

На правах рукописи



Готтман Ирина Альбертовна

ГОРНБЛЕНДИТЫ ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТ-
ГАББРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ УРАЛА: ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС

Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Екатеринбург - 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург)

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук,
Пушкарев Евгений Владимирович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор **Изох Андрей Эмильевич**
Институт геологии и минералогии Сибирского
отделения Российской академии наук (ИГМ СО
РАН), г. Новосибирск, заведующий лабораторией

кандидат геолого-минералогических наук
Вализер Петр Михайлович
Ильменский государственный заповедник им.
В.И. Ленина Уральского отделения Российской
академии наук (ИГЗ УрО РАН), г. Миасс,
директор

Ведущая организация: **ОАО «Уральская геологосъемочная
экспедиция» г. Екатеринбург**

Защита состоится «10» июня 2014 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета ДК 004.021.02 при Институте геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук по адресу: г. Екатеринбург, пер. Почтовый, д. 7, в актовом зале.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН (<http://www.igg.uran.ru>).

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим присылать по адресу: 620075, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, д. 7, ученому секретарю диссертационного совета.

Телефон: (343)371-19-97, факс: (343)371-19-97, e-mail: krupenin@igg.uran.ru

Автореферат разослан «.....» апреля 2014г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



М.Т. Крупенин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Горнблендиты – практически мономинеральные амфиболовые породы, тесно ассоциированные с клинопироксенитами в различных по генезису и геотектонической позиции мафит-ультрамафитовых комплексах. Наиболее широко они распространены в дунит-клинопироксенит-габбровых комплексах Урало-Аляскинского типа, развитых в островодужных конвергентных обстановках (массивы Платиноносного пояса Урала (ППУ), Юго-Восточной Аляски и их аналоги). В таких комплексах объем горнблендитов может достигать существенной величины, и они могут быть либо интегрированы с ультрамафитами, либо слагать самостоятельные интрузивные тела, вплоть до образования крупных массивов. Вместе с клинопироксенитами горнблендиты являются рудовмещающими для ванадий-титаномагнетитового оруденения так называемого качканарского типа, образование которого является дискуссионным. Генезис горнблендитов практически не изучался и не обсуждался в научной литературе, хотя большинство исследователей отмечают существенную петрогенетическую роль амфибола при генезисе базальтов, андезитов и при их дифференциации, при плавлении мантийных субстратов различного состава. Амфибол рассматривается как один из важных минералов-источников магматогенного и метаморфогенного флюида. Кристаллохимическая емкость амфибола в отношении редких и редкоземельных элементов и возможность его существования в широком диапазоне Р-Т параметров позволяет рассматривать его как один из главных минералов, определяющих геохимический фон магматических пород, производных различных мантийных субстратов. Особенно подчеркивается роль амфибола при генерации магм в супрасубдукционных обстановках и при плавлении мантийного клина (Cawthorn et al. 1973; Schiano et al., 2004; Medard, Schmidt, 2006; Larocque, Canil, 2010 и др.). Еще в классической работе Г. Йодера и К. Тилли (Йодер, Тилли, 1965) было отмечено, что амфибол - это единственный из всех порообразующих минералов, соответствующий по составу природным расплавам основного или пикритобазальтового состава, но ответа на то, почему такие магмы могли кристаллизоваться в виде горнблендитов, дано не было. В настоящее время существуют две альтернативные модели образования горнблендитов: магматическая и реакционно-метасоматическая. Согласно магматической модели, горнблендиты формируются при кристаллизации амфибола из остаточных флюидонасыщенных расплавов, связанных с дифференциацией пикробазальтов, анкарамитов или клинопироксенитов (Тейлор, Нобл, 1973; Irvine, 1974; Ферштатер, Пушкарев, 1987; Ферштатер, 1999). По реакционно-метасоматической модели, формирование горнблендитов происходит за счет

ультрамафитов и габброидов в результате их замещения амфиболом при метаморфизме пород, либо при их метасоматической трансформации под действием более молодых интрузий основного или кислого состава (Заварицкий, 1956, 1961; Воробьева и др., 1962; Фоминых и др., 1967, 1987; Ефимов, 1995; Иванов, 1997; Попов, Никифорова, 2004).

Таким образом, исследование, направленное на установление генезиса горнблендитов, является актуальным как с точки зрения фундаментальных аспектов петрологии, так и в прикладном отношении, поскольку горнблендиты являются вмещающими для титаномагнетитового оруденения.

Цель работы. Исследование направлено на решение проблемы генезиса горнблендитов – практически мономинеральных или богатых амфиболом пород, слагающих значительные массы в мафит-ультрамафитовых комплексах Урало-Аляскинского типа и вмещающих титаномагнетитовое оруденение.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определение геологического положения горнблендитов в дунит-клинопироксенит-габбровых комплексах Платиноносного пояса Урала и в Хабаровском полиформационном мафит-ультрамафитовом аллохтоне на Южном Урале и установление их геологических взаимоотношений с ультрамафитами и габброидами. Структурно-морфологическая типизация горнблендитов.
2. Тестирование модели реакционно-метасоматического генезиса горнблендитов при взаимодействии клинопироксенитов с интрузиями гранитоидов.
3. Получение доказательств магматической природы горнблендитов на основе изучения минералогии реакционных зон вокруг ксенолитов перидотитов в эруптивных брекчиях с горнблендитовым цементом. Определение Р-Т параметров взаимодействия горнблендитов с перидотитами.
4. Установление природы высокоглиноземистого клинопироксена фассаитового типа в горнблендитах и титаномагнетитовых клинопироксенитах Платиноносного пояса Урала.
5. Определение природы флюида, участвующего в формировании горнблендитов (амфибола) на основе изучения геохимии стабильных изотопов кислорода и водорода.
6. Определение возраста горнблендитов, маркирующего верхний предел образования ультрамафит-мафитовых комплексов Урало-Аляскинского типа.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертации положен материал полевых исследований Кытлымского, Светлоборского и Хабаровского массивов на Урале в периоды 1996-1997,

2002-2003 и 2007-2011 гг, в которых автор принимал личное участие, выполнял картирование детальных участков, зарисовки, фотографирование и документацию обнажений, отбор проб. Во время полевых работ собрана коллекция из 350 проб горных пород. Все пробы прошли стандартную процедуру подготовки для лабораторных исследований: дробление (дробилка ВВ-200, ВВ-51), квартование, истирание (вибрационный истиратель со стальными стержнями, механическая агатовая ступка RM-200 фирмы Retsch). Выделение минералов проводилось с помощью комбинирования различных методов (магнитная и электромагнитная сепарация, разделение в тяжелых жидкостях, ручная разборка).

Было изучено более 400 петрографических и 70 прозрачно-полированных шлифов на поляризационном петрографическом микроскопе серии ПОЛАМ и Carl-Zeiss Jena Axioplan.

Состав пород и минералов был изучен в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (руководитель академик С.Л.Вотьяков). Химический состав пород определялся рентгенфлюоресцентным методом на спектрометрах СРМ-18, 25 и EDX- 900 HS. Fe_2O_3 , Na_2O и потери при прокаливании были определены методами «мокрой химии». Анализы на редкие и редкоземельные элементы были выполнены методом ICP-MS на ELAN 9000 по стандартной методике, принятой в лаборатории. Состав минералов и их строение были изучены на рентгеновском микроанализаторе Cameca SX-100 и электронном сканирующем микроскопе JEOL 6390LV с ЭДС приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (аналитики Д.А. Замятин, В.В. Хиллер, С.П. Главатских). Определения изотопного состава кислорода и водорода в минералах были проведены в изотопной аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (Владивосток) на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 252 (руководитель: А.В. Игнатъев). Определение изотопного возраста цирконов было проведено в Изотопном центре ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) с использованием SHRIMP-II по стандартной методике и в изотопной лаборатории Института геологии Кольского НЦ (Апатиты) под руководством Т.Б. Баяновой на масс-спектрометре Finnigan MAT-262 (RPQ).

Научная новизна. Получены петрологические доказательства, что амфиболовые породы, образующиеся при взаимодействии пироксенитов с гранитоидным расплавом, не соответствуют по составу горнблендитам Платиноносного пояса Урала, поэтому такой механизм неприемлем для объяснения генезиса горнблендитов.

На основе систематизации авторских и литературных геологических и петрологических данных предложено выделять два морфогенетических типа горнблендитов: 1) горнблендиты, связанные постепенными переходами с клинопироксенитами и образующие с ними единые тела; 2) горнблендиты,

образующие жилы и дайки секущие ультрамафиты, и слагающие цемент эруптивных брекчий с ультраосновными ксенолитами. Показано, что горнблендиты 2-го типа представляют собой продукт кристаллизации флюидонасыщенного расплава, отделившегося от ультраосновного источника и эволюционирующего самостоятельно.

