

На правах рукописи

НАСТАВКО Александр Владимирович

**ПЕТРОЛОГИЯ ПЕРМОТРИАСОВЫХ ТРАПШОВ
КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА**

25.00.04 – петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Научный руководитель: - доктор геолого-минералогических наук
Кутолин Владислав Алексеевич

Официальные оппоненты:

Рассказов Сергей Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, в.н.с., профессор, заведующий лабораторией Института земной коры СО РАН (г. Иркутск)

Васильев Юрий Романович, доктор геолого-минералогических наук, в.н.с. Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Защита состоится 22 мая 2013 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 003.067.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии наук, в главном конференц-зале.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3

Факс: (383) 333-27-92, e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института

Автореферат разослан 19 апреля 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
д.г.-м.н.

О.М. Туркина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Пермотриасовые магматические породы Кузнецкого бассейна изучали многие геологи (Ф.Н. Шахов, 1927; В.И. Яворский, 1934), в том числе и М.А. Усов (1937), который первым отнес эти породы к трапповой формации. Позднее В.А. Кутолин (1962ф, 1963, 1964) провел исследования геологии, петрографии и петрохимии траппов Кузбасса. Однако его работы по определению состава породообразующих минералов основаны лишь на детальном исследовании их оптических свойств.

Возобновление интереса к изучению траппов Кузбасса произошло после появления статьи Н.Л. Добрецова (1997) о Сибирском пермотриасовом суперплюме, поскольку эти магматические породы стали рассматриваться как одно из следствий влияния этого суперплюма. В 1999 г. появилась статья Н.Н. Крука с соавторами по геохимии траппов Кузбасса, причем эти данные увязывались с оригинальной тектонической гипотезой происхождения Кузнецкого бассейна (Крук и др., 1999). Затем были опубликованы работы Г.С. Федосеева и др. (2005) и М.М. Буслова с соавторами (2010) по геологии, геохронологии, геохимии и геодинамике пермотриасового плюмового магматизма Кузбасса. К сожалению, в этих работах отсутствуют данные о составе породообразующих минералов, которые могли бы быть использованы для решения петрологических задач. Настоящая диссертационная работа направлена на детальное изучение состава минералов и петрохимических характеристик траппов Кузбасса с целью построения петрологической модели их формирования.

Объектом исследований являются эффузивные и гипабиссальные породы салтымаковского и сыркашевского комплексов Кузнецкого бассейна, которые относятся к проявлениям пермотриасовой трапповой провинции в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы (Соболев и др., 2009; Буслов и др., 2010).

Цель работы – определение петрологических условий формирования траппов Кузбасса на основе детального изучения их минерального состава и петрохимии и сравнение траппов Кузбасса с разновозрастными магматическими породами Кольвань-Томской складчатой зоны, Западно-Сибирской плиты и Норильского района Сибирской платформы по петрохимическим и геохимическим характеристикам. Для достижения этих целей решались следующие **задачи**:

1. Выяснение условий формирования пород сыркашевского и салтымаковского комплексов на основе изучения их петрографического, минерального, петрохимического и редкоземельного составов.
2. Использование данных об особенностях состава и возраста пород

сыркашевского и салтымаковского комплексов для выяснения их генетических взаимоотношений. 3. Оценка роли дифференциации расплава и ассимиляции вмещающих пород при формировании силлов сыркашевского комплекса. 4. Сравнение химического состава траппов Кузбасса с одновозрастными магматическими породами Кольвань-Томской складчатой зоны, Западно-Сибирской плиты и Норильского района Сибирской платформы. 5. Оценка состава исходного для траппов Кузбасса мантийного субстрата на основании сопоставления петрохимических их особенностей с экспериментальными данными по плавлению эклогитов и пироксенитов при давлении 3-5 ГПа.

Фактический материал и методы исследований. В основу работы положен коллекционный каменный материал, полученный автором во время полевых работ 2004-2011 гг., а также данные предыдущих исследователей. Изучение разрезов Сыркашевского и Майзасского силлов осуществлялось по рекам Томь и Мрас-Су. Исследование вулканитов салтымаковского комплекса выполнялось: 1. в разрезе мальцевской, сосновской и яминской свит триаса по р. Томь в районе Салтымаковского хребта; 2. в скальных выходах у г. Сосновая по р. Томь; 3. в Елбакском карьере в Ажendarовском хребте; 4. в Караканском, Алексеевском (Планерном), Лиственничном, Нижнетыхтинском карьерах в Караканском хребте.

Использован широкий спектр геологических, аналитических и расчетных методов. Изучено 695 петрографических шлифов и полированных пластинок горных пород. Получено 380 микрозондовых анализов породообразующих и акцессорных минералов на рентгеноспектральном микроанализаторе с электронным зондом «Camebax-micro» в ИГМ СО РАН (аналитики Л.Н. Пospelова, Е.Н. Нигматулина), и 120 определений составов рудных минералов на электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 (аналитик М.В. Хлестов). Погрешность определения микрозондового анализа достигает 0,01 мас. % для Si, Ti, Al, Mg, Ca, K и 0,02 мас. % для Cr, Mn, Fe, Na. Выполнено 62 анализа валового состава пород методом РФА с использованием спектрометра ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation) в ИГМ СО РАН (аналитик Н.М. Глухова). Кроме этого произведено 20 определений FeO и Fe₂O₃ химическим методом в Институте геохимии СО РАН, г. Иркутск (аналитик Т.В. Ожогина). Проведено 8 определений ЭПГ методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Finnigan Element I (аналитик С.В. Палесский).

