

На правах рукописи

БАРКАР Анна Валерьевна

**МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ САПФИРОНОСНЫХ
РОССЫПЕЙ ПРИМОРЬЯ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ
КОРЕННОГО ИСТОЧНИКА САПФИРОВ**

Специальности 25.00.04 – петрология, вулканология;

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток – 2004

Диссертационная работа выполнена в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН.

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
Высоцкий Сергей Викторович

Официальные оппоненты:
доктор геолого-минералогических наук,
Плюснина Лаура Павловна
(Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток)

кандидат геолого-минералогических наук,
Зиньков Александр Васильевич
(Дальневосточный государственный технический университет, г. Владивосток)

Ведущая организация:
ФУГГП «Приморская геолого-съёмочная экспедиция», г. Владивосток

Защита состоится 10 февраля 2005 г. в 10-00 на заседании диссертационного совета Д-005.006.01 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, Пр. 100-летия Владивостока, 159, Дальневосточный геологический институт.

Тел.: (4232) 318-750
Факс: (4232) 317-847
Email: fegi@online.marine.su

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Веками добываются сапфиры в Юго-Восточной Азии, Австралии и Африке из россыпей, пространственно ассоциирующих с полями кайнозойских щелочных базальтоидов (Jobbins et al., 1981; Киевленко, 1982; Kammerling et al., 1991; Coenraads et al., 1995; Smith et al., 1995; Krzemnicki et al., 1996; Sutherland, Coenraads, 1996; Sutherland et al., 1998, 2002; Choowong, 2000; Saminpanya, 2001), однако их коренной источник до сих пор однозначно не определен. Недостаточное понимание механизма образования «базальтовых» сапфиров сильно ограничивает возможность поиска и исследования новых месторождений этих драгоценных камней.

В связи с открытием подобных сапфиросных россыпей в Приморье [1] проблема их генезиса встала и перед российскими учеными. В Приморье сапфиры были найдены в 80-х годах прошлого века в золотоносной россыпи р. Кедровки совместно с другими ювелирными камнями – гиацинтами, гранатами и пр. Большинство исследователей связывали найденные в Приморье сапфиры с кайнозойскими щелочными базальтоидами (Есин, Перетятко, 1992; Ананьев и др., 1998; Высоцкий и др., 2002). В то же время была выдвинута идея, что “источником ... корундов являются редкометальные пегматиты, грейзены и метасоматиты, связанные с гранитоидными телами...” (Одариченко, 2001; Ханчук и др., 2002). Все это и определяет актуальность представленной диссертации.

Цель и задачи. Основная цель работы – выяснение коренного источника сапфиров в россыпях Приморья. В задачу исследований входило:

1. Установить особенности геологического строения сапфиросных территорий, пространственно ассоциирующих с кайнозойскими щелочными базальтоидами.
2. Выявить индикаторные минеральные ассоциации сапфиросных россыпей.
3. Выяснить петролого-минералогические индикаторы сапфиросности предполагаемых источников сапфиров.
4. Разработать механизм образования сапфиров.

Методика исследований. В основу предлагаемой работы положены результаты полевых исследований сапфиросных россыпей Приморья и их предполагаемого коренного источника, а также лабораторных исследований, проведенных автором с 2000 по 2004 год в лаборатории минералогии ДВГИ ДВО РАН. Автором были изучены минералогия сапфиросных россыпей, химический состав сапфиров, минеральных и расплавных включений в них, а также минеральный состав щелочных базальтоидов как предполагаемого коренного источника сапфиров. Собрана коллекция образцов пород (более 200).

Проведены следующие виды анализов: силикатный анализ пород (более 30 образцов), количественная атомно-эмиссионная спектрометрия (более 30 образцов пород, проанализированных методом просыпки и испарения), рентгенофлуоресцентный анализ (более 50 образцов пород). Сделано около 600 микрозондовых рентгеновских анализов минералов в ДВГИ ДВО РАН, Камчатском отделении РАН, а также в Геологической Службе Японии. В работе использованы литературные и фондовые материалы по геологическому картированию сапфиросных территорий, поиску и разведке месторождений ювелирных камней.

Научная новизна работы.

1. Установлены закономерности геологического положения сапфиросных россыпей, пространственно ассоциирующих с полями кайнозойских щелочных базальтоидов.
2. Обнаружены и изучены сапфиры в щелочно-базальтовых вулканах Приморья.
3. Впервые получены и систематизированы комплексные данные по минеральному составу сапфиросных отложений Приморья.
4. Предложен критерий определения генетической природы сапфиров на основе их химического состава.
5. Определены критерии сапфиросности базальтоидов.
6. Установлено близкое соответствие минералогических и петрогеохимических характеристик базальтов сапфиросных районов Приморья с сапфиросными базальтоидами мира, что отражается в однотипности минеральных парагенезисов россыпных образований.
7. Предложена модель образования корундов при участии базальтового расплава.

Защищаемые положения.

1. Россыпи сапфиров в Приморье, так же как их аналоги в Австралии, Таиланде, Руанде и на Мадагаскаре, располагаются в различных геодинамических и структурных зонах: на кристаллических массивах, их окраинах или в фанерозойских складчатых областях. Общим геологическим критерием сапфиросности является наличие мощной континентальной коры и пространственная сопряженность с проявлениями кайнозойского щелочно-базальтового вулканизма.
2. Минералы мегакристовой ассоциации, выявленные в сапфиросных россыпях, соответствуют минералам одноименной ассоциации из кайнозойских щелочных базальтоидов и имеют сходные химические характеристики. Источником сапфиросных россыпей Приморья являются кайнозойские щелочные базальты.

Сапфирам базальтового происхождения присуще повышенное содержание железа при низких концентрациях титана, что служит критерием для определения генетической природы сапфира.

Расплавные включения обогащены Na, Cl и P, а солевые включения в сапфирах представлены преимущественно хлоридами Na и K. Апатит сапфиринозных базальтоидов имеет высокие содержания Cl. Все это указывает на существенную роль хлора в образовании сапфира.

3. Геохимическим индикатором сапфиринозности щелочных базальтоидов является их обогащенность натрием, хлором и цирконием. Минералогически это выражается в наличии большого количества мегакристов, в том числе полевого шпата и циркона.