Получены первые данные об изотопном составе $\delta^{18}\text{O}$ и δD в амфиболах из горнблендитов Платиноносного пояса Урала и Хабаровинского массива, свидетельствующие о мантийно-магматической природе флюида, равновесного с кристаллизацией амфибола горнблендитов.

Показано, что высокоглиноземистый клинопироксен фассаитового типа в горнблендитах имеет магматическое происхождение и кристаллизуется совместно с амфиболом, а иногда и завершает кристаллизацию горнблендитов и не связан с процессами скарнирования, как это предполагалось ранее.

Установлено, что формирование горнблендитов завершает образование дунит-клинопироксенит-тылаитовых серий. Впервые проведенное нами изотопное U-Pb датирование по цирконам и Ar-Ar датирование по амфиболам возраста образования горнблендитов в Кытлымском и Хабаровинском массивах показало, что они формировались в раннем девоне (415 млн. лет) и (408-400 млн. лет) соответственно. С учетом литературных данных (Иванов, Калеганов, 1993; Семенов, 2007) можно утверждать, что главный эпизод образования горнблендитов на Урале укладывается в интервал 430-400 млн. лет.

Степень проработанности и вклад автора в проведенное исследование. Литературный обзор по теме диссертации выполнен автором самостоятельно. В процессе проведения исследований автор участвовал в полевых работах, лично выполнял документацию обнажений и занимался отбором проб. Лабораторная обработка проб для подготовки их к аналитическим исследованиям выполнялась автором лично. Изучение петрографических шлифов и полировок также проводилось автором лично, с привлечением для консультаций научного руководителя и сотрудников лаборатории. Автор готовил образцы и принимал непосредственное участие в изучении состава минералов на рентгеновском микроанализаторе Cameca SX-100 и электронном микроскопе JEOL 6390LV под руководством сотрудников ЦКП «Геоаналитик». Подготовка проб и выделение минералов для проведения изотопных исследований и определения возраста пород выполнялись автором совместно с техническим персоналом лаборатории петрологии магматических формаций ИГГ УрО РАН под наблюдением научного руководителя. Интерпретация изотопных данных выполнена диссертантом самостоятельно. Типизация горнблендитов на два

морфогенетических типа, описание геологического положения пород и их взаимоотношений с ультрафамитами и габброидами выполнены автором совместно с научным руководителем. Обнаружение и изучение структурного положения и состава высокоглиноземистого клинопироксена фассаитового типа в горнблендитах и интерпретация его генезиса полностью является инициативным исследованием автора.

Защищаемые положения: 1. Горнблендиты дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа образовались в ходе кристаллизации остаточных флюидонасыщенных расплавов пикробазальтового состава, связанной с дифференциацией первичных высокоизвестковистых клинопироксенитовых или анкарамитовых магм. Кристаллизация остаточного расплава *in situ* приводит к формированию серии ультраосновных пород, в разной степени обогащенных амфиболом, вплоть до образования массивных горнблендитов, связанных с клинопироксенитами постепенными переходами (первый морфогенетический тип горнблендитов).

Отделившийся от ультраосновного источника горнблендитовый расплав формирует активные интрузивные тела: дайки, штоки, эруптивные брекчии, прорывающие как более ранние ультраосновные породы, так и метаморфические породы обрамления массивов, что является доказательством магматической природы горнблендитов (второй морфогенетический тип горнблендитов).

2. Высокое давление воды в горнблендитовом расплаве препятствует кристаллизации плагиоклаза и в некоторых случаях приводит к совместной с амфиболом равновесной кристаллизации высокоглиноземистого низкокремнистого клинопироксена фассаитового типа, поэтому образование такого клинопироксена является индикатором высокого давления воды и окисленности при кристаллизации горнблендитов.

3. Горнблендиты формируются на заключительных стадиях становления дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урала в интервале поздний силур - ранний девон (430-400 млн. лет) и маркируют время завершения высокоизвестковистого мафит-ультрамафитового магматизма и образования комплексов Урало-Аляскинского типа.

Практическое значение. Данные о возрасте горнблендитов, завершающих формирование платиноносных дунит-клинопироксенитовых массивов Урала, могут быть использованы при проведении геологосъемочных работ и составлении легенд геологических карт. Горнблендиты, наравне с клинопироксенитами, являются рудовмещающими для титаномагнетитового оруденения качканарского типа, поэтому определение генезиса пород позволяет решать вопросы происхождения

титаномагнетитового оруденения и закономерностей его пространственного распределения в комплексах Урало-Аляскинского типа. Внедрение жил и даек горнблендитов рассматривается как один из факторов, обуславливающих перераспределение и переотложение платиноидов в дунитах Платиноносного пояса Урала и формирование в них метаморфогенной платиновой минерализации, на что следует обращать внимание при проведении поисково-разведочных работ на платиноиды. Данные о геологическом положении горнблендитов, их тесной генетической связи с клинопироксенитами и доказательства их магматической природы могут быть использованы при составлении учебных программ и чтения лекций по теме «Петрография и генезис магматических горных пород» в высших учебных заведениях.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на всероссийских и международных совещаниях и конференциях: «Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения» (г. Екатеринбург, 2009); «Петрогенезис и рудообразование» (г. Екатеринбург, 2009); «Магматизм и метаморфизм в истории Земли» (Екатеринбург, 2010); «Наука, природа и общество» (г. Миасс, 2010); «Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы» (Екатеринбург, 2012) и других.

Основные материалы и положения диссертации изложены в 28 работах, из них 5 статей в журналах по списку ВАК, 10 статей в сборниках и 13 - в тезисах докладов и материалах конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы, и содержит 142 страницы текста, 53 рисунка и 20 таблиц. Список литературы включает 216 наименований.

Во *введении* определены актуальность, цели и задачи работы, указаны методы исследования, а также сформулированы защищаемые положения. В *первой главе* рассмотрена проблема классификации и номенклатуры горнблендитов в рамках существующих петрохимических классификаций горных пород; сделан краткий обзор сведений о геологическом положении и генезисе горнблендитов в различных ассоциациях магматических пород. Во *второй главе* рассмотрено геологическое положение горнблендитов в мафит-ультрамафитовых массивах Платиноносного пояса Урала – Кытлымском и Светлоборском на Северном и Среднем Урале соответственно, и Хабаровинском полиформационном мафит-ультрамафитовом аллохтоне на Южном Урале. Приведены результаты изучения минералогии реакционных зон вокруг ксенолитов перидотитов в эруптивных брекчиях с горнблендитовым цементом, а также результаты тестирования реакционно-метасоматической модели образования горнблендитов при взаимодействии

клинопироксенитов с интрузиями гранитоидов. В *третьей главе* приведены результаты определения возраста горнблендитов Кытлымского и Хабарнинского массивов. В *четвертой и пятой главе* дана минералого-петрографическая характеристика горнблендитов и ассоциированных с ними клинопироксенитов. В *шестой главе* рассмотрены петро-геохимические особенности горнблендитов и результаты изотопного исследования амфибола. В *седьмой главе* обсуждается генезис горнблендитов. В *заключении* приведены основные результаты работы.

Благодарности. Работа выполнена в лаборатории петрологии магматических формаций Института геологии и геохимии УрО РАН им. А.Н. Заварицкого под руководством ведущего научного сотрудника Евгения Владимировича Пушкарева, которому автор признателен за советы, обсуждение результатов по ходу исследования и совместную работу. Автор благодарит профессора Германа Борисовича Ферштатера за постоянное внимание, консультации и содействие в работе. За внимание, помощь в проведении исследований автор благодарит своих коллег из лаборатории магматических формаций ИГГ УрО РАН: Н.С. Бородину, С.В. Прибавкина, В.В. Холоднова, Т.А. Осипову, Г.Ю. Шардакову, В.Г. Крживицкую. Автор благодарит администрацию института геологии и геохимии УрО РАН, директора академика С.Л. Вотякова, зам. директора Е.В. Аникину за поддержку в проведение исследований. Особая благодарность сотрудникам Центра коллективного пользования «Геоаналитик» Ю.В. Щаповой, В.Г. Гмыре, Н.П. Горбуновой, Д.А. Замятину, Д.В. Киселевой, В.В. Хиллер, Т.Я. Гуляевой, С.П. Главатских и др. Работа была выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №№ 13-05-00597, 13-05-96031 p_урал_a (РФФИ-Урал – Правительство Свердловской области) и совместных проектов УрО-СО-ДВО РАН № 12-С-5-1004.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Горнблендиты постоянно встречаются в дунит-клинопироксенитовых массивах Платиноносного пояса Урала (Заварицкий, 1956; Воробьева и др., 1962; Фоминых и др., 1974, 1987; Иванов, 1997 и др.), Юго-Восточной Аляски (Irvine, 1974; Himmelberg, Loney, 1995), в других мафит-ультрамафитовых ассоциациях. Так, в восточно-хабарнинском дунит-клинопироксенит-вебстерит-габброноритовом комплексе (ВХК) (Варлаков, 1978), входящем в структуру Хабарнинского полиформационного аллохтона на Южном Урале, горнблендиты образуют дайки различной протяженности и мощности, объединенные в многокилометровые жильные поля. Горнблендиты тесно ассоциированы с ультраосновными породами, преимущественно с клинопироксенитами, вместе с которыми они вмещают