Петрохимическая характеристика траппов Кузбасса основывается, кроме того, на использовании дополнительных 144 химических анализов из работ В.А. Кутолина (1963), В.П. Болтухина и др. (1985ф), В.М. Буркова и др. (1976ф), В.В. Князева и В.П. Ладыгина (1980ф), В.И. Иванова (1993ф), М.М. Буслова и др. (2010).

Научная новизна. 1. Впервые детально изучен состав породообразующих и аксессуарных минералов траппов Кузбасса с использованием современной аналитической аппаратуры.

2. На основе петрографических данных и модельных расчетов с использованием программы COMAGMAT 3.72 (Ariskin et al, 1993) установлен парагенезис кумулюсных фаз при кристаллизации исходного расплава для траппов Кузбасса.

3. Впервые в траппах Кузбасса обнаружена рассеянная сульфидная вкрапленность, представленная пирротинном, халькопиритом, кобальт-пентландитом, галенитом и сфалеритом. Определены содержания ЭПГ в вулканитах и гипабиссальных телах Кузнецкого бассейна.

Практическая значимость работы. Породы салтымаковского комплекса интенсивно разрабатываются для получения из них щебня. При этом образуется около 25 % щебеночных отсеков, которые сейчас почти не используются. В работе показано, что выявленный однородный минеральный и петрохимический состав пород делает пригодным для производства из щебеночных отсеков андезибазальтов петрозита – нового вида легких заполнителей бетонов. Автор, совместно с В.А. Кутолиным и В.А. Широких, разработал научные основы технологии производства таких заполнителей для легких бетонов из щебеночных отсеков пород салтымаковского комплекса (Кутолин и др., 2009ф). Полученный петрозит по насыпной плотности 500 кг/м³ и прочности при сдавливании в цилиндре 1,7 МПа соответствует керамзиту высшей категории качества.

Основные защищаемые положения

1. Породы салтымаковского и сыркашевского комплексов, относящиеся к трапповой формации, комагматичны. Химический состав зон закалки силлов сыркашевского комплекса аналогичен составу салтымаковских андезибазальтов, что согласуется с их близким Ag/Ag возрастом и одинаковыми геохимическими характеристиками. Различия в составах и содержаниях породообразующих минералов обусловлены кристаллизационной дифференциацией в силлах сыркашевского комплекса и сопровождавшими их формирование процессами ассимиляции вмещающих пород (песчаников и углей), что привело к увеличению содержания кварца и калишпата в этих породах, а также уменьшению фугитивности кислорода при их кристаллизации.

2. Траппы Кузбасса по сравнению с пермтриасовыми магматическими комплексами Кольвань-Томской складчатой зоны, Худосейского и Уренгойского рифтов Западно-Сибирской плиты и базальтами Норильского района Сибирской платформы содержат меньше MgO, но обогащены SiO₂, TiO₂, FeOtot, щелочами, P₂O₅ и имеют больший коэффициент железистости Kф. По составу они соответствуют андезибазальтам, а по коэффициенту железистости Kф относятся к железистым андезибазальтам (Kф – 71-75) и ферроандезибазальтам (Kф – 75-86).

3. Траппы Кузбасса характеризуются относительно низкой магнезиальностью при отсутствии признаков дифференциации расплавов. Они являются результатом частичного плавления мантийных коэситовых эклогитов или пересыщенных кремнеземом гранатовых клинопироксенитов. Согласно экспериментальным данным по плавлению коэситовых эклогитов и гранатовых клинопироксенитов при давлениях 3-5 ГПа, выплавки из таких пород имеют низкое содержание MgO и повышенное содержание SiO₂, что хорошо согласуется с выявленными петрохимическими особенностями кузбасских траппов.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликована 1 статья в российском научном журнале, входящем в список ВАК, и 9 тезисов в сборниках российских и международных конференций.

Основные положения работы были представлены в виде устных и стендовых докладов на 5 международных и 4 российских конференциях. Среди них V Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика» (Екатеринбург, 2011); XI Всероссийское петрографическое совещание «Магматизм и метаморфизм в истории Земли» (Екатеринбург, 2010); III Международная конференция «Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения» (Екатеринбург, 2009); XI конференция «Проблемы минералогии, петрографии и металлогении» (Пермь, 2008); VIII, IX, XI, Международные симпозиумы «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2004, 2005, 2007); IV Международный симпозиум «Минералогические музеи» (Санкт-Петербург, 2005); II конференция «Геммология» (Томск, 2005).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения. Объем работы составляет 185 страниц, она содержит 26 таблиц и 65 рисунков. Список литературы включает 101 наименований.

В первой главе приведен обзор стратиграфии, магматизма и тектонического строения Кузбасса на основе опубликованных и фондовых материалов.

Во второй главе рассматривается история геологического изучения силлов сыркашевского комплекса. Представлены геологическая, петрографическая и минералогическая характеристики кварцсодержащих монцогаббро и кварцевых монцодиоритов.

В третьей главе рассматривается история геологического изучения пород салтымаковского комплекса. Охарактеризовано геологическое строение и дана петрографическая и минералогическая характеристики андезибазальтов, трахиандезибазальтов и базальтов в центральной части Кузнецкого бассейна.

В четвертой главе приводится петрохимическая и геохимическая характеристики траппов Кузбасса на примере салтымаковского и сыркашевского комплексов. Также рассматривается состав мантийного субстрата, за счет которого образовались траппы Кузбасса.

В пятой главе проводится сравнение химического состава траппов Кузбасса с одновозрастными пермотриасовыми магматическими породами Кольвань-Томской складчатой зоны, Западно-Сибирской плиты и вулканическими породами Норильского района Сибирской платформы.

В шестой главе описаны результаты моделирования условий кристаллизации траппов Кузбасса с использованием программы SOMAGMAT 3.72 (Ariskin et al, 1993).