4. Кристаллизация сапфира из базальтоидного расплава протекает при участии газообразного $AlCl_3$ по механизму “миароловых” пустот.

Практическая ценность. Полученные данные позволяют определить коренной источник сапфиринозных россыпей в Приморье и приступить к поиску других месторождений сапфира на Дальнем Востоке России. Материалы исследований в составе отчета по теме 681 “Разработка минералого-геохимических критериев оценки перспективности щелочно-базальтовых комплексов Приморья на ювелирные виды минерального сырья” переданы в приморский геолком.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Международной конференции в ДВГУ (2002), на научных конференциях студентов и молодых сотрудников ДВГИ ДВО РАН 2001 и 2003 годах, на сессии «Новые данные по геологии Востока Азии и Западной Пацифики» ДВГИ ДВО РАН 2003 г. (Владивосток), а также на международной конференции IAGOD (Владивосток, 2004 г.).

По теме диссертации опубликовано 5 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Объем работы составляет 123 страницы, 107 рисунков и 56 таблиц. Список литературы включает 106 наименований.

Работа выполнена в лаборатории минералогии ДВГИ ДВО РАН под руководством заведующего лабораторией минералогии доктора геолого-минералогических наук С.В. Высоцкого. При написании работы автор пользовалась постоянными консультациями доктора геолого-минералогических наук, профессора С.А. Щеки, которым автор выражает свою глубокую признательность. Автор благодарна Л.П. Плюсниковой, В.Г. Сахно, И.В.Кемкину, П.В. Маркевичу, В.К. Попову, В.В. Голозубову, О.В. Авченко, С.О. Максимову, В.П. Нечаеву, А.А. Вржосеку и многим другим коллегам за многочисленные советы и критические замечания на всех этапах работы над диссертацией.

Автор пользуется случаем выразить свою благодарность сотрудникам лабораторий рентгеновских методов (особенно Екимовой Н.И.), химии, минералогии за проведение экспериментов и анализов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ и администрации Приморского края “Сапфиры Приморья” и молодежного гранта ДВО РАН (2002).

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ САПФИРОНОСНЫХ ПРОВИНЦИЙ

В настоящее время в Приморье сапфиры найдены в двух районах: на севере края в Маревском сапфириносном районе и на юге на территории Шкотовского базальтового плато. На территории Маревского сапфириносного района располагаются месторождения р. Кедровки, проявления кл. Филькин, Китайский, Лопатинский, Козлов. Сапфиры обнаружены также в пирокластике кайнозойского щелочного вулкана Конфетка. Шкотовское проявление сапфира установлено в современном аллювии ручьев Подгелбаночный и Тигриный. Оба района имеют сходную историю геологического развития и расположены на стыке Ханкайского террейна (фрагменты древнего кристаллического массива) и Самаркинского террейна (отложения мезозойской аккреционной призмы).

Сравнение структурной и геодинамической позиции приморских сапфиринозных районов с сапфиринозными территориями Австралии, Таиланда, Северного Мадагаскара и др. показало, что они обладают некоторыми общими чертами геологического строения [4]. Например, они располагаются на мощной континентальной коре, затронутой процессами рифтогенеза. Все рассмотренные россыпные месторождения пространственно сопряжены с полями кайнозойских щелочных базальтоидов (базальты оливиновые щелочные, базаниты, нефелиниты, гавайиты, пикриты с мегакристами и лерцолитовыми включениями, фонолиты), которые связаны с процессом рифтогенеза или синдвигового растяжения континентальных окраин. Возраст базальтов из этих районов кайнозойский (4-48 млн. лет), а подстилающих эти базальты отложений - протерозой-мезозойский. Общая геологическая характеристика этих районов приведена в таблице 1.

Анализ особенностей геологического строения сапфиринозных областей позволил сформулировать первое защищаемое положение:

Россыпи сапфира в Приморье, так же как их аналоги в Австралии, Таиланде, Руанде и на Мадагаскаре, располагаются в различных геодинамических и структурных зонах: на кристаллических массивах, их окраинах или в фанерозойских складчатых областях. Общим геологическим критерием сапфиринозности является наличие мощной континентальной коры и пространственная сопряженность с проявлениями кайнозойского щелочно-базальтового вулканизма.

Регион	Россия	Восточная Австралия	Таиланд	Руанда (Африка)	Северный Мадагаскар
Название провинции	Приморье	Новый Южный Уэльс	Чантабури-Трат	Суануги	Анцисранана
Тип земной коры	Континентальная	Континентальная	Континентальная	Континентальная	Континентальная
Мощность коры	~40 км	>30 км	~20 км	20-30 км	~30 км
Геодинамическая обстановка	Фанерозойская складчатая область, обрамляющая Ханкайский кристаллический массив	Фанерозойская складчатая область	Плита Хор, ее складчатое обрамление и перекрывающий комплекс	Восточно-Африканский рифт, западная ветвь, Танганьикская зона	Микроконтинент
Процесс	Рассеянный рифтогенез	Рассеянный рифтогенез	Рассеянный рифтогенез	Континентальный рифтогенез	
Наличие крупных разломов	Граница Ханкайского и Самаркинского террейнов			Границы Восточно-Африканского рифта	
Возраст базальтов	4-24 млн.л.	12-55 млн.л.	0,44-11,29 млн.л.	>45 млн.л.	Раннетретичные-четвертичные
Характеристика базальтов	Базальты оливиновые щелочные, гавайиты, пикриты, муджнерит с мегакристами и перцолитовыми включениями; толеиты	Базаниты, нефелиновые гавайиты, нефелиниты, гавайиты, щелочные оливиновые базальты, оливиновые толеиты	Базаниты, гавайиты, щелочные оливиновые базальты, нефелиновые базаниты с мегакристами и перцолитовыми включениями, толеиты	Пикриты, базаниты, щелочные оливиновые базальты, нефелиноиты, толеиты	Щелочные базальты
Возраст подстилающих отложений	Протерозой-мезозойский	Протерозой-мезозойский	Палеозой-мезозойский	Протерозойский	Протерозой-мезозойский

Таблица 1. Особенности геодинамического и структурного положения сапфиросных регионов мира, пространственно ассоциирующихся с кайнозойскими щелочными базальтоидами.