крупные по запасам месторождения титаномагнетитовых руд, например, Качканарское месторождение на Среднем Урале (Фоминых и др., 1987) и целый ряд более мелких. В Ревдинском массиве ППУ горнблендитами сложено крупное линейное тело, вмещающее Первоуральское титаномагнетитовое месторождение (Фоминых и др., 1974). Во многих массивах встречаются дайки горнблендитов, секущих более ранние ультраосновные породы. Они могут формировать тела эруптивных брекчий с ксенолитами перидотитов, хромититов, титаномагнетитов и даже динамотермальных метаморфических пород. Жильные горнблендиты отсутствуют среди габброидов, формирующих самостоятельные массивы в Платиноносном поясе Урала. По характеру геологических взаимоотношений с ультраосновными породами можно выделить два морфогенетических типа горнблендитов (Готтман, Пушкарев, 2009): I – горнблендиты имеющие непрерывные переходы с клинопироксенитами, II – горнблендиты, образующие дайки и интрузивные тела, прорывающие ультрамафиты. Горнблендиты второго типа обладают всеми геологическими признаками магматических пород. Для исследования были выбраны горнблендиты Кытлымского, Светлоборского массивов Платиноносного пояса Урала (ППУ) и Хабаровинского полиформационного мафит-ультрамафитового аллохтона (рис. 1).

Первое защищаемое положение. **Горнблендиты дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа образовались в ходе кристаллизации остаточных флюидонасыщенных расплавов пикробазальтового состава, связанных с дифференциацией первичных высокоизвестковистых клинопироксенитовых или анкарамитовых магм. Кристаллизация остаточного расплава *in situ* приводит к формированию серии ультраосновных пород, в разной степени обогащенных амфиболом, вплоть до образования массивных горнблендитов, связанных с клинопироксенитами постепенными переходами (первый морфогенетический тип горнблендитов).**

Отделившийся от ультраосновного источника горнблендитовый расплав формирует активные интрузивные тела: дайки, штоки, эруптивные брекчий, прорывающие как более ранние ультраосновные породы, так и метаморфические породы обрамления массивов, что является доказательством магматической природы горнблендитов (второй морфогенетический тип горнблендитов).

Геологические исследования в Кытлымском (Северный Урал, ППУ), Светлоборском (Средний Урал, ППУ) и Хабаровинском (Южный Урал) массивах показали, что горнблендиты имеют разные геологические соотношения с клинопироксенитами и другими ультраосновными породами,

с которыми они тесно пространственно ассоциированы. В одних случаях, горнблендиты связаны постепенными переходами с клинопироксенитами, образуя вместе с ними массивы, нередко вмещающие титаномагнетитовое оруденение или даже месторождения (горнблендиты I-го типа). В других случаях, горнблендиты образуют жилы и дайки, секущие дуниты, верлиты и клинопироксениты (горнблендиты II-го типа) (Готтман, Пушкарев, 2009).

К **горнблендитам I-го типа** можно отнести породы, развитые в Качканарском и других массивах ППУ (Воробьева и др., 1962; Москалева, 1964; Фоминых и др., 1987). Их происхождение связывают с амфиболизацией клинопироксенитов или оливиновых габброидов в процессе метаморфических преобразований этих пород или в связи с воздействием на них более молодых интрузий, являющихся источником тепла и вещества (Фоминых, 1987; Ефимов, 1991; Иванов, 1997; Попов, Никифорова, 2004). В качестве наглядного примера, демонстрирующего метасоматическое развитие амфибола по клинопироксену, исследователи приводят реакционные амфиболовые каймы, окружающие ксенолиты клинопироксенитов в гранитоидах (Заварицкий, 1956; Фоминых и др., 1987). Для тестирования этой модели нами были изучены пироксенитовые брекчии в гранитоидах Кытлымского, Уктусского, Шабровского и других массивов Урала. Согласно нашим данным (Готтман, Пушкарев, 1997) амфибол, формирующийся при воздействии гранитоидов на клинопироксениты, характеризуется умеренными и низкими содержаниями глинозема, более низкими концентрациями титана и щелочей по сравнению с амфиболом из горнблендитов. Реакционный амфибол обладает отрицательными аномалиями Sr и Ba и распределением R3Э, близким к таковому в гранитоидах. Наши исследования показывают, что в результате метасоматической реакции между клинопироксенитами и гранитоидами не происходит образование амфибола, характерного для горнблендитов.

Горнблендиты I-го типа были изучены нами (Готтман, Пушкарев, 2010) в молостовском дифференцированном интрузиве, входящем в состав одноименного комплекса в Хабарнинском мафит-ультрамафитовом аллохтоне на Южном Урале (Ферштатер и др., 1981; Петрология постгарцбургитовых..., 1991). Молостовский интрузив сложен гомодромной серией пород: оливиновые клинопироксениты – горнблендиты – меланогаббро – гранитоиды, которые прорывают офиолитовые гарцбургиты Хабарнинского массива. Амфибол-оливиновые клинопироксениты являются наиболее ранними породами, слагающими до 30% интрузива. Изучение клинопироксенитов показало, что они образовались в результате многостадийной кристаллизации, которая начиналась с высокомагнезиального оливина и клинопироксена, продолжалась

железистым оливином и клинопироксеном, а заканчивалась формированием высокоглиноземистого амфибола и титаномагнетита (Пушкарев, 1987; Пушкарев, 1989 и др.). Доля амфибола, его состав и структурное положение закономерно меняются в зависимости от того, какой стадии дифференциации соответствует пироксенит. В более магнезиальных клинопироксенитах доля амфибола не превышает первых процентов и он занимает интерстициальное положение. В более дифференцированных клинопироксенитах доля амфибола возрастает до 15-20% и он формирует крупные пойкилокристы с многочисленными включениями зонального клинопироксена и идиоморфного титаномагнетита. Переход к горнблендитам с долей амфибола до 75-95% осуществляется через породы, содержащие амфибол и клинопироксен практически в равных количествах (рис. 3). Пока клинопироксен преобладает в породе, амфибол всегда цементирует его, оставаясь ксеноморфным. В горнблендитах амфибол приобретает идиоморфизм, а межзерновое пространство заполняет криптовый, ксеноморфный плагиоклаз, количество которого в породе обычно не превышает 10-15%. Состав амфибола также закономерно меняется. В клинопироксенитах амфибол имеет $f=0.22-0.33$ и $Al_2O_3=12-14$ мас.%, TiO_2 около 1%, в клинопироксеновых горнблендитах – $f=0.28-0.44$ и $Al_2O_3=13-15$ мас.%, TiO_2 1.3-1.5%, в горнблендитах – $f=0.29-0.47$ и $Al_2O_3=14-16$ мас.%, TiO_2 около 2%. Суммарное содержание щелочей и стронция в амфиболе также возрастает в этом направлении. Это свидетельствует о тесной генетической связи клинопироксенитов и горнблендитов, что подтверждается и геохимическими данными (рис. 4). Так, амфибол-оливиновые клинопироксениты имеют более низкие концентрации РЗЭ, чем клинопироксеновые и плагиоклазсодержащие горнблендиты, но одинаковый с ними характер распределения (рис. 4 а, б). Клинопироксен и амфибол в клинопироксенитах имеют сходный характер распределения РЗЭ при более высоком уровне концентраций элементов в амфиболе, что является признаком кристаллизации амфибола из расплава, а не образования его в результате замещения пироксена (рис. 4 в) (Tribuzio et al., 1999). Эти данные подтверждают идею (Ферштатер, Пушкарев, 1987), что горнблендиты являются остаточными расплавами, образующимся при дифференциации клинопироксенитовых или анкарамитовых магм.