В седьмой главе описаны полезные ископаемые, связанные с траппами Кузбасса.

В заключении излагаются основные выводы, полученные в результате проведенных исследований.

Работа осуществлена в рамках НИР лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций Института геологии и минералогии СО РАН, при финансовой поддержке РФФИ грант № 12-05-00112, и грантов президента РФ № МК-4851.2011.5, НШ-65458.2010.5.

Благодарности. Автор выражает признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. В.А. Кутолину. Выполнению работы способствовали консультации члена-корреспондента РАН Г.В. Полякова, докторов г.-м. наук А.Э. Изоха, О.М. Туркиной, Э.В. Сокол, М.П. Мазурова, кандидатов г.-м. наук Р.А. Шелепаева, Е.В. Бородиной В.В. Егоровой, В.М. Калугина, Г.А. Бабина, А.В. Вишневого, А.В. Лавренчука, Т.В. Светлицкой, В.А. Широких. Автор благодарен за сотрудничество и помощь кандидатам г.-м. наук Л.Н. Пospelовой, Е.Н. Нигматулиной. Особо хочется поблагодарить за помощь и поддержку кандидатов г.-м. наук Т.И. Полуэктову и К.Л. Новоселова (ТПУ).

Обоснование защищаемых положений

1. Породы салтымаковского и сыркашевского комплексов, относящиеся к траптовой формации, комагматичны. Химический состав зон закалки силлов сыркашевского комплекса аналогичен составу салтымаковских андезибазальтов, что согласуется с их близким Ar/Ar возрастом и одинаковыми геохимическими характеристиками. Различия в составах и содержаниях породообразующих минералов обусловлены кристаллизационной дифференциацией в силлах сыркашевского комплекса и сопровождавшими их формирование процессами ассимиляции вмещающих пород (песчаников и углей), что привело к увеличению содержания кварца и калишпата в этих породах, а также уменьшению фугитивности кислорода при их кристаллизации.

Траппы Кузбасса представлены сыркашевским и салтымаковским комплексами (Буслов и др., 2010) (рис. 1). Гибабиссальные породы сыркашевского комплекса расположены в южной части Кузбасса, залегают среди угленосных отложений от острогской (C_{1-2}) до ильинской (P_{2il}) подсерий и дислоцированы совместно с ними в складки (Бабин и др., 2005ф). Мощность силлов достигает 100 м для Сыркашевского и 130 м для Майзасского силла (Максимов, 1963). Салтымаковский комплекс представлен шестью покровами андезибазальтов и одним покровом базальтов, залегающими среди туфогенно-осадочных пород мальцевской (T_{1ml}) и яминской (T_{2jam}) свит, и редкими силлами микродолеритов мощностью не более 20 м. Породы мальцевской и яминской свит, вместе с залегающими среди них покровами андезибазальтов, образуют пологие складки с углами падения крыльев не более 20° . Нижний покров базальтов в мальцевской свите имеет мощность 18 м, а покровы андезибазальтов (снизу вверх) – 103, 45, 101, 6, 7, 2 м по данным бурения на площади Салтымаковского хребта (Лавренов и др., 2000). В южном крыле Бунгарапской мульды и в Караканском карьере наблюдаются только два покрова андезибазальтов мальцевской свиты мощностью 40 и 70 м (Токарликов, 1978ф). В яминской свите залегают два покрова андезибазальтов мощностью 20 и 25 м.

Сыркашевский силл сложен кварцсодержащими монцогаббро в нижней части тела и кварцсодержащими монцодиоритами в верхней части. Породы по разрезу Майзасского силла дифференцированы от кварцсодержащих до кварцевых монцодиоритов. Краевые фации силлов представлены микродолеритами. Текстура пород массивная. Структура монцогаббро и монцодиоритов – габброофитовая и монцонитовая, долеритов – порфировая с долеритовой структурой основной массы.

Породы Сыркашевского и Майзасского силлов состоят из плагиоклаза (40-50 %), калинатрового полевого шпата (12-15 %), клинопироксена (10-15 %), оливина (0-15 %), кварца (5-15 %), амфибола (2-4 %) и биотита (2-3 %).

Плагиоклаз по составу отвечает андезин-лабрадору An_{42-55} , клинопироксен – авгиту ($En_{29-42}Fs_{22-31}Wo_{34-41}$), оливин – феррогортонолиту Fo_{15-31} , амфибол – ферроэдентиту, биотит имеет $Mg\#$ 30-42 и содержит до 3,9 мас. % TiO_2 (рис. 2). При уменьшении основности плагиоклаза (от An_{55} до An_{42}) в нем увеличивается содержание K_2O и уменьшается содержание TiO_2 , MgO (рис. 3А). При уменьшении магнезиальности пироксена ($Mg\#$ – от 69 до 49) в нем уменьшается содержание TiO_2 (рис. 3Б). В оливине при уменьшении доли форстерита (от Fo_{31} до Fo_{15}) увеличивается содержание MnO от 1,0 до 1,4 мас. %. Вверх по разрезу Сыркашевского силла в породах уменьшается основность плагиоклаза от An_{55} до An_{48} , уменьшается магнезиальность клинопироксена от En_{42} до En_{29} , содержание TiO_2 в нем уменьшается от 0,9-1,0 мас. % до 0,6-0,8 мас. %, уменьшается магнезиальность оливина от Fo_{29} до Fo_{15} .

Акцессорные минералы представлены ильменитом (2-8 %), апатитом (1-2 %) и единичными зернами циркона, пирротина, халькопирита, кобальт-пентландита, галенита, сфалерита, арсенипирита.

