.В.**, Цыганков А.А., Котлер П.Д., Навозов О.В., Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Травин А.В., Юдин Д.С., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Анциферова Т.Н., Караваева Г.С. Позднепалеозойский гранитоидный магматизм Восточного Казахстана и Западного Забайкалья: тестирование плюмовой модели // Геология и геофизика. 2016. т. 57. № 5. с. 983-1004.
14. **Хромых С.В.**, Бурмакина Г.Н., Цыганков А.А., Котлер П.Д., Владимиров А.Г. Взаимодействие габброидной и гранитоидной магм при формировании Преображенского интрузива, Восточный Казахстан // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 311–330.
15. **Хромых С.В.**, Котлер П.Д., Соколова Е.Н. Механизмы мантийно-корового взаимодействия на поздних стадиях развития Алтайской коллизионной системы герцинид // Геосферные исследования. 2017. № 1. с. 73-91.
16. **Khromykh S.V.**, Kotler P.D., Sokolova E.N., 2017. Mantle-crust interaction at the late stage of evolution of Hercynian Altai collision system, Western part of CAOB // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017 v.8. N 3, p. 489–493.
17. Safonova I., Maruyama S. Kruk N., Obut O., Kotler P., Gavryushkina O., **Khromykh S.**, Kuibida M., Krivonogov S. Pacific-type orogenic belts: Linking evolution of oceans, active margins and intra-plate magmatism // *Episodes*. 2018. v. 41. Iss. 2. p. 79-88.
18. **Хромых С.В.**, Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Котлер П.Д., Соколова Е.Н. Мантийно-коровое взаимодействие в петрогенезисе габбро-гранитоидной ассоциации Преображенского интрузива, Восточный Казахстан // Петрология. 2018. т. 26. № 4. с. 376-399.
19. **Khromykh S.V.**, Kotler P.D., Izokh A.E., Kruk N.N. A review of Early Permian (300–270 Ma) magmatism in Eastern Kazakhstan and implications for plate tectonics and plume interplay // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2019. v. 10. Iss 1. p. 79-99.
20. Kuibida M.L., Dyachkov B.A., Vladimirov A.G., Kruk N.N., **Khromykh S.V.**, Kotler P.D., Rudnev S.N., Kruk E.A., Kuibida Y.V., Oitseva T. Contrasting granitic magmatism of the Kalba fold belt (East Kazakhstan): Evidence for Late Paleozoic post-orogenic events // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019. v. 175. p. 178-198.
21. **Хромых С.В.**, Котлер П.Д., Семенова Д.В., Геохимия, возраст и геодинамические обстановки формирования Саурской габбро-гранитоидной интрузивной серии (Восточный Казахстан) // Геосферные исследования. 2019. № 2. с. 6-26.
22. **Khromykh S.V.**, Izokh A.E., Gurova A.V., Cherdantseva M.V., Savinsky I.A., Vishnevsky A.V. Syncollisional Gabbro in the Irtyshe Shear Zone, Eastern Kazakhstan: Compositions, Geochronology, and Geodynamic Implications // *Lithos*. 2019. v. 346-347. 105144.
23. **Хромых С.В.**, Семенова Д.В., Котлер П.Д., Гурова А.В., Михеев Е.И., Перфилова А.А. Орогенный вулканизм Восточного Казахстана: состав пород, возраст и геодинамическая эволюция региона // Геотектоника. 2020. № 4. с. 63-83.

Диссертация «Позднепалеозойский базитовый магматизм Алтайской аккреционно-коллизийной системы (Восточный Казахстан)» Хромых Сергея Владимировича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.04 - «петрология, вулканология».

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций (№ 211) ИГМ СО РАН. Присутствовало на заседании 34 человека, из них 1 академик РАН, 2 член-корр. РАН, 9 докторов геолого-минералогических наук, 17 кандидатов геолого-минералогических наук. Результаты открытого голосования по вопросу принятия заключения по диссертации Хромых С.В.: «за» - 34 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол от 4 июня 2020 года.

Заключение оформил:



*Изох Андрей Эмильевич,  
доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник  
и.о. зав. лабораторией петрологии  
и рудоносности магматических  
формаций (№ 211) ИГМ СО РАН*