Горнблендиты II-го типа формируют жилы и дайки различной протяженности и мощности, секущие ультраосновные породы. Часто жильные горнблендиты содержат значительный объем ксенолитов ультрабазитов, иногда фрагменты хромититов, титаномагнетитовых руд и метаморфических пород. Такие горнблендиты широко развиты в Кытлымском, Светлоборском и Хабарнинском массивах на Урале, где и

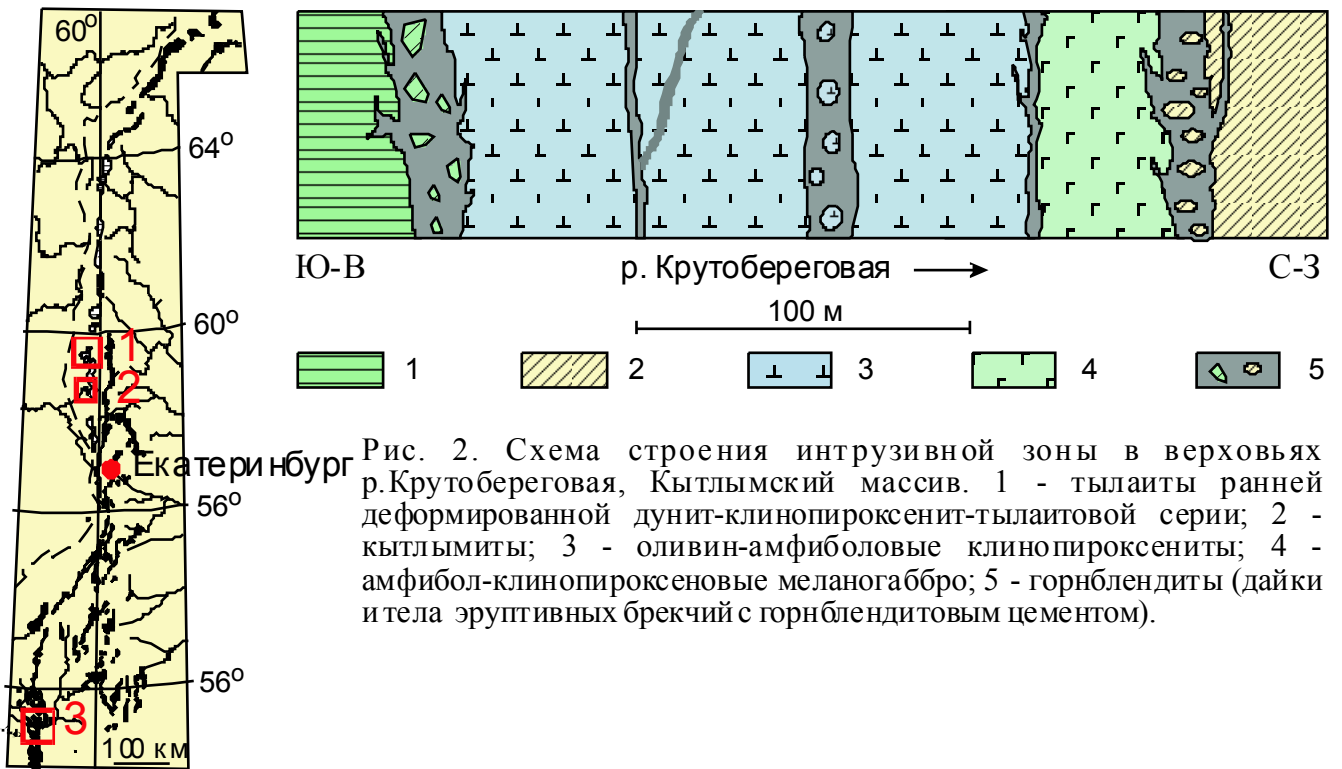


Рис. 2. Схема строения интрузивной зоны в верхьях р. Крутобереговая, Кытлымский массив. 1 - тылаиты ранней деформированной дунит-клинопироксенит-тылаитовой серии; 2 - кытлымиты; 3 - оливин-амфиболовые клинопироксениты; 4 - амфибол-клинопироксеновые меланогаббро; 5 - горнблендиты (дайки и тела эруптивных брекчий с горнблендитовым цементом).

Рис. 1. Положение изученных массивов: 1 - Кытлымский, 2 - Светлый Бор, 3 - Хабарнинский.

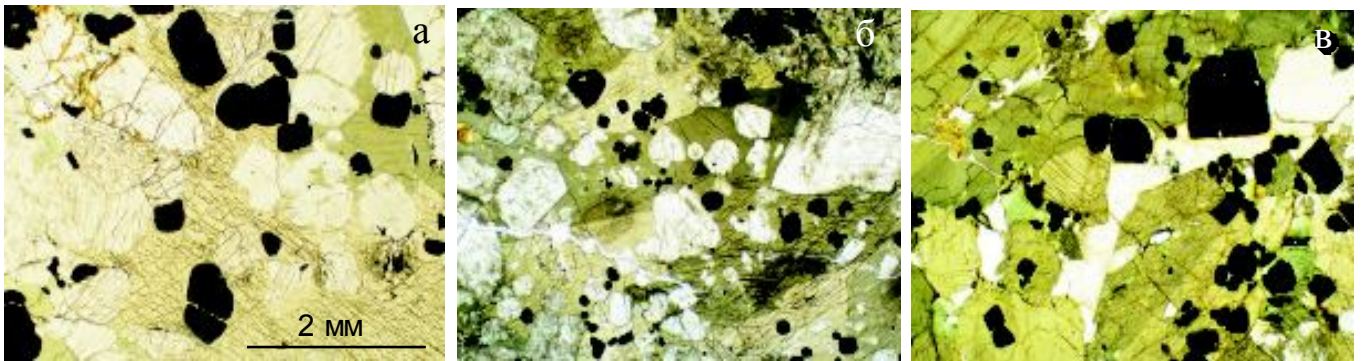


Рис. 3. Микрофотографии показывающие постепенный переход от амфибол-оливиновых клинопироксенитов (а) к клинопироксеновым горнблендитам (б) и горнблендитам первого типа (в). Молостовский интрузив, Хабарнинский массив.

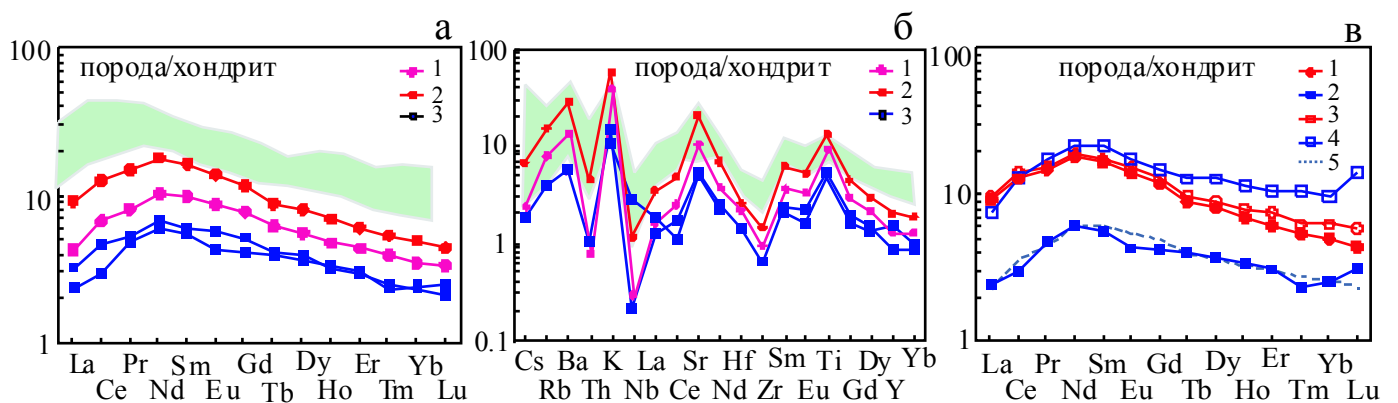


Рис. 4. Распределение редких и редкоземельных элементов в горнблендитах, клинопироксенитах и минералах из них (Хабарнинский массив). а, б - породы. Горнблендиты I-го типа: 1-клинопироксеновые, 2-плагиоклазсодержащие; 3- амфибол-оливиновые клинопироксениты. Поле составов горнблендитов II-го типа. в - породы: 1 - горнблендит, 2 - амфибол-оливиновый клинопироксенит, 3-4 - не залитые круги, квадраты (соответственно) амфиболы из этих пород. 5 - клинопироксен из клинопироксенита. Нормирование на хондрит по (Sun, McDonough, 1989).

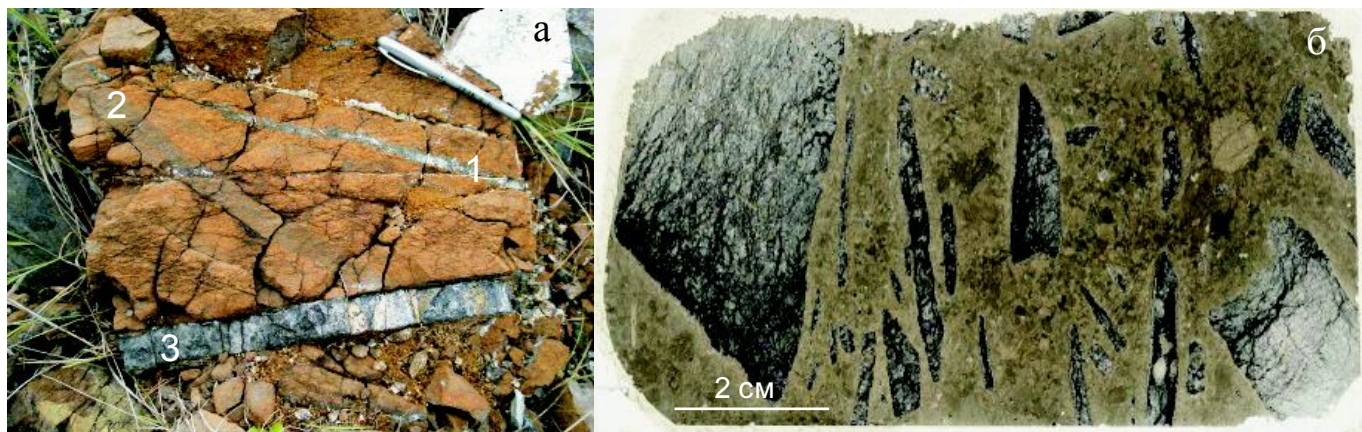


Рис. 5. а - взаимоотношения жильных пород в дунитах Светлоборского массива. 1 - клинопироксенит с сегрегациями хромитов; 2 - поздний верлит; 3 - горнблендит. б - перидотитовая брекчия с горнблендитовым цементом (кern скважины № 570, глубина 327 м, Хабаровский массив).