Андезибазальты, трахиандезибазальты и базальты салтымаковского комплекса сложены вкрапленниками плагиоклаза (10-30 %), клинопироксена (авгита) (0-10 %), оливина (1-15 %), и микролитами основной массы: плагиоклазом (25-40 %), авгитом (5-15 %), пижонитом (0-5 %), оливином (0-5 %), а также стеклом (30-60 %). Плагиоклаз по составу отвечает андезин-лабрадору An_{47-67} , клинопироксен – авгиту $En_{42-47}Fs_{12-25}Wo_{33-42}$ и пижониту $En_{59}Fs_{32-33}Wo_{8-9}$, оливин – гиалосидериту Fo_{59-66} (рис. 2). Вкрапленники клинопироксена в эффузивных породах мальцевской свиты содержат 1,0-3,2 мас. % Al_2O_3 , а в породах яминской свиты – 1,7-4,0 мас. % Al_2O_3 . Акцессорные минералы представлены титаномагнетитом (1-3 %), очень редко – ильменитом (1-4 %). Кроме того, наблюдаются в виде единичных зерен пирит, пирротин, халькопирит и кобальт-пентландит.

Детальное изучение состава породообразующих минералов траппов Кузбасса позволило выявить следующие их особенности:

Плагиоклазы имеют близкий состав в траппах сыркашевского (An_{42-55}) и салтымаковского (An_{47-67}) комплексов. Характерной особенностью плагиоклазов является повышенное содержание в них FeO , составляющее $0,28 \pm 0,06$ мас. % в породах сыркашевского комплекса и $0,49 \pm 0,19$ мас. % в породах салтымаковского комплекса (рис. 3А). По мнению Ф.П. Леснова и В.Н. Королюка (1977), содержание FeO

увеличивается в кристаллической решетке плагиоклазов при возрастании степени переохлаждения расплава относительно температуры ликвидуса. Клинопироксен в траппах сыркашевского комплекса представлен авгитом $\text{En}_{42-43}\text{Fs}_{22-25}\text{Wo}_{32-36}$ (рис. 2), который содержит примеси Al_2O_3 – 1,0-2,7 мас. %, TiO_2 – 0,6-1,2 мас. % и Na_2O – 0,2-0,4 мас. %. Клинопироксен в породах салтымаковского комплекса представлен авгитом $\text{En}_{41-47}\text{Fs}_{18-20}\text{Wo}_{35-40}$ во вкрапленниках и $\text{En}_{42-46}\text{Fs}_{17-27}\text{Wo}_{27-38}$ в микролитах основной массы (рис. 2). Вкрапленники авгита содержат Al_2O_3 – 1,7-3,2 мас. %, TiO_2 – 0,6-1,1 мас. % и Na_2O – 0,2-0,3 мас. %. Микролиты авгита отличаются от вкрапленников пониженным содержанием глинозема (1,1-2,3 мас. %) и повышенным содержанием TiO_2 (0,6-2,4 мас. %) (рис. 3Б). Оливин пород сыркашевского комплекса относится к феррогортонолиту Fo_{15-30} , а пород салтымаковского комплекса – к гиалосидериту Fo_{60-64} (рис. 2). Оливины содержат примесь MnO (1,0-1,4 мас. % для пород сыркашевского и 0,45-0,65 мас. % для пород салтымаковского комплекса), а также CaO (0,2-0,4 мас. %). Примеси Cr_2O_3 и NiO в них почти отсутствуют. Породы сыркашевского комплекса содержат калинаatroвый полевой шпат, амфибол и биотит, которых нет в вулканитах салтымаковского комплекса. Присутствие биотита и амфибола в породах сыркашевского комплекса указывает на достаточно высокое содержание воды (не менее 2-3 мас. % и 3-4 мас. %, соответственно) на поздней стадии кристаллизации расплава.

Траппы сыркашевского комплекса содержат ильменит, а титаномагнетит в них встречается редко. В породах салтымаковского комплекса напротив преобладает титаномагнетит, а ильменит редок. Ильменит в породах сыркашевского комплекса содержит примесь MnO (0,7-5,1 мас. %) и MgO (0,7 мас. %), а в ильмените пород салтымаковского комплекса значительно больше MgO (до 2,2-2,4 мас. %), но меньше MnO (0,7 мас. %).

Как видно из приведенного описания, составы минералов обоих комплексов обладают некоторыми общими характерными особенностями. К ним относится высокое содержание MnO в оливине при отсутствии NiO . Отсутствие титаномагнетита в траппах сыркашевского комплекса связано с формированием этих пород при низкой фугитивности кислорода.

Породы обоих комплексов близки между собой по химическому составу, хотя породы сыркашевского комплекса содержат немного больше SiO_2 , TiO_2 , но меньше CaO , чем породы салтымаковского комплекса (табл.). На диаграмме $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O+Na}_2\text{O}$ породы салтымаковского комплекса попадают в поля базальтов, андезибазальтов и трахиандезибазальтов, но отличаются от типичных одноименных пород островных дуг и активных континентальных окраин высоким коэффициентом железистости. Очень важно, что на бинарных диаграммах «коэффициент железистости (Кф) -

содержание окислов» для пород не наблюдается тренда дифференциации расплава (рис. 4).

Химический состав пород закаленных контактов силлов сыркашевского комплекса очень близок к составу вулканических пород салтымаковского комплекса, и на петрохимических диаграммах «коэффициент железистости (Кф) - содержание окислов» располагается в поле их составов, что свидетельствует о происхождении этих пород из близких по составу расплавов (рис. 4).