ГЛАВА 2. МИНЕРАЛОГИЯ САПФИРОСНЫХ РОССЫПЕЙ, ПРОСТРАНСТВЕННО СОПРЯЖЕННЫХ С КАЙНОЗОЙСКИМИ ЩЕЛОЧНЫМИ БАЗАЛЬТОИДАМИ

Изучение минералогии сапфиросных россыпей, связанных с кайнозойскими щелочными базальтами, сапфирсодержащей пирокластики и сапфиров сапфиросных районов Приморья позволило выделить следующие закономерности:

1. Минеральный состав сапфиросных россыпей Приморья, многообразен, что объясняется присутствием различных источников питания. Однако, среди этого многообразия во всех исследованных сапфиросных россыпях постоянно присутствуют минералы двух ассоциаций: мегакристовой ассоциации и ассоциации перцолитовых включений в щелочных базальтах [2].

Ассоциация мегакристов щелочных базальтов образована крупными кристаллами (достигающими 5 мм и более) титан-авгита, оливина, керсутита, анортклаза, бесхромистой глиноземистой шпинели, ильменита, титаномагнетита, титанистого биотита, альмандина, циркона и сапфира; апатит и анатаз также принадлежат к данной ассоциации, однако, не достигают столь крупных размеров, как вышеперечисленные минералы.

Ассоциация перцолитовых включений в щелочных базальтах представлена мелкими (менее 5 мм) кристаллами хромдиоксида, энстатита, магнезиальной хромсодержащей шпинели и магнезиального оливина.

По химическому составу минералы мегакристовой ассоциации из приморских сапфиросных россыпей (табл. 2) аналогичны мегакристам из щелочных базальтов (табл.3).

Выделенные ассоциации присутствуют также во многих сапфиросных россыпях мира, пространственно связанных с кайнозойскими щелочными базальтоидами (Jobbins et al., 1981; Киевленко, 1982; Coenraads et al., 1995; Krzemnicki et al., 1996; Sutherland, Coenraads, 1996).

2. Поверхность большинства минералов ассоциации мегакристов (клинопироксен, шпинель, циркон, сапфир и др.) несет следы растворения. В базальтах и базальтовой пирокластике минералы этой ассоциации зачастую окружены реакционными каймами.

3. Сапфиров в россыпях такого типа гораздо больше, чем рубинов и большинство крупных сапфиров из приморских россыпей имеют уплощенную (таблитчатую) форму, боченковидные и дипирамидальные кристаллы встречаются реже. В литературе отмечается, что такая особенность характерна для большинства сапфиров из месторождений, ассоциирующихся с кайнозойскими базальтоидами.

Минерал	КЗ	КЗ	ФК	ПГ	ПГ	КЕД	ФК	ОI	КЕД	ФК	КЗ	КЕД	ПГ	ПГ	ФК	КЕД	КЕД	КЕД	КЗ
№	Hb	Ap	Cor	Cor	Gr	Ol	Ol	Ol	Plm-4	Plm	Fs	Opх	Spx	Sp	Ilm	Ilm	Sp	Sp	Zr
	1153/1a	1144/ш	448	0313-3	0313	ПМ-4	0432	1141/ш	ПМ-11	0324	1141/ш	ПМ-11	0324	ПМ-4	449	ПМ-11	ПМ-4	ПМ-4	1107
SiO2	39,63	0,00	0,00	0,00	39,17	40,97	40,08	66,99	55,68	49,40	66,99	55,68	49,40	-	-	-	0,00	0,00	0,00
TiO2	6,93	0,00	0,00	0,053	0,20	0,30	0,03	0,02	0,12	1,47	0,02	0,12	1,47	48,74	45,47	48,74	0,17	0,17	32,17
ZrO2	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	67,20
HfO2	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	1,19
Al2O3	12,56	0,00	99,08	98,14	22,57	0,70	0,06	19,59	2,97	7,68	19,59	2,97	7,68	0,49	0,89	0,49	58,06	58,06	0,00
Cr2O3	0,00	0,00	0,67	0,00	0,01	0,31	0,05	0,02	0,48	0,04	0,02	0,48	0,04	0,90	0,90	0,90	9,68	9,68	0,00
FeO	11,81	0,00	0,01	3,17	21,71	9,13	16,09	0,18	6,38	6,47	0,18	6,38	6,47	41,08	51,22	41,08	11,40	11,40	0,00
MnO	0,09	0,00	0,00	0,00	0,73	0,18	0,17	0,00	0,12	0,25	0,00	0,12	0,25	0,31	1,23	0,31	0,11	0,11	0,00
MgO	14,09	0,00	0,00	0,00	10,00	49,13	43,87	0,00	34,27	14,88	0,00	34,27	14,88	7,87	0,63	7,87	20,77	20,77	0,00
CaO	10,90	52,78	0,00	0,00	6,21	0,00	0,02	0,72	0,68	19,29	0,72	0,68	19,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na2O	1,76	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	6,97	0,11	1,08	6,97	0,11	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2O	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,81	0,00	0,00	4,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2O5	Н.а.	45,02	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.
Cl	Н.а.	0,41.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.
Сумма	100,85	98,21	99,76	101,36	100,65	100,72	100,38	99,40	100,81	100,56	99,40	100,81	100,56	99,79	99,53	99,79	100,19	100,19	100,76
f	31,96	-	-	-	54,88	9,43	17,05	-	9,45	19,59	-	9,45	19,59	-	-	-	-	-	-
Zr/Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96,47

Таблица 2. Химический состав минералов мегакристовой ассоциации из сапфириносных россыпей Приморья (мас. %). Анализы выполнены на рентгеновских микроанализаторах Camebax (Камчатка) - аналитик В. Чубаров, JXA-5A (ДВГИ) - аналитик Н. Екимова и Superpro 9600 (Япония) - аналитик М. Otsuki. Россыпи: КЗ - кл. Козлов, ПГ - кл. Подгелбаночный, КЕД - р. Кедровка, ФК - Филькин клоч.