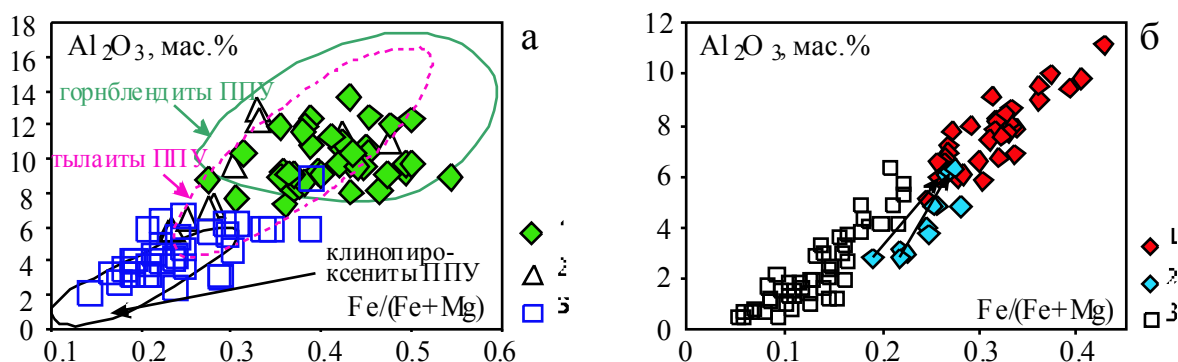


Рис. 6. Диаграмма Fe/(Fe+Mg) - Al₂O₃ для пород (а) и клинопироксенов (б). а - породы Кытлымского, Светлоборского и Хабаровского массивов: 1 - горнблендиты, 2 - меланогаббро, 3 - амфибол-оливиновые клинопироксениты. Поля составов пород ППтиноносного пояса Урала (ППУ) (Ефимов, Ефимова, 1967; Фоминых и др., 1987; Иванов, 1987). б - состав клинопироксенов: 1, 2 - жильные горнблендиты Светлоборского массива (1 - диопсид, 2 - фассаит); 3 - амфибол-оливиновые клинопироксениты (Кытлымского, Светлоборского и Хабаровского массивов).

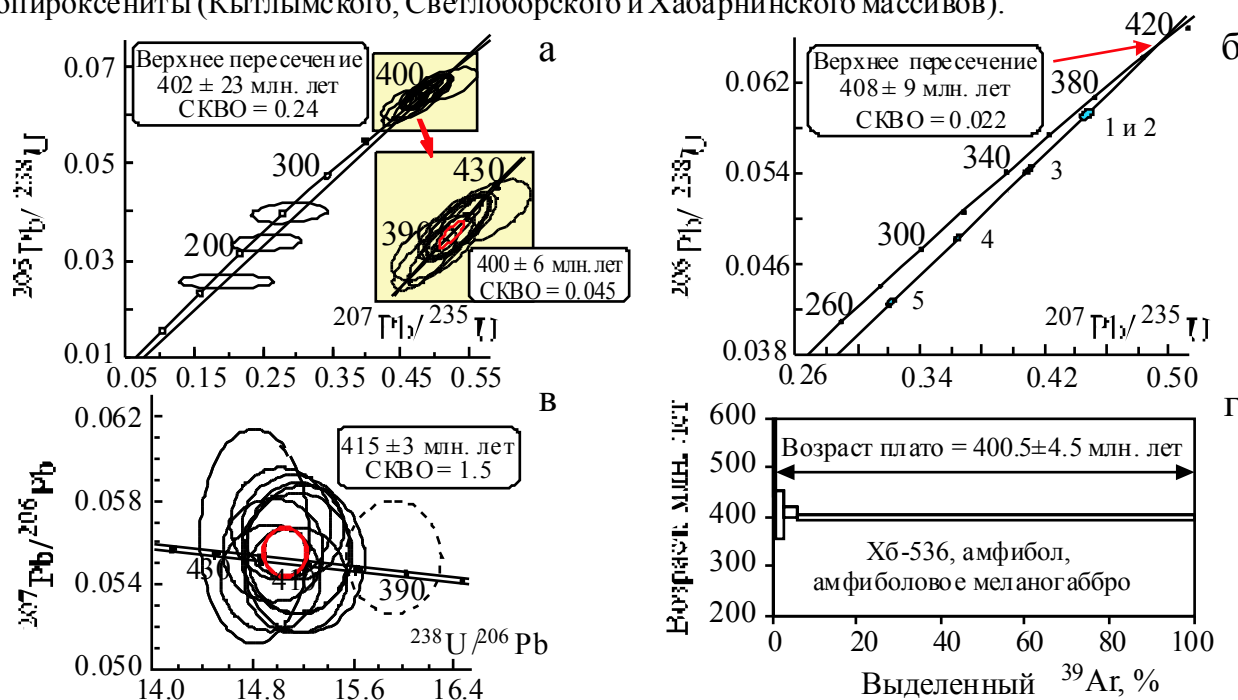


Рис. 7. а - в - U-Pb диаграмма с конкордией для цирконов: а, б - жильные горнблендиты Хабаровского массива; в - амфибол-клинопироксеновое меланогаббро Кытлымского массива. г - результаты ⁴⁰Ar/³⁹Ar исследования амфиболов из амфиболовых габбро молостовского комплекса, Хабаровского массива. а, в - по данным SHRIMP-II (ВСЕГЕИ), б) по данным ID-TIMS (ГИ КНЦ РАН). 1-5 - номера фракций цирконов (см. текст).

были детально изучены (Готтман, Пушкарев, 2009, 2010). По нашим данным, в Кытлымском габбро-гипербазитовом массиве ППУ горнблендиты входят в состав относительно молодой (Пушкарев и др., 2001), недеформированной клинопироксенит-меланогаббро-горнблендитовой серии, которая прорывает более древние и деформированные тылаиты Тылай-Конжаковской структуры Кытлымского массива (Ефимов, Ефимова, 1967; Иванов, 1997). Представительный разрез серии вскрыт в северо-западном эндоконтакте массива в верховьях реки Крутобереговая (рис. 2). Наиболее ранними породами молодой серии являются крупнозернистые амфибол-оливиновые клинопироксениты, которые последовательно прорываются амфибол-клинопироксеновыми меланогаббро, горнблендитами и меланократовыми амфиболовыми габбро-пегматитами. Составы пород лежат на общих петрохимических трендах, обладают единством геохимических особенностей и закономерными вариациями составов породообразующих минералов, что позволяет, с учетом их структуры и геологического положения, объединять их в единую магматическую серию. Горнблендиты формируют многочисленные дайки и интрузивные тела в ранних клинопироксенитах и меланократовых амфибол-клинопироксеновых габброидах собственной серии и в более древних тылаитах, но преимущественно содержат ксенолиты дунитов, верлитов и клинопироксенитов древней серии, которые не обнажаются в непосредственном окружении горнблендитов. Среди ксенолитов также были отмечены фрагменты титаномагнетитовых руд и амфибол-плагиоклазовых низкостронциевых амфиболитов (кытлымитов) из экзоконтакта массива. Жильные горнблендиты встречаются также в Косьвинском дунитовом теле на горе Косьвинский Камень, где они образуют единичные дайки, секущие дуниты и связанные с ними хромитовые сегрегации. Мощность даек варьирует от первых сантиметров до 0.4 м.