В породах обоих комплексов проявлена ассимиляция вмещающих пород, представленных аркозовыми песчаниками и углями. Мелкие ксенолиты кварца и калинатрового полевого шпата описывались В.А. Кутолиным (1962ф) в породах Сыркашевского силла. На основе моделирования с использованием программы COMAGMAT 3.72 показано, что породы сыркашевского комплекса кристаллизовались при очень низкой фугитивности кислорода (QFM/100), обязанной ассимиляции углей. По данным А.И. Боева и Э.М. Сендерзона (1958ф) влияние Сыркашевского силла на угли распространяется до 250 м в виде потерь летучих и иногда превращением углей их в антрациты. Наличие единичных ксенолитов кварца и калинатрового полевого шпата в породах сыркашевского комплекса, видимо, объясняется незначительной ассимиляцией аркозовых песчаников.

Содержания породообразующих окислов в трапах Кузбасса колеблются в следующих пределах:

окислы и коэфф.	содержание окислов в мас. %					
	сыркашевский комплекс			салтымаковский комплекс		
	от	до	сред	от	до	сред
SiO ₂	51	57	55	49	55	54
TiO ₂	1,1	3,5	2,1	0,8	2,5	1,9
Al ₂ O ₃	12	15	14	12	16	15
FeOtot	11	16	13	11	15	12
MgO	1,2	5,9	2,9	2,1	5,3	3,6
CaO	4,7	7,1	6,5	6,0	8,7	7,5
Na ₂ O	2,8	3,8	3,4	2,6	4,1	3,3
K ₂ O	1,7	3,0	2,4	0,6	3,0	1,8
P ₂ O ₅	0,5	1,3	0,9	0,3	1,8	0,7
Кф	77	91	82	69	86	77

$$Кф=100FeO/(FeO+MgO)$$

Спектр распределения РЗЭ в эффузивах салтымаковского комплекса аналогичен спектру распределения в породах силлов и даек сыркашевского комплекса (рис. 6). Эффузивы и силлы Кузнецкого бассейна обладают высоким суммарным содержанием РЗЭ (от 138 до 307 г/т) (Федосеев и др., 2005). Породы значительно обогащены легкими лантаноидами по отношению к тяжелым – $(La/Yb)_{ch} = 7,5-4,7$, в среднем 6,2, и деплетированы тяжелыми – $(Sm/Yb)_{ch} = 2,8-2,0$, в среднем 2,4 (Boynnton, 1984).

В распределении элементов для пород салтымаковского и сыркашевского комплексов, нормированных по примитивной мантии (PM) (Sun, McDonough, 1989), также наблюдается обогащенность легкими лантаноидами ($(La/Yb)_{PM} = 8-5$) и крупноионными литофильными элементами ($(U/La)_{PM} = 4,3-0,8$, среднее 2,5), и деплетированность тяжелыми лантаноидами $(Gd/Yb)_{PM} = 2,0-1,5$, в среднем 1,7. Геохимической особенностью вулканитов и силлов Кузнецкого бассейна является наличие выраженных минимумов высоkozарядных элементов (HFSE), таких как Nb, Ta, Ti, $(La/Nb)_{PM} = 4,5-1,6$.

Сходство геохимических особенностей вулканитов салтымаковского комплекса и одновозрастных пород силлов сыркашевского комплекса также подтверждает заключение о происхождении этих пород из единого мантийного источника. Деплетированность тяжелыми лантаноидами (HREE) в породах трапповой формации Кузбасса свидетельствует о присутствии граната в мантийном источнике родоначальных расплавов этих пород.

По своим редкоэлементным характеристикам породы салтымаковского и сыркашевского комплексов обогащены легкими РЗЭ по отношению к тяжелым, что может объясняться образованием расплава из обогащенного легкими лантаноидами мантийного источника.

Траппы Кузбасса и траппы Сибирской платформы имеют следующие изотопные отношения: $^{176}Hf/^{177}Hf$ (0,2827-0,2829), $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,7043-0,7056), ϵNd (+2,26 +4,16), $^{206}Pb/^{204}Pb$ (18,15-19,73) (Reichow et al., 2010). Андезибазальты салтымаковского комплекса имеют значение ϵNd от +2,3 до +3,1 (Крук и др., 1999). Вулканиты и гипабиссальные породы Кузнецкого бассейна, и траппы Сибирской платформы имеют сходное изотопное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ 0,7043-0,7056, что допускает контаминацию расплава в процессе его эволюции материалом верхней коры в объеме до 10 %. Траппы Кузбасса характеризуются низкими содержаниями элементов платиновой группы: Os – 0,02, Ir – 0,01, Ru – 0,09, Rh – 0,01, Pt – 0,4, Pd – 0,09 мг/т.

Детальное изучение химического состава траппов Кузбасса показало, что микродолериты, слагающие зоны закалки силлов

сыркашевского комплекса, состав которых отражает состав исходной магмы еще не претерпевшей дифференциации внутри силла или ассимиляции вмещающих пород, очень походят на андезибазальты салтымаковского комплекса и на диаграмме «Кф – содержания окислов» располагаются среди поля последних (рис. 4). Геохимические особенности пород обоих комплексов также очень близки между собой (рис. 6). Возраст пород сыркашевского комплекса составляет $252,3 \pm 0,6$ млн лет, а андезибазальтов салтымаковского комплекса – $250,7 \pm 0,6$ млн лет (Буслов и др., 2010) и, таким образом, является близким для обоих комплексов.

Согласно модельным расчетам с использованием программы COMAGMAT 3.72 (Ariskin et al, 1993), кристаллизация лав салтымаковского комплекса происходила при содержании воды 0,1-0,3 мас. % и фугитивности кислорода, соответствующей буферному равновесию от QFM до QFM-0,5 логарифмических единиц fO_2 (QFM/3). Кристаллизация пород силлов сыркашевского комплекса происходила на малой глубине при давлении 0,5-1,0 кбар, содержании воды 0,1-0,3 мас. % и в более восстановительных условиях (QFM-2 логарифмические единицы fO_2 (QFM/100)). Более низкая фугитивность кислорода при кристаллизации сыркашевских силлов могла быть вызвана ассимиляцией расплавом углей.