Минерал	Конф.	ПГ	Конф.	Ар	ПГ	Конф.	Gr	Конф.	Ol	Конф.	Fs	Конф.	Opх	Конф.	Spx	Конф.	Ilm	Конф.	Sp	Конф.	Zr	Конф.
№	1104	0225-3	0307-ш	0324	0324	1104	1104	1104	1104/15	0313	1100	1100	1104	1104	1104	0324	0324	0324	0324	0324	03-201	03-201
SiO2	39,66	41,35	0,00	0,00	0,00	0,00	38,62	41,40	66,13	66,13	57,30	57,30	50,46	-	-	-	-	-	-	-	32,10	32,10
TiO2	5,38	5,46	0,00	0,00	0,00	0,01	0,31	0,00	-	-	0,00	0,00	1,73	50,70	0,19	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	Н.а.	Н.а.
ZrO2	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	66,44
HfO2	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	2,22
Al2O3	13,68	13,57	0,00	0,00	0,00	98,90	22,34	0,00	20,44	20,44	2,52	2,52	3,88	1,30	56,04	60,01	60,01	60,01	60,01	60,01	0,00	0,00
Cr2O3	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,49	0,9	6,19	10,67	9,01	9,01	9,01	9,01	0,00	0,00
FeO	14,58	7,33	0,00	0,00	0,00	1,52	24,18	10,60	0,12	0,12	5,37	5,37	6,59	7,71	12,61	9,87	9,87	9,87	9,87	9,87	0,00	0,00
MgO	9,75	15,54	0,00	0,001	0,00	0,00	8,07	48,12	0,01	0,01	33,13	33,13	14,29	0,04	19,30	20,14	20,14	20,14	20,14	20,14	0,00	0,00
CaO	10,06	11,16	54,24	53,16	0,00	0,00	6,27	0,02	0,91	0,91	0,64	0,64	21,53	14,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,27	0,01	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00
Na2O	3,08	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,80	6,80	0,02	0,44	18,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K2O	1,93	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	5,41	5,41	0,01	0,01	0,04	1,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
H2O	2,00	0,00	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.
P2O5	Н.а.	Н.а.	43,98	44,87	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	0,02	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.
Cl	Н.а.	Н.а.	0,21	0,19	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	0,00	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.
Сумма	100,24	98,86	98,43	98,22	100,43	100,53	100,43	100,20	99,90	99,90	99,51	99,51	99,91	100,90	98,82	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	100,76	100,76
f	45,62	-	-	-	-	62,68	10,99	-	8,33	8,33	20,54	20,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zr/Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,12

Таблица 3. Химический состав мегакристов щелочных базальтов (мас. %). Анализы выполнены на рентгеновских микроанализаторах Camebax (Камчатка) - аналитик В. Чубаров, JXA-5A (ДВГИ) - аналитик Н. Екимова и Superpro 9600 (Япония) - аналитик М. Otsuki. Щелочно-базальтовые вулканы: Конф- Конфетка, ПГ - Подгелбаночный.

4. В приморских сапфирах из россыпей и базальтовых вулканов главной примесью является железо и отсутствует титан, в то время как в метаморфогенных и метасоматических сапфирах содержания титана повышены, а железа минимальны [3]. Сравнение с данными о примесном составе сапфирах из различных месторождений других регионов мира приведено на следующем рисунке (рис. 1).

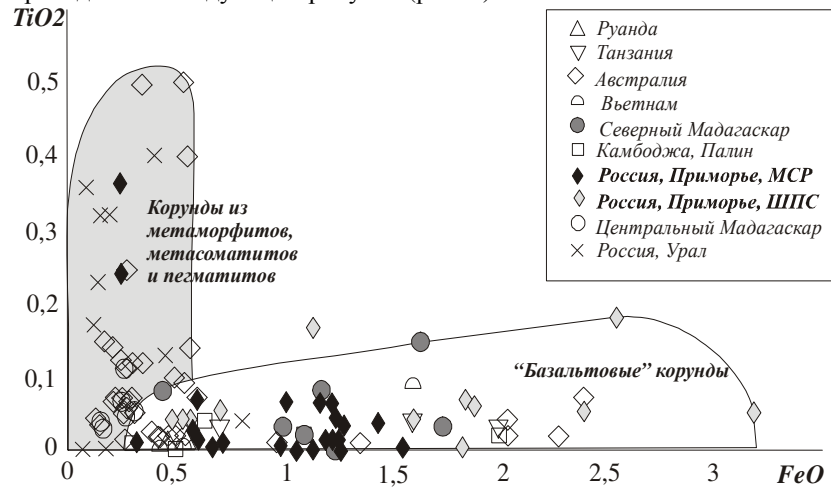


Рис. 1. Дискриминантный график для корундов разных генетических групп. Россия, Приморье МСР - Маревский сапфиноносный район, ШПС - Шкотовское проявление сапфирах.

На графике вьетнамские, руандийские, северомадагаскарские и часть камбоджийских, австралийских и приморских корундов образуют поле, вытянутое вдоль оси железа. Все они найдены в россыпях, приуроченных к щелочным базальтоидам. Поле, вытянутое вдоль оси титана, образуют корунды Центрального Мадагаскара, добытые из измененных известняков, известково-силикатных гнейсов, пегматитов, корунды Камбоджи, найденные в метаморфитах, корунды из корунд-диаспоровых сростков Приморья, т.е. корунды из метаморфических, метасоматических пород и гранитных пегматитов. Как видно, они хорошо разделяются на диаграмме и это служит критерием для определения генетической природы сапфирах.

5. В приморских сапфирах обнаружены газовой-жидкие, жидкие и твердые (минеральные и расплавные) включения. Минеральные включения в приморских сапфирах представлены цирконом, колумбитом, полевым шпатом, шпинелью, апатитом и слюдой.

Многие минеральные, полиминеральные, расплавные и солевые включения имеют высокое содержание хлора (табл. 4).