В Светлоборском массиве встречаются горнблендиты I и II типа. Первые ассоциируют с клинопироксенитами, окружающими дунитовое ядро массива, и с отдельно залегающим западнее телом амфибол-оливиновых клинопироксенитов (Иванов, 1997). Горнблендиты 2-го типа пользуются в Светлоборском массиве широким распространением. Они образуют рои субвертикальных и пологих даек субмеридионального простирания, секущих дуниты в центральной и западной частях массива (Готтман, Пушкарев, 2009). Мощность даек варьирует от первых сантиметров до 1.5 м. Насыщенность дунитов дайками велика, иногда насчитывается до 2-3 даек на один погонный метр ультрабазитов. Получены геологические доказательства, что горнблендиты формируются после того, как в дунитах образовались хромитовые сегрегации и разнообразные

высокотемпературные метасоматические клинопироксенитовые жилы, которые секутся горнблендитами (рис. 5 а). Следовательно, внедрение даек горнблендитов завершает формирование ультраосновных пород массива и маркирует переход к хрупким деформациям.

В Хабаровинском массиве жильные горнблендиты II-го типа встречаются в молостовском и восточно-хаварнинском комплексах. В молостовском комплексе они образуют небольшие штоки и жилы, секущие амфибол-оливиновые клинопироксениты. В дунитах и связанных с ними хромитовых рудах восточно-хаварнинского комплекса и, реже, в клинопироксенитах, горнблендиты формируют жильные рои, протяженностью до нескольких километров (Готтман, Пушкарев, 2009). Отдельные дайки имеют длину до ста метров и мощность до нескольких метров. Горнблендиты часто в большом количестве содержат ксенолиты дунитов и хромититов, которые на контакте с амфиболовыми породами имеют зоны высокотемпературных реакционных изменений. Жилы горнблендитов выходят за пределы ультраосновных пород ВХК и прорывают перидотиты офиолитового дунит-гарцбургитового комплекса, слагающего центральное ядро Хабаровинского массива. Тела эруптивных брекчий с перидотитовыми ксенолитами и горнблендитовым цементом мощностью до нескольких десятков метров вскрываются скважинами №№ 570, 573 и др., пробуренными в северо-восточной части массива (рис. 5 б) (Петрология постгарцбургитовых..., 1991). Все ультраосновные ксенолиты испытывают активное воздействие со стороны горнблендитов с образованием реакционных каймы мощностью до 3-5 мм (Готтман и др., 1998). Внутренняя, ближняя к перидотиту, зона сложена агрегатом ортопироксена, следующая представлена тальк-серпентиновым парагенезисом, после которого следует зона, обогащенная амфиболом и флогопитом. Воздействие на перидотит со стороны горнблендитов проявляется и в увеличении железистости породообразующего оливина, и в изменении состава акцессорного хромшпинелида от центральных к краевым зонам ксенолитов (Смирнов, 1989; Готтман и др., 1998). Глубина этой проработки составляет обычно 2-3 см.

Несмотря на различия в геологическом залегании горнблендитов первого и второго типов, они имеют сходный и весьма постоянный химический состав, который определяется составом породообразующего амфибола, количество которого составляет в среднем 85-95%. Во всех изученных случаях амфибол представлен паргаситом-магнезиогастингситом ($Ca_B \geq 1,5$; $(Na+K)_A \geq 0,50$; $Ti < 0,5$) (Leake et al., 1997), с содержаниями $Al_2O_3 = 10-17$ мас.% и железистостью $\geq 0,3$. Как было показано выше, амфибол из клинопироксенитов и горнблендитов обладают общими чертами

химического состава, различаясь только железистостью, количеством щелочей и, в некоторых случаях, титана. Наиболее ярко эта генетическая связь проявляется при изучении зональных амфиболов из горнблендитов. Так, ядра зональных кристаллов по составу практически идентичны интерстициальным амфиболам из клинопироксенитов, а каймы обладают уже большей железистостью, типичной для горнблендитов. Генетическая общность проявляется и на уровне состава пород. Горнблендиты, как и тылаиты, завершают формирование дунит-клинопироксенитовых массивов и располагаются в конце петрохимических трендов, что видно на большинстве петрологических диаграмм (рис.6 а). Образование горнблендитов, вероятно, определяется лишь количеством воды в первичных ультраосновных расплавах и возможностью ее накопления к заключительным стадиям дифференциации. В относительно «сухих» магматических системах на завершающем этапе будут формироваться тылаиты, а в водонасыщенных – горнблендиты. Вероятно, это же обстоятельство обуславливает постоянную ассоциацию горнблендитов и амфиболовых клинопироксенитов с титаномагнетитовыми рудами, для формирования которых необходима повышенная окисленность среды минералообразования.

Таким образом, геологические, петрохимические и минералогические данные показывают, что горнблендиты являются магматическими породами, продуктами кристаллизации остаточных флюидонасыщенных расплавов, связанных с дифференциацией высокоизвестковистых ультраосновных магм клинопироксенитового или анкарамитового типа. При кристаллизации остаточного расплава *in situ* в клинопироксенитах образуются ультрабазиты, в различной степени обогащенные амфиболом вплоть до пироксеновых горнблендитов. В случае отделения поздних остаточных расплавов от ультраосновной матрицы, они способны к самостоятельному внедрению и эволюции. Высокая насыщенность расплавов флюидными компонентами может приводить к взрывному типу внедрения и к формированию эруптивных брекчий со значительной долей твердого ксеногенного материала, с которым горнблендитовый расплав вступает в реакционные взаимоотношения.

Второе защищаемое положение. **Высокое давление воды в горнблендитовом расплаве препятствует кристаллизации плагиоклаза и в некоторых случаях приводит к совместной с амфиболом равновесной кристаллизации высокоглиноземистого низкремнистого клинопироксена фассаитового типа, поэтому образование такого клинопироксена является индикатором высокого давления воды и окисленности при кристаллизации горнблендитов.**

В жильных горнблендитах II-го типа в Светлоборском массиве были установлены две разновидности клинопироксена, различающиеся по структурному положению, оптическим свойствам и химическому составу. Бесцветный под микроскопом клинопироксен образует включения в амфиболе размером 0.3-0.5 мм или редкие зерна размером до 1-2 мм среди амфибола. Другой клинопироксен имеет отчетливо-зеленый цвет в проходящем свете и формирует зерна размером до 4 мм, обладающие индукционными поверхностями совместного роста с амфиболом.

По составу клинопироксен первого типа соответствует диопсиду (рис. 6б). В некоторых зернах наблюдается зональность, где от центра к краю растет железистость от 0.2 до 0.3 и содержания глинозема и титана (от 2.7 до 6.5 и от 0.2 до 0.7 мас.%, соответственно), снижаются содержания хрома (0.3 до 0). Зеленый клинопироксен характеризуется высокими содержаниями глинозема - Al_2O_3 до 12 мас.% и $CaO = 24-25\%$, при низком уровне SiO_2 (рис. 6 б). Он имеет широкие вариации по железистости от 0.25 до 0.44 и практически не содержит Cr_2O_3 . Доля алюминия в тетраэдрической позиции зеленого клинопироксена в 2-3 раза больше, чем доля октаэдрического алюминия. По соотношению Ca, Mg и Fe такие клинопироксены, согласно последней классификации, следует называть железо-глиноземистыми диопсидами (Morimoto et al., 1989), ранее их относили к фассаитам (Дир и др., 1965). Далее будет использован термин – клинопироксен фассаитового типа.

Низкокремнистые, высокоглиноземистые клинопироксены с высокой долей тетраэдрического алюминия традиционно считаются типично скарновыми минералами (Добрецов и др., 1971). Однако установлено, что они могут образовывать ранние ликвидусные вкрапленники и микролиты основной массы в субщелочных и щелочных вулканических породах, таких как базаниты, фойдиты, нефелиниты и других (Волынец, Успенский и др., 1990; Перепелов, Пузаков и др., 2005; Huckenholz, 1973; Duda, Schmincke, 1985). Они также установлены в раскристаллизованных расплавных включениях во вкрапленниках оливина из базальтов и пикритов (Портнягин, Миронов и др., 2005; Гриб, Перепелов, 2008). Кристаллизация высокоглиноземистых клинопироксенов фассаитового типа в эффузивных породах определяется составом расплавов (низкие содержания SiO_2 , высокие отношения Ca/Al и Mg/Fe) и его высокой флюидонасыщенностью. Возможность кристаллизации фассаитового клинопироксена (6-12 мас.% Al_2O_3) из водосодержащего базальтового расплава подтверждена экспериментальными данными (Симакин и др., 2003).

Сопоставление глиноземистых клинопироксенов из горнблендитов с фассаитовыми пироксенами из вкрапленников в эффузивах показало, что

вариации их составов имеют общую направленность. Однако более высокая температура кристаллизации вулканогенных пород определяет и более высокие содержания титана в клинопироксене из вулканитов. Температура образования горнблендитов не может превышать верхнего предела стабильности глиноземистого амфибола в 1070 °C (Yoder, 1962; Grove et al., 2003) и, скорее всего, составляет 900-1000 °C (Otten, 1984; Ridolfi, Renzulli, 2010). Эта температура соответствует нижнему пределу кристаллизации фассаитового клинопироксена в вулканитах, что не противоречит возможности его образования в горнблендитах. Сильная флюидонасыщенность расплава, как необходимое условие для кристаллизации фассаитового клинопироксена, предопределяет его высокую окисленность. Согласно экспериментальным данным (Onuma et al., 1981), стабильность глиноземистого клинопироксена в системе $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 - \text{CaFeAlSiO}_6 - \text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ зависит от фугитивности кислорода, которая должна превышать буфер FMQ. Следует отметить, что высокое давление воды в горнблендитовом расплаве, способствующее кристаллизации фассаитового клинопироксена и амфибола, препятствует кристаллизации плагиоклаза. Поэтому имеющийся в системе глинозем активно связывается в этих темноцветных минералах, кристаллохимическая емкость которых этому способствует.