Как следует из приведенного описания, породы сыркашевского и салтымаковского комплексов имеют общие петрохимические и геохимические признаки, близкий абсолютный возраст, а разница в составах их минералов может быть объяснена ассимиляцией вмещающих угленосных отложений магмой силлов сыркашевского комплекса, что привело к сильному уменьшению фугитивности кислорода при их кристаллизации в составе пород сыркашевского комплекса. Эти результаты доказывают первое защищаемое положение

2. Траппы Кузбасса по сравнению с пермотриасовыми магматическими комплексами Колывань-Томской складчатой зоны, Худосейского и Уренгойского рифтов Западно-Сибирской плиты и базальтами Норильского района Сибирской платформы содержат меньше MgO, но обогащены SiO₂, TiO₂, FeOtot, щелочами, P₂O₅ и имеют больший коэффициент железистости Кф. По составу они соответствуют андезибазальтам, а по коэффициенту железистости Кф относятся к железистым андезибазальтам (Кф – 71-75) и ферроандезибазальтам (Кф – 75-86).

Согласно А.В. Соболеву и др. (2009) траппы Кузбасса входят в состав Сибирской трапповой провинции, поэтому важно сравнить их химический состав с составом одновозрастных магматических пород основного состава некоторых других районов, входящих в эту провинцию.

Пермотриасовый магматизм западной части АССО представлен на площади Колывань-Томской складчатой зоны (КТСЗ) дайками и силлами новосибирского и томского ареалов. Дайки томского ареала представлены породами степановского, бойцовского, ларинского и ярского типов и их состав варьирует от кварцсодержащих монцогаббро до монцонитов и лампрофиров. Базитовые дайки новосибирского ареала представлены ташаринским (седовозаимским) пикрит-габбро-долеритовым комплексом, новосибирским монцодиорит-долеритовым комплексом и мочищенским долеритовым комплексом (Федосеев и др., 2005). Как видно из рисунка 8, траппы Кузбасса отличаются от большинства одновозрастных пород КТСЗ более высоким содержанием SiO_2 , FeO_{tot} , более низким содержанием MgO и, соответственно, более высокой железистостью ($K_f = 40-75$), чем у одновозрастных пород КТСЗ.

Пермотриасовые вулканыты Западно-Сибирской плиты представлены базальтами, составляющими более 80 % всех эффузивов, а также вулканытами шошонит-латитовой серии и кислыми эффузивами. Породы являются продуктами рифтогенного магматизма, вызванным влиянием суперплюма на площади Сибирского кратона (Медведев, 2003). На территории Западно-Сибирского бассейна основные трещинные излияния проявлены вдоль двух основных рифтов – Уренгойского и Худосейского, которые прослеживаются с севера на юг более чем на 1800 км.

На бинарных диаграммах относительно K_f видно, что пермотриасовые магматические породы Кузбасса имеют более высокую железистость ($K_f = 60-80$), чем большинство одновозрастных базальтов Западно-Сибирской плиты ($K_f = 40-60$). Кроме того, для них характерно пониженное содержание MgO , Al_2O_3 (13,5-16,5 и 15,6-18,4 мас. %) и CaO (6,6-8,9 и 6,4-11,4 мас. %), при повышенном содержании TiO_2 (1,5-2,6 и 0,7-1,5 мас. %), K_2O (0,9-2,6 и 0,4-1,8 мас. %), и P_2O_5 (0,4-1,0 и 0,1-0,6 мас. %, соответственно) (рис. 5).

В Норильском районе выделяется 11 свит, представленных (снизу вверх): 1. Высокотитанистыми ($\text{TiO}_2 > 2-3$ мас. %) субщелочными и пикритовыми базальтами (ивакинская, сыверминская и гудчихинская свиты) и 2. Низкотитанистыми ($\text{TiO}_2 \leq 1$ мас. %) толеитовыми базальтами (хаканчанская, туклонская, надеждинская, моронговская, мокулаевская, хараелахская, кумгинская и самоедская свиты) (Криволуцкая, 2012).

По петрохимическому составу на диаграммах « K_f – содержание окислов» в поле составов магматических пород Кузбасса попадают составы пород ивакинской и хараелахской свит Норильского района. Траппы Кузбасса отличаются от вулканытов остальных свит Норильского района повышенным содержанием SiO_2 , TiO_2 , FeO_{tot} , Na_2O , K_2O , P_2O_5 при

пониженном – MgO и CaO. В базальтах Норильского района Кф варьирует от 30-80, а в траппах Кузбасса Кф – 60-80 (рис. 5).

Таким образом, для траппов Кузбасса характерно меньшее содержание MgO и обогащенность SiO₂, TiO₂, FeOtot, щелочами и P₂O₅ по отношению к пермотриасовым магматическим комплексам КТСЗ, Худосейского и Уренгойского рифтов Западно-Сибирской плиты и базальтами Норильского района Сибирской платформы, что может объясняться плавлением разного мантийного источника, степенью плавления, а также дифференциацией расплава в глубинных магматических камерах.

3. Траппы Кузбасса характеризуются относительно низкой магнезиальностью при отсутствии признаков дифференциации расплавов. Они являются результатом частичного плавления мантийных коэситовых эклогитов или пересыщенных кремнеземом гранатовых клинопироксенитов. Согласно экспериментальным данным по плавлению коэситовых эклогитов и гранатовых клинопироксенитов при давлениях 3-5 ГПа, выплавки из таких пород имеют низкое содержание MgO и повышенное содержание SiO₂, что хорошо согласуется с выявленными петрохимическими особенностями кузбасских траппов.