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Cl	Сумма
Анортоклаз	61,19	0,12	23,23	0,24	0,04	0,02	0,12	7,49	6,89	1,05	0,00	0,40	100,79
Анортоклаз	60,49	0,04	23,33	0,19	0,00	0,03	0,15	8,22	6,68	1,11	0,00	0,17	100,40
Анортоклаз	60,96	0,03	23,42	0,18	0,00	0,00	0,14	7,88	6,27	1,11	0,00	0,26	100,33
Биотит	35,75	3,83	20,60	15,29	0,50	11,42	0,00	2,03	7,79	0,06	0,00	0,06	97,45
Биотит	36,50	3,51	20,59	15,05	0,60	11,84	0,04	2,19	7,51	0,03	0,00	0,05	98,07
Апатит	2,91	0,00	1,09	0,11	0,22	0,05	48,05	1,12	0,35	42,12	0,00	0,63	99,07
Апатит	2,91	0,00	1,45	0,18	0,15	0,02	48,83	1,04	0,41	41,54	0,02	0,60	98,92
№ образца													
Расплавные включения	53,90	0,36	27,36	3,36	0,20	0,60	0,28	2,18	7,53	0,97	0,00	0,42	97,06
2	54,17	0,32	27,35	3,50	0,17	0,62	0,24	3,28	6,71	1,04	0,03	0,34	97,68
3	53,67	0,32	26,89	3,21	0,04	0,56	0,21	3,76	6,74	1,08	0,01	0,38	96,77

Таблица 4. Химический состав минеральных и расплавных включений в приморских сапфирах (мас. %). Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Superprob 9600 (Япония) - аналитик М. Otsuki.

Сравнение данных о включениях в сапфирах России (Приморье), Австралии, Руанды, Таиланда и Северного Мадагаскара, пространственно связанных с кайнозойскими щелочными базальтами, выявило сходство некоторых из них. Общими включениями для корундов из всех рассмотренных месторождений являются шпинель и циркон (гиацинт).

Отсюда следует второе защищаемое положение:

Минералы мегакристовой ассоциации, выявленные в сапфиросных россыпях, соответствуют минералам одноименной ассоциации из кайнозойских щелочных базальтоидов и имеют сходные химические характеристики. Источником сапфиросных россыпей Приморья являются кайнозойские щелочные базальты.

Сапфирам базальтового происхождения присуще повышенное содержание железа при низких концентрациях титана, что служит критерием для определения генетической природы сапфиров.

Расплавные включения обогащены Na, Cl и P, а солевые включения в сапфирах представлены преимущественно хлоридами Na и K. Апатит сапфиросных базальтоидов имеет высокие содержания Cl. Все это указывает на существенную роль хлора в образовании сапфиров.

ГЛАВА 3. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗАЛЬТОВ ИЗ РАЙОНОВ РАЗВИТИЯ САПФИРОСНЫХ РОССЫПЕЙ

Проявления кайнозойского базальтоидного вулканизма являются отличительной особенностью Западного побережья Тихого океана. На отдельных территориях, этим вулканитам сопутствуют месторождения сапфиров в аллювии рек и измененной базальтовой пирокластике (Pescover, Coenraads, 1989, Coenraads, 1990a, Sutherland et al., 1993, Oakes et al., 1996, [4]). Однако, судя по литературным данным и собственным полевым наблюдениям, не все базальтовые вулканы и платобазальты обладают сапфиросностью. Поэтому необходимо выделить критерии сапфиросности базальтоидов.

Базальты сапфиросных вулканов представлены оливиновыми разностями, причем среди оливинов встречаются как фрагменты лерцолитовых включений, так и фенокристы. Изученные разновидности базальтов имеют вкрапленники, представленные оливином, плагиоклазом, амфиболом, клино- и ортопироксеном, шпинелью, ильменитом, магнетитом, биотитом, иногда гранатом. Они составляют от 10 до 50% от общего объема породы. Основная масса сложена микролитами клинопироксена (30-40%), оливина (0-20%), шпинели, ильменита (2-5%) и плагиоклаза (1-5%), погруженными в стекло или криптокристаллический агрегат (40-65%), либо состоит из мелких лейст и табличек плагиоклаза, промежутки между которыми выполнены пироксенами, оливином, амфиболом или стеклом (в зависимости от степени раскристаллизации).

Структура основной массы витрофирная, реже - панидиоморфнозернистая.

Щелочные базальтоиды обогащены лерцолитовыми включениями, состоящими из оливина, хромдиоксида, ортопироксена, шпинели и мегакристами керсутита, титанавгита, полевого шпата, биотита, шпинели, магнетита, ильменита, апатита, граната, циркона. Кроме того, в базальтах встречаются гранатовые пироксениты и обломки фонолитов.

Анализ приморских сапфиросных базальтоидов (табл. 5) показал, что сапфиры связаны исключительно со щелочными натриевыми или натрий-калиевыми базальтоидами [5]. Как видно из рисунка (рис. 2), содержание натрия в них варьирует от 2 до 5 % Na₂O. Концентрации калия составляют 0,85-4,11% (табл. 5).

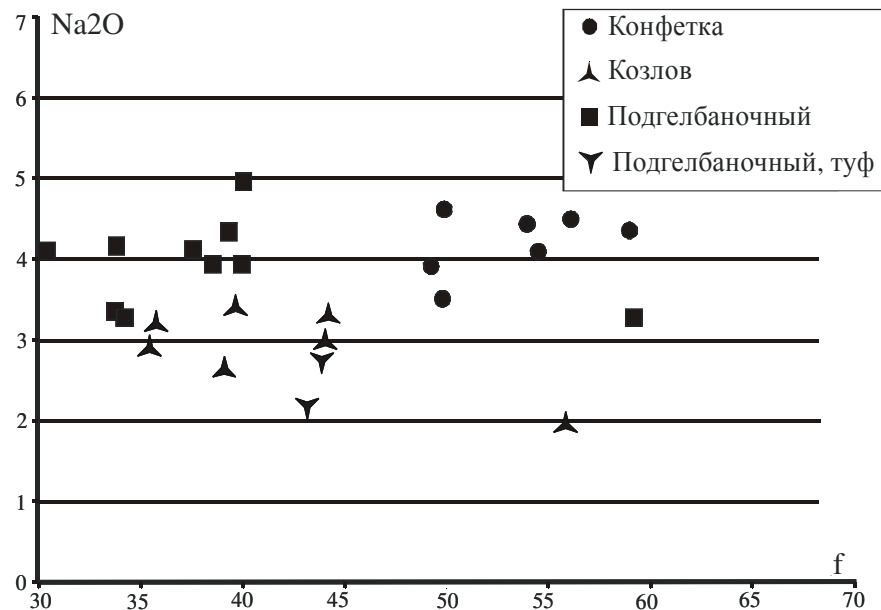


Рис. 2. Особенности химического состава сапфиросных базальтов Приморья, Австралии и Таиланда.