Таким образом, есть все основания считать высокоглиноземистый (до 12 мас.% Al_2O_3) клинопироксен фассаитового типа, обнаруженный в горнблендитах Платиноносного пояса Урала, продуктом магматической кристаллизации окисленного, флюидонасыщенного пикробазальтового расплава. Существующие представления о том, что фассаитовая тенденция, установленная для клинопироксенов рудных титаномагнетитовых клинопироксенитов Качканарского массива, является отражением их скарновой природы (Штейнберг, 1953; Фоминых и др., 1987), могут быть пересмотрены с учетом появившихся новых данных о природе таких клинопироксенов.

Третье защищаемое положение. Горнблендиты формируются на заключительных стадиях становления дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урала в интервале поздний силур - ранний девон (430-400 млн. лет) и маркируют время завершения высокоизвестковистого мафит-ультрамафитового магматизма и образования мафит-ультрамафитовых комплексов Урало-Аляскинского типа.

В последнее время были получены многочисленные изотопно-геохронологические данные о возрасте ультрабазитов и габброидов в Платиноносном поясе Урала и в других мафит-ультрамафитовых комплексах

(Vea et al., 2006; Попов, Беляцкий, 2006; Кнауф, 2009; Малич и др., 2009; Ферштатер и др., 2009; Петров и др., 2010 и др.). Эти данные охватывают интервал от архея до верхнего палеозоя включительно. Наиболее дискуссионным остается вопрос о времени образования дунитов, т.к. вся информация об их возрасте получена при U-Pb датировании цирконов. Верхний возрастной предел формирования дунитов может быть определен по возрасту секущих их жильных горнблендитов, связанных с дифференциацией клинопироксенитовых расплавов. Завершая своим внедрением становление дунит-клинопироксенитовых массивов, горнблендиты определяют верхний возрастной предел проявления высокоизвестковистого ультраосновного магматизма. Для решения этой задачи были выделены и изучены цирконы из жильных горнблендитов Хабаровского массива и цирконы из меланогабброидов клинопироксенит-габбро-горнблендитовой серии Кытлымского массива, а также был определен аргон-аргоновый возраст порообразующего амфибола.

В горнблендитах, секущих дуниты ВХК в Хабаровском массиве, цирконы были обнаружены *in situ* при петрографическом изучении шлифов под микроскопом. Далее из пробы весом около 10 кг было выделено несколько сотен зерен, представленных полупрозрачными призматическими кристаллами, размером 150–400 мкм, с коэффициентом удлинения 2-3. Цвет цирконов варьирует от красновато-коричневого до светло-чайного. В катодных лучах и в обратно-рассеянных электронах видно, что цирконы имеют широкое идиоморфное ядро, которое обрастается зональной каймой. Внешняя оболочка зерен представлена почти черным в CL, нелюминесцирующим цирконом с высокими содержаниями урана. Цирконы содержат включения амфибола и хлорита, которые идентичны по составу таким же минералам из горнблендитов. U-Pb – датирование цирконов было проведено на ионном микроанализаторе SHRIMP-II (ЦИИ ВСЕГЕИ) и классическим термоионизационным методом (масс-спектрометр Finnigan MAT-262 RPQ, Апатиты). На ионном микроанализаторе было проанализировано двенадцать точек в семи зернах (семь измерений центральных частей зерен и пять – краевых). Девять определений пересчитываются на конкордантный возраст 400 ± 6 млн. лет (СКВО=0.045) (рис.7а). Три зерна, возраст центральных ядер которых близок к 400 млн. лет, имеют каймы с дискордантными значениями возраста, равными 252, 214, 165 млн. лет соответственно. Они характеризуются высокими содержаниями урана и отсутствием катодной люминесценции, что может свидетельствовать о метамиктном состоянии вещества. Пересчет всей совокупности полученных значений формирует дискордию с верхним пересечением конкордии в точке с возрастом 402 ± 23 млн. лет (СКВО=0.24)

(рис. 7а), расположенной в пределах эллипса ошибок конкордантных значений. Классическим методом было проанализировано пять фракций циркона, разделенных по крупности: 1) + 100 мкм, 2) – 100 + 75 мкм, 3) + 75 мкм, 4) – 75 + 50 мкм, 5) – 50 мкм. Значения возраста, полученные по всем фракциям, образовали дискордию, что свидетельствует о частичной потере цирконами радиогенного свинца. Две наиболее крупные фракции № 1 и 2 показали сходные и самые древние возраста, соответственно 371 и 377 млн. лет по двум изотопным отношениям. Верхнее пересечение дискордии с конкордией происходит в точке с возрастом 408 ± 9 млн. лет (СКВО = 0.022) (рис. 7б), который можно интерпретировать как возраст первичной кристаллизации циркона.

Возраст амфибола из горнблендитов и генетически связанных с ними ультраосновных и основных пород, определенный аргон-аргоновым и калий-аргоновым методами (401 ± 4.6 млн. лет) оказался практически идентичным возрасту цирконов (рис. 7г). Эти данные сопоставимы с результатами изотопных исследований, которые были проведены ранее для оценки возраста формирования пород молостовского и восточно-хабарнинского комплексов (Пушкарев, Калеганов, 1993; Ронкин, 1989; Ферштатер, Краснобаев, 2006; Пушкарев и др., 2008).

В Кытлымском массиве возраст горнблендитов и пород, объединенных с ними в одну серию, до наших исследований не определялся. Нам удалось выделить цирконы из меланократовых амфибол-клинопироксеновых габброидов, предшествующих внедрению горнблендитов и генетически связанных с ними. Геологические, минералогические и петрогеохимические особенности этих габброидов рассмотрены в работах (Пушкарев и др., 2001; Готтман, Пушкарев, 2010). Цирконы представлены призматическими кристаллами и фрагментами кристаллов с коэффициентом удлинения 2-3 и размером 200-350 мкм. В катодных лучах цирконы проявляют ростовую зональность, свидетельствующую о магматической природе цирконов. U-Pb - датирование осуществлялось с использованием ионного микроанализатора SHRIMP-II. Было проанализировано 10 зерен, в одиннадцати точках. Все определения ложатся в один кластер с возрастом 415 ± 3 млн. лет (MSWD=1.5) (рис. 7в), который можно принять за время образования пород. Эти данные сопоставимы с результатами определения возраста горнблендитов в других массивах Платиноносного пояса Урала, выполненных разными авторами (Иванов, Калеганов, 1993; Семенов, 2007). Время формирования более древней деформированной дунит-клинопироксенит-тылаитовой серии, которую прорывают горнблендиты, составляет по данным (Попов, Беляцкий, 2006) 551 млн. лет. Таким образом, результаты изотопно-геохронологических исследований подтверждают

вывод, полученный на основе геологических данных о том, что горнблендиты являются наиболее молодыми породами в комплексах Урало-Аляскинского типа, завершающими своим внедрением формирование ультрамафитов. Следовательно, они определяют верхний возрастной предел развития высокоизвестковистого мафит-ультрамафитового магматизма на Урале. Суммируя собственные и литературные данные об изотопном возрасте горнблендитов можно заключить, что главный этап их формирования укладывается в интервал 430-400 млн. лет, что соответствует позднему силуру и раннему девону.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что горнблендиты в дунит-клинопироксенит-габбровых комплексах Урало-Аляскинского типа имеют магматическое происхождение. Они образуются в результате кристаллизации остаточных флюидонасыщенных расплавов пикробазальтового состава, связанных с дифференциацией первичных высокоизвестковистых клинопироксенитовых или анкарамитовых магм. В зависимости от характера взаимоотношений остаточных горнблендитовых расплавов с клинопироксенитами они могут формировать тела двух морфогенетических типов. Кристаллизация остаточного горнблендитового расплава *in situ* в ультрамафитах приводит к формированию амфиболовых клинопироксенитов, в разной степени обогащенных амфиболом, вплоть до образования массивных горнблендитов, связанных с клинопироксенитами постепенными переходами (I тип горнблендитов) и часто вмещающих вместе с ними месторождения ванадийсодержащих титаномagnetитовых руд качканарского типа. Отделившийся от ультраосновного источника горнблендитовый расплав формирует активные интрузивные тела, дайки, штоки, эруптивные брекчии, прорывающие как более ранние ультраосновные породы, так и метаморфические породы обрамления массивов (II тип горнблендитов). Высокое давление воды в пикробазальтовом (горнблендитовом) расплаве препятствует кристаллизации плагиоклаза и в некоторых случаях провоцирует образование высокоглиноземистого низкокремнистого клинопироксена фассаитового типа, кристаллизующегося вместе с глиноземистым амфиболом.