Выше показано, что для траппов Кузбасса характерно низкое содержание MgO, составляющее от 1,2 до 5,9 мас. % в породах сыркашевского комплекса и от 2,1 до 5,3 мас. % в породах салтымаковского комплекса. Такая низкая магнезиальность обычно не наблюдается среди внутриплитных базальтоидных формаций, поэтому рассмотрим эту особенность траппов Кузбасса. Можно было бы предположить, что траппы Кузбасса возникли за счет глубинной дифференциации высокомагнезиального мантийного расплава, в результате которого содержание MgO снизилось до 2-5 мас. %. Однако, на графиках по мере увеличения коэффициента железистости пород Кф, который является показателем степени дифференциации, закономерного изменения содержаний петрогенных окислов не наблюдается (рис. 4, 5), что заставляет отвергнуть гипотезу о дифференциации исходного расплава для траппов Кузбасса.

Из многочисленных экспериментальных данных известно, что в результате частичного плавления в «сухих» условиях любых перидотитов, отвечающих по своему составу пиrolитовой модели верхней мантии А.Е. Рингвуда (1981) в широком диапазоне степеней плавления и давлений образуются расплавы с содержанием MgO не менее 9-13 мас. % (Kushiro, 2001). При наличии в системе воды, содержание MgO уменьшается всего

на 0,9 мас. % в продуктах частичного плавления перидотита образца KLB-1 по сравнению с плавлением в сухих условиях (Balta, 2010). Таким образом, пермотриасовые магматические породы Кузбасса, которые характеризуются низкой магнезиальностью при большом объеме излияний расплава и его однородном составе, не могут быть продуктом глубинной внутрикамерной дифференциации расплава, образованного из перидотитового источника.

Установлено, что в верхней мантии, кроме перидотитов, присутствуют эклогиты, в том числе коэситовые (Соболев Н.В. и др., 1976), а также разнообразные пироксениты (Кутолин, Агафонов, 1978). Эксперименты по частичному плавлению коэситового эклогита при давлениях 3-5 ГПа (Spandler et al, 2008) позволили установить, что при 60 % частичном плавлении расплав содержит (в мас. %) 53 % SiO₂, 5 % MgO, 10 % FeOtot, 8 % CaO, 15,5 % Al₂O₃, 3,5 % Na₂O, 0,5 % K₂O, что близко к химическому составу траппов Кузбасса. При меньших степенях плавления состав частичной выплавки приближается к составу дацита. В эксперименте использовался коэситовый эклогит (обр. GA1) с содержанием (в мас. %) 50,35 % SiO₂, 1,49 % TiO₂, 16,53 % Al₂O₃, 9,83 % FeOtot, 0,17 % MnO, 7,94 % MgO, 9,6 % CaO, 3,49 % Na₂O, 0,44 % K₂O, 0,16 % P₂O₅. Таким образом, эти эксперименты подтвердили теоретический вывод В.С. Соболева (1979) о том, что коэситовые эклогиты могут служить источником мантийных магм среднего и кислого состава. Эксперименты по частичному плавлению гранатового клинопироксенита, пересыщенного кремнеземом, провели Т. Когизо и др. (Kogiso et al, 2004) при давлениях 3-3,5 ГПа. Частичные выплавки из этой породы содержат (в мас. %) 2-8 % MgO, 50-57 % SiO₂, 14-16 % Al₂O₃, 6-9 % CaO, 3-4 % Na₂O, что хорошо совпадает с химическим составом траппов Кузбасса (рис. 7). Гранатовый клинопироксенит (обр. G2) содержит (в мас. %) 50,05 % SiO₂, 1,97 % TiO₂, 15,76 % Al₂O₃, 9,35 % FeOtot, 0,17 % MnO, 7,90 % MgO, 11,74 % CaO, 3,04 % Na₂O, 0,03 % K₂O (Pertermann, Hirschmann, 2003). Эта порода сложена гранатом, клинопироксеном, кианитом, кварцем и рутилом. С. Ламбарт с соавторами (Lambart et al, 2013) обобщила экспериментальные данные по частичному плавлению пироксенитов разного типа (обр. G2, GA1, GA2) при давлениях от 2 до 5 ГПа, причем некоторые авторы называют их коэситовыми эклогитами (обр. GA1) (Spandler et al, 2008). Как следует из этих данных, при 60 % степени плавления пересыщенных кремнеземом пироксенитов образуется расплав с содержанием 5 мас. % MgO (рис. 8). Эти содержания MgO характерны для химического состава траппов Кузбасса, и можно считать, что они образовались при этой степени частичного плавления мантийных пироксенитов. На основании изложенных данных можно предположить,

что исходные расплавы траппов Кузбасса образовались за счет частичного плавления коэситовых эклогитов или пересыщенных кремнеземом гранатовых пироксенитов, которые присутствовали в верхней мантии Кузбасса, причем степень плавления этих субстратов достигала 60 %. Как показал А.В. Соболев с соавторами (2009), пироксенитовый компонент имеется и в источнике магм Сибирской трапповой провинции, составляя не менее 40-50 % для некоторых свит. С.В. Рассказов с соавторами (2011) считают, что щелочные лавы провинции Хелунцзян в Северо-Восточном Китае образовались за счет частичного плавления флогопит-гранатовых клинопироксенитов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определены петрологические условия формирования траппов Кузбасса.