Содержания титана в таких базальтах высокие (1,7-3,2% TiO₂); содержания глинозема составляют (11,72-16,32% Al₂O₃). Базальты сапфиросных районов отличаются повышенными концентрациями циркония и стронция (Sr – 806-1576 г/т, Zr- 126-687 г/т) (табл. 5).

Приморские базальтоиды сапфиросных территорий имеют высокие концентрации летучих компонентов (рис. 3).

№ пробы	Вулк. Конфетка		Кл. Козлов		Вулк. Подделбаночный		Вулк. Баррингтон		Провинция Чантабури							
	В-1100	1121/1	1121/2	0205	1146	1150	Щ-946а	Щ-946б	Щ-946д	Щ-09ж	12664	14701	16517	СТ-2	СТ-4	СТ-11
SiO ₂	44.31	44.93	43.79	44.02	43.44	47.98	47.46	46.69	47.55	47.55	43.50	45.30	45.80	43.54	42.10	40.75
TiO ₂	1.87	2.84	2.99	2.51	2.67	1.82	1.75	1.70	2.33	2.33	2.26	2.30	2.36	3.05	3.18	3.20
Al ₂ O ₃	16.32	14.67	13.91	13.83	13.11	11.72	15.39	14.90	14.52	14.52	14.4	14.80	15.50	12.29	11.93	11.74
Fe ₂ O ₃	8.18	7.20	8.31	7.40	6.26	4.64	3.58	3.25	2.86	2.86	2.42	2.52	2.38	5.41	5.75	7.24
FeO	4.36	5.65	5.37	4.65	5.90	6.99	6.76	8.52	7.30	7.30	8.71	9.07	8.57	6.29	7.02	6.04
MnO	0.18	0.18	0.16	0.15	0.15	0.14	0.23	0.25	0.18	0.18	0.19	0.19	0.18	0.20	0.22	0.21
MgO	5.30	7.30	7.87	10.21	8.68	10.52	9.26	9.65	8.29	10.7	10.7	9.70	7.63	9.73	10.69	10.49
CaO	7.05	8.18	8.46	8.98	8.92	7.28	5.48	5.58	7.71	10.9	10.9	9.65	10.60	10.50	10.12	9.49
Na ₂ O	4.48	3.62	3.12	3.46	3.29	2.67	3.92	3.92	4.91	3.26	3.40	3.02	3.02	2.52	2.75	4.06
K ₂ O	0.95	1.01	0.85	2.41	1.94	1.61	3.20	3.20	4.11	0.80	1.60	1.13	1.51	1.49	2.67	
P ₂ O ₅	0.90	0.76	0.74	0.77	0.93	0.46	Н.а.	Н.а.	Н.а.	0.95	0.67	0.63	1.26	1.22	1.29	
H ₂ O-	1.85	0.70	0.80	0.27	1.16	0.97	0.65	0.57	0.04	Н.а.	Н.а.	Н.а.	2.62	2.26	0.88	
П.п.п.	4.05	2.56	3.23	1.04	3.24	3.04	2.71	2.40	0.50	1.66	0.52	1.78	Н.а.	Н.а.	Н.а.	
Сумма	99.81	99.60	99.60	99.70	99.69	99.84	100.39	100.63	100.30	99.75	99.72	99.58	98.92	98.73	98.06	
f	56.54	49.42	48.98	39.45	43.87	38.43	37.67	34.94	40.04	37.44	40.74	45.23	40.28	40.15	41.31	
Ni	120	110	120	140	73	210	212	242	242	195	142	84.9	263	283	187	
Co	29	34	40	44	44	38	36	33	44	57.5	54.5	42.7	85	89	103	
Cr	80	150	140	160	41	1000	220	260	260	248	253	206	321	308	276	
V	66	135	130	88	80	150	140	185	198	201	214	324	304	304	315	
Rb	42	58	23	Н.а.	Н.а.	Н.а.	69	59	13.62	25.7	13.11	32	45	67		
Sr	1200	1576	995	Н.а.	Н.а.	Н.а.	1225	1225	1151	1162	806	958	1225	1387	1068	
Be	4.2	1.8	2.3	1.7	2.9	2.2	Н.а.	Н.а.	Н.а.	1.64	1.37	1.43	Н.а.	Н.а.	Н.а.	
Nb	52	72	49	20	56	38	147	148	125	96.1	62.8	81.5	Н.а.	Н.а.	Н.а.	
Zr	316	378	278	260	230	170	687	687	580	301	292	174	321	304	Zr	
Cl	580	299	335	400	297	120	1300	1200	1050	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	
F	283	266	285	202	180	0	680	627	460	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	Н.а.	

Таблица 5. Химический состав сапфиросносных щелочных базальтов и базальтовых туфов (Мас.%). Аналитики: Макарова Г.И., Е.В. Ноздрачев. Образцы Щ-946а и д. Щ-09ж предоставлены С.А. Щегой.

Как было показано ранее, в сапфирах обнаружены хлорсодержащие включения и цирконы. Это является еще одним свидетельством генетического единства базальтов и сапфиров. В тоже время, граниты, которые рядом исследователей предполагались материнскими породами для сапфиров, совершенно не содержат хлора, но имеют повышенные концентрации фтора (рис. 3).

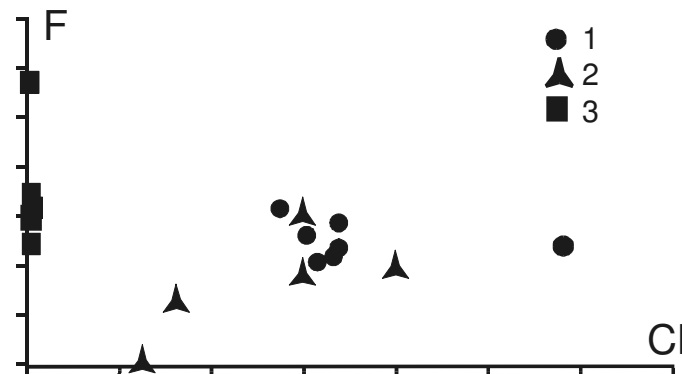


Рис. 3. Содержание Cl и F в сапфиросносных кайнозойских щелочных базальтоидах Приморья: 1- вулкан Конфетка, 2- базальты близ россыпи кл. Козлова и 3-в меловых гранитах, содержащих микрокристаллы метасоматического корунда.