Обоснование магматической природы фассаитового клинопироксена ставит под сомнение предположение о скарновой природе титаномagnetитовых клинопироксенитов Качканарского массива, для которых подобные клинопироксены являются типичными.

Геологическими и изотопно-геохронологическими методами показано, что горнблендиты формируются на заключительных стадиях становления

мафит-ультрамафитовых массивов Урало-Аляскинского типа. Период массового формирования горнблендитов в габбро-гипербазитовых комплексах Урала составляет 430-400 млн. лет и маркирует время завершения высокоизвестковистого мафит-ультрамафитового магматизма и образования комплексов Урало-Аляскинского типа на Урале.

Список работ опубликованных по теме диссертации

В журналах по списку ВАК Минобрнауки России:

1. Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В., Бородина Н.С., Бочарникова Т.Д., Готтман И.А. Рифтогенный магматизм и железооруденение Южного Урала // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 5. С.425-443.
2. Готтман И.А., Пушкарев Е.В. Геологические данные о магматической природе горнблендитов в габбро-ультрамафитовых комплексах Урало-Аляскинского типа // Литосфера. 2009. № 2. С. 78-86.
3. Пушкарев Е.В., Рязанцев А. В., Третьяков А. А., Белова А. А., Готтман И.А. Гранатовые ультрамафиты и мафиты в зоне главного уральского разлома на Южном Урале: петрология, возраст и проблема образования // Литосфера. 2010. № 5. С. 101-133.
4. Готтман И.А., Пушкарев Е.В., Кудряшов Н.К. О верхней возрастной границе формирования дунитов Восточно-хабарнинского габбро-ультрамафитового комплекса на Южном Урале по данным U-Pb возраста цирконов из жильных горнблендитов // Доклады АН. 2011. Т. 438. №2. С. 217-221.
5. Краснобаев А.А., Пушкарев Е.В., Бушарина С.В., Готтман И.А. Цирконология клинопироксенитов Шигирских сопок (Уфалейский комплекс, Южный Урал). // Доклады АН. 2013. Т. 450. № 5. С. 586-591.

Публикации в других научных изданиях:

1. Готтман И.А., Пушкарев Е.В. Реакционные амфиболовые каймы вокруг ксенолитов клинопироксенитов: генетические следствия, основанные на изучении состава амфибола // Ежегодник-1996. Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1997. С. 98.
2. Готтман И.А. Состав амфибола реакционных кайм на границе клинопироксенов и гранитоидов // Структура и эволюция минерал. мира: Матер. к Междунар. минерал. семина., Сыктывкар, 10-13июля, 1997. Сыктывкар, 1997. С. 60-61.
3. Готтман И.А., Пушкарев Е.В., Виллисов В.А. Реакционное взаимодействие перидотитов с флюидонасыщенными расплавами основного состава // Ежегодник-1997. Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург, 1998. С. 71-75.
4. Готтман И.А. О составе хромшпинелидов из перидотит-горнблендитовых брекчий Хабарнинского массива (Южный Урал). // Урал. лет. минерал. шк.-97. Екатеринбург, 29июля-2авг., 1997: Матер. Всерос. науч. конф. студ., аспирантов, науч. сотр., и преп. вузов. Екатеринбург, 1997. С. 44-47.
5. Готтман И.А., Пушкарев Е.В. Эруптивные перидотитовые брекчии с горнблендитовым цементом (Хабарнинский массив, Южный Урал) // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала: Тез. докл. VI Урал. петрол. сов. ч. 2. Екатеринбург, 1997. С. 78-81.

6. *Готтман И.А.*, Прибавкин С.В., Пушкарев Е.В. Об иситах дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урала // Ежегодник-2001. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2002. С. 103-105.
7. *Готтман И.А.* Особенности минерального состава ксенолитов ультраосновных пород из горнблендитовых брекчий Кытлымского массива // Ежегодник-2002. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2003. С. 86-92.
8. *Готтман И.А.* О геохимических особенностях уральских горнблендитов // Ежегодник-2003/ ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2004. С. 279-282.
- Готтман И.А.* Геохимическая характеристика ультраосновных ксенолитов из перидотит-горнблендитовых брекчий Урала // Ежегодник-2007. ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2008. С. 202-206.
9. *Готтман И.А.* О магматической природе горнблендитов в мафит-ультрамафитовых комплексах Урало-Аляскинского типа // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Материалы 3-й международной конференции. Том 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 151-154.
10. *Готтман И.А.*, Пушкарев Е.В., Кудряшов Н.М. U-Pb возраст цирконов из горнблендитовых даек в дунитах Хабарнинского массива // Петрогенезис и рудообразование. Материалы научной конференции. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 257-259.
11. *Готтман И.А.*, Пушкарев Е.В. Петрология и возраст амфибол-клинопироксеновых меланогаббро из молодой клинопироксенит-габбро-горнблендитовой серии Кытлымского массива (Северный Урал) // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 116-120.
12. *Готтман И.А.*, Пушкарев Е.В. Закономерные вариации состава клинопироксенов и амфиболов в меланократовых габброидах и горнблендитах из комплексов Урало-Аляскинского типа как критерий их происхождения в результате дифференциации клинопироксенитов // Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. Т. 1. С. 187-188.
13. *Готтман И.А.*, Пушкарев Е.В. Состав амфиболов и клинопироксенов из меланократовых габброидов как критерий их связи с дифференциацией клинопироксенитов // Наука, природа и общество. Материалы международной конференции. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2010. С. 14-17.
14. Пушкарев Е.В., *Готтман И.А.* Гранат-ферросилит-пижонитовые гранулиты в обрамлении дунит-клинопироксенитового массива Светлый Бор (Средний Урал) – фрагмент нижнекорового метаморфического комплекса, выведенного на поверхность// Ежегодник-2009, Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010. Вып. 157. С. 181-186.
15. Пушкарев Е.В., *Готтман И.А.*, Бирюзова А.П. Пижонит-гранатовые гранулиты – индикаторы пиковых параметров метаморфизма в экзоконтактовых ореолах дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа// Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. Т. 2. С. 161-162.
16. Пушкарев Е.В., *Готтман И.А.*, Оливиновые клинопироксениты и израндиты (тылаиты) александровского и уфалейского метаморфических комплексов - фрагменты древней платиноносной ассоциации? // Тектоника, рудные месторождения и глубинное строение земной коры. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 215-219.

17. Пушкарев Е.В., *Готтман И.А.*, Прибавкин С.В., Косарев А.М. Эффузивные и субвулканические анкарамиты девонских островодужных свит Урала: вещественная характеристика, генезис и геологические следствия. // Тектоника, рудные месторождения и глубинное строение земной коры. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 219-223.
18. Пушкарев Е.В., Прибавкин С.В., *Готтман И.А.* Раннедевонские островодужные анкарамиты в вулканических свитах Среднего Урала // Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2012. С. 215-217.
19. *Готтман И.А.*, Пушкарев Е.В. U-Pb-возраст цирконов из меланократовых амфибол-клинопироксеновых габброидов Кытлымского массива Платиноносного пояса Урала // Материалы конференции. Геохронологические изотопные системы, методы изучения, хронология геохимических процессов. V Российская конференция по изотопной геологии. 4-6 июня 2012г. ИГЕМ РАН. Москва, 2012. С. 115-117.
20. *Готтман И.А.* О составе клинопироксена жильных горнблендитов массива Светлый Бор (Платиноносный пояс Урала) // Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2012. С. 62-63.
21. *Готтман И.А.*, Замятин Д.А. Высокоглиноземистые клинопироксены в горнблендитах - продукт кристаллизации флюидонасыщенной расплава // Ежегодник-2012. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. С. 193-198.
22. Пушкарев Е.В., *Готтман И.А.*, Косарев А.М. Анкарамиты ирендыкской свиты Южного Урала: петрология и генезис. // Колчеданные месторождения - геология поиски, добыча и переработка руд. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. С. 118-120.
23. Пушкарев Е.В., Рязанцев А.В., *Готтман И.А.* Субвулканические клинопироксениты в меланже Западно-Магнитогорской зоны на Южном Урале: первые данные. // Колчеданные месторождения - геология поиски, добыча и переработка руд. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2013. С. 120-123.

Подписано в печать 8.04.2014 г. Формат 60 x 84 1/16.
Бумага "Гознак". Печать на ризографе. Уч.-изд. л. 1,0.
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 214

Отпечатано в типографии ООО "ИРА УТК".
620146, г. Екатеринбург, ул. Шаумяна, 83 Тел. 269-18-83