1. Впервые детально изучен состав минералов траппов Кузбасса. При этом выяснилось, что породы сыркашевского и салтымаковского комплексов обладают общими характерными особенностями состава минералов (близкий состав плагиоклаза и пироксена, повышенное содержание FeO и MnO в оливине). Согласно модельным расчетам с использованием программы COMAGMAT 3.72, отличия в составе минералов пород обоих комплексов могут быть объяснены более низкой фугитивностью кислорода при кристаллизации пород сыркашевского комплекса, а также ассимиляцией магмой в силлах сыркашевского комплекса аркозовых песчаников и углей из вмещающих угленосных отложений. Кроме того, в этих силлах происходила кристаллизационная дифференциация, в результате которой увеличилась железистость оливина и клинопироксена, возросло содержание альбитовой составляющей в плагиоклазе и появились калинатровый полевой шпат и кварц.

2. Детальное изучение химического состава траппов Кузбасса показало, что породы из зон закалки силлов сыркашевского комплекса аналогичны по составу андезибазальтам салтымаковского комплекса. Это обстоятельство, вместе с известными ранее данными о близком абсолютном возрасте траппов сыркашевского и салтымаковского комплексов (Буслов и др., 2010), свидетельствует о комагматичности пород этих комплексов.

3. Сравнение петрохимических особенностей траппов Кузбасса с пермтриасовыми магматическими комплексами Колывань-Томской складчатой зоны, Худосейского и Уренгойского рифтов Западно-Сибирской плиты и базальтами Норильского района Сибирской платформы показало, что они содержат значительно меньше MgO, но

обогащены SiO_2 , TiO_2 , FeO , щелочами и P_2O_5 , а также имеют более высокий коэффициент железистости.

4. Низкая магнезиальность ($\text{MgO} < 6$ мас. %) траппов Кузбасса при их однородном составе свидетельствует о том, что они являются продуктом кристаллизации расплава, образованного из коэситовых эколгитов или пересыщенных кремнеземом гранатовых пироксенитов, а не из мантийных перидотитов, частичные выплавки из которых содержат не менее 9-13 мас. % MgO .

Список основных опубликованных работ автора по теме диссертации

Статья в журнале из списка ВАК:

1. **Наставко А.В.**, Бородин Е.В., Изох А.Э. Петролого-минералогические особенности вулканитов центральной части Кузбасса (Южная Сибирь)// Геология и геофизика, 2012. т. 53. № 4. С. 435-449.

Тезисы совещаний и конференций

1. **Наставко А.В.**, Бородин Е.В., Шелепаев Р.А., Изох А.Э. Петролого-минералогические особенности субвулканических пород южной части Кузбасса (Южная Сибирь)// V Всероссийский симпозиум по вулканологии и палеовулканологии «Вулканизм и геодинамика». Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2011. С. 141-143.

2. **Наставко А.В.**, Бородин Е.В., Изох А.Э. Петрологические особенности траппов центральной части Кузбасса// XI Всероссийское петрографическое совещание «Магматизм и метаморфизм в истории Земли». Екатеринбург, 2010. т.2 С. 89-90.

3. **Наставко А.В.**, Бородин Е.В. Геологическое строение и минералого-петрографические особенности базальтов хребта Каракан (Кузбасс)// Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Материалы третьей международной конференции. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2009. Т.2 С. 67-69.

4. **Наставко А.В.**, Новоселов К.Л. Акцессорные минералы базальтоидов Караканского хребта и их петрологическое значение// Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст./Перм. ун-т. - Пермь, 2008. С. 30-36.

5. **Наставко А.В.** Петрогенезис и металлоносность базальтов хребта Каракан (Кузбасс)// Проблемы геологии и освоения недр: Сборник научных трудов XI международного симпозиума имени академика М.А.Усова студентов и молодых ученых. Томск: ТПУ, 2007. С. 81-83.

6. **Наставко А.В.**, Новоселов К.Л. Старицина И.А. Минералогическо-геохимические особенности агатовых миндалинов базальтов Караканского хребта (юг Кузбасса)// Сборник трудов второй научной конференции «Геммология». – Томск: ТГУ, 2006. С. 79-83.

7. **Наставко А.В.**, Новоселов К.Л. Минералы агатовых миндалинов базальтов Караканского хребта (Кузбасс)// Сборник трудов V Международного симпозиума «Минералогические музеи». - С-Петербург: Кафедра минералогии СПбГУ, 2005. С. 154-155.

8. **Наставко А.В.** Механизм формирования и минералы агатовых миндалинов базальтов Караканского хребта (юг Кузбасса)// Проблемы геологии и освоения недр. Томск: ТПУ, 2005. С. 107-109.

9. **Наставко А.В.**, Новоселов К.Л. Агаты миндалекаменных базальтов хребта Каракан и их происхождение (Кузбасс)// Проблемы Геологии и освоения недр. – Томск: ТПУ, 2004. – С. 127-130.

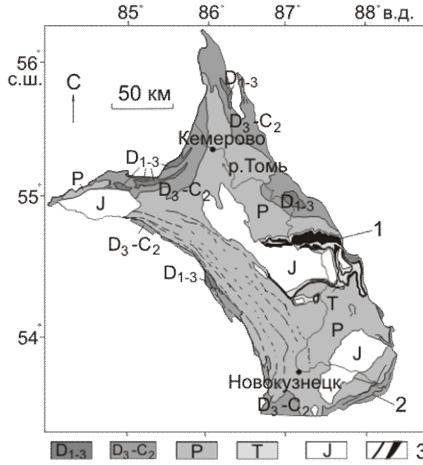


Рис. 1. Геологическая схема Кузнецкого бассейна (Бабин и др., 2005ф). 1 – салтымаковский комплекс, 2 – сыркашевский комплекс, 3 – магматические тела.