Таким образом, сапфиросносные базальтоиды таких пространственно разобщенных территорий, как Приморье, Австралия и Таиланд имеют следующие общие черты:

1. Эти базальтоиды щелочные. Вулканы, в которых найдены сапфиры по составу являются натровыми (Вулк. Конфетка, вулк. Баррингтон) или калий-натровыми (базальтоиды Чантабури-Трат). Базальтоиды всех сапфиросносных районов обогащены цирконием, стронцием и фосфором. Сапфиросносные базальтоиды Приморья имеют высокие содержания летучих компонентов (хлора и фтора).

2. Базальтоиды сапфиросносных районов обогащены мегакристами титанавгита, керсутита, шпинели, ильменита, основного плагиоклаза, флогопит-биотита, циркона и включениями ультрабазитов (лерцолитов, гранатовых пироксенитов и анортоклазитов) (Stephenson, 1990; Aspen et al., 1999, Coenraads, 1990, Высоцкий и др, 2003). Отсюда следует, что

Геохимическим индикатором сапфиросносности щелочных базальтоидов является их обогащенность натрием, хлором, цирконием. Минералогически это выражается в наличии большого количества мегакристов, в том числе полевого шпата и цирконов.

ГЛАВА 4. О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ САПФИРОВ ИЗ БАЗАЛЬТОИДНОЙ МАГМЫ

Проблема генезиса “базальтовых” сапфиров обсуждается очень широко. Все известные модели образования сапфиров сводятся к двум типам. «Гипотезы ксенокристовой природы сапфиров» предполагают образование сапфиров в глубинных породах и захват их в виде ксенокристов базальтовой магмой, поднимающейся к поверхности. Согласно «гипотезам мегакристового генезиса» образование сапфира происходит из расплава в процессе эволюции базальтовой магмы.

Многие исследователи в настоящее время являются приверженцами “ксенокристовой модели” образования сапфиров (Bailey et al., 1924; Gubelin, 1965; Barron et al., 1994; Guo et al., 1996; Oakes et al., 1996; Sutherland et al., 1998). Как доказательство «ксенокристового» происхождения сапфиров в базальтах обычно приводятся факты единичных находок ксенолитов метаморфогенного происхождения с корундами (рубинами и сапфирами), сапфирином, шпинелью, дистеном и силлиманитом; корродированная поверхность большинства сапфиров, свидетельствующая об их неравновесности (на определенном этапе) с вмещающими базальтами.

Однако от “базальтовых” сапфиры из метаморфогенных ксенолитов *отличаются* по концентрациям элементов-примесей и набору минеральных и расплавных включений. Представляется также сомнительным наличие в коре столь обогащенных корундом тел, достаточных, чтобы образовать крупную сапфиросную провинцию (например, Новый Южный Уэльс), тем более, *закономерная приуроченность* этих «сапфиросных прослоек» именно к проявлениям щелочного базальтового магматизма вдоль всего западного побережья Тихого океана.

Гипотеза о «мегакристовом» происхождении сапфиров в базальтах появилась благодаря пространственной сопряженности сапфиросных россыпей и щелочных базальтоидов; находкам кристаллов сапфиров в базальтоидах; определениям возраста сапфиров (по включениям цирконов в них), который совпадает с возрастом вмещающих базальтов, а также многим другим фактам.

Было предложено несколько моделей образования сапфира в расплавах, эволюционировавших от пикритов до фонолитов и трахитов. Ни одна из них не объясняет особого химического состава “базальтовых” сапфиров и своеобразного комплекса включений в них. Кроме того, образование прозрачных окрашенных разновидностей корунда подразумевает быстрый транспорт питающего вещества к центрам кристаллизации. Это может быть обусловлено только потоком агрессивного трансмагматического флюида (H₂O, P, C, CO₂, Cl, F, V) и выносом сильных катионов.

С точки зрения автора возможны два варианта. В первом решающая роль принадлежит фтору и процессу кислотного выщелачивания. Фтор образует соединения с некоторыми активными катионами (SiF₄, TiF₄, AlF₄, ZrF₄) и в составе флюида из расплава или породы происходит вынос этих соединений. Примером такого кислотного выщелачивания могут служить корунд-топазовые грейзены в гранитных интрузиях.

Во втором случае преобладает Cl-содержащий флюид. Он также образует соединения с Al, Fe³⁺, Zr, Hf, Ta, Nb. Такие соединения (AlCl₃, ZrCl₄, TaCl₄, FeCl₃) возгоняются при относительно низких температурах и могут переноситься на значительные расстояния (табл. 6).

Хлориды	T (°C)	Фториды	T (°C)
SiCl ₄	57 кип.	SiF ₄	-95 возг
TiCl ₄	136 кип.	TiF ₄	283 возг.
ZrCl ₄	331 возг.	ZrF ₄	903 возг
AlCl ₃	180 возг.	AlF ₃ ↓	1279 кип.
FeCl ₃	317 кип.	FeF ₃	>1000 возг
TaCl ₄	300 возг.	TaF ₅	234 кип.

Таблица 6. Данные о химических свойствах некоторых соединений галогенов (Турова, 1977). T (°C) возг.- температура возгонки, T (°C) кип. - температура кипения.

Суммируя данные по составу сапфиросных базальтов и сапфиров, наиболее вероятным представляется случай с преобладанием Cl-насыщенного флюида, так как он допускает широкий интервал образования (от приповерхностных условий до образования микрокристаллов на границе раздела кипящего фонолитового расплава и флюидной фазы). Кроме образования самого сапфира, с помощью этой модели можно объяснить неоднократно наблюдавшийся парагенезис сапфир-циркон-шпинель (рис. 4).

Формирование сапфиров происходит в пустотах вулканического аппарата щелочно-базальтового вулкана при условиях стабильного поступления флюида, несущего газообразный хлористый алюминий (AlCl₃), и, в целом, может быть разделено на четыре этапа:

- 1. Образование глиноземсодержащего флюида (AlCl₃).**
- 2. Транспортировка соединения AlCl₃ до места отложения.**
- 3. Кристаллизация сапфира в миароловых пустотах щелочно-базальтового вулкана.**
- 4. Вынос сапфиров на поверхность.**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных автором исследований были выделены закономерности геологического строения сапфиросных районов, пространственно ассоциирующих с кайнозойскими щелочными базальтоидами, выявлены индикаторные минеральные ассоциации сапфиросных россыпей, выяснены петролого-минералогические индикаторы сапфиросности базальтоидов и предложен механизм образования “базальтовых” сапфиров. Основные выводы проведенных автором исследований приведены в защищаемых положениях и подробно изложены в тексте диссертации.

Изучение геологического положения сапфиросных россыпей Приморья показало, что они, так же как их аналоги в Австралии, Таиланде, Руанде и на Мадагаскаре, располагаются в различных геодинамических и структурных условиях. Общим геологическим критерием сапфиросности является наличие мощной континентальной коры и пространственная сопряженность с проявлениями кайнозойского щелочно-базальтового вулканизма.

Установлено, что минералы мегакристовой ассоциации сапфиросных россыпей имеют сходные химические характеристики с минералами одноименной ассоциации из кайнозойских щелочных базальтоидов. Найден критерий для определения генетической природы сапфиров: сапфирам базальтового происхождения присуще повышенное содержание железа, при низких концентрациях титана. Таким образом, источником ювелирных корундов в сапфиросных россыпях Приморья являются кайнозойские щелочные базальтоиды.

Сапфиросные базальтоиды Приморья обогащены хлором, также как и многие расплавные и минеральные включения в сапфирах и некоторые базальтовые мегакристы, что указывает на существенную роль хлора в образовании сапфиров. Предложен механизм образования сапфиров из базальтоидного расплава при участии газообразного $AlCl_3$ по типу “миароловых” пустот.

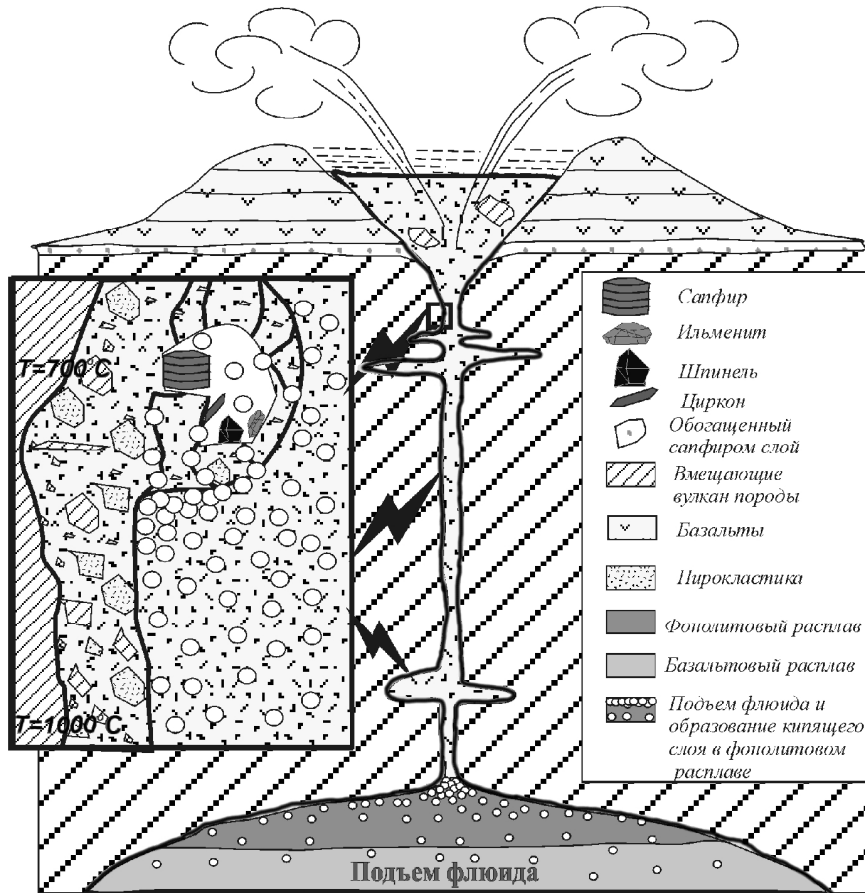


Рис. 4. Модель образования мегакристаллов в щелочно-базальтовом вулкане при участии Cl-содержащей флюидной фазы.

Вышеизложенные данные позволяют объяснить с позиций предложенной модели особенности морфологии кристаллов сапфира (отдельность, фигуры растворения и роста), приуроченность месторождений сапфиров к щелочным базальтоидам и многие другие особенности.

Отсюда вытекает четвертое защищаемое положение:

Кристаллизация сапфиров из базальтоидного расплава протекает при участии газообразного $AlCl_3$ по механизму “миароловых” пустот.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

- [1] Высоцкий, С. В., Щека С.А., Нечаев В.П., Сорока В.П., **Баркар А.В.**, Ханчук А.И. Первая находка сапфиров в кайнозойских щелочно-базальтовых вулканах Приморья// Доклады РАН. 2002. т.387, №. 6, с. 806-810.
- [2] **Баркар А.В.**, Гулай Н.П., Екимова Н.И., Москаленко Е. Ю. Минералогия сапфиросных россыпей приморья в связи с проблемой коренного источника сапфиров// Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики т. 3, Магадан. 2003. с. 259-262.
- [3] **Баркар А.В.**, Гулай Н.П. Сапфиры Приморья: особенности состава и генезис// Годичная сессия МО, Москва. 2003. стр. 12-13.
- [4] Высоцкий С.В., Щека С.А., **Баркар А.В.**, Нечаев В.П. Приморье – фрагмент Восточно-Азиатского сапфиросного пояса?// Вестник ДВО. 2003. с. 57-66.
- [5] **Anna V. Barkar**, Sergey V. Vysotskiy, Natalie P. Gulay Mineralogical analogies of alkali basalt megacrysts and related sapphire-bearing placer// Tectonics, magmatism and metallogeny. Vladivostok. Dal'nauka. 2004. p. 327-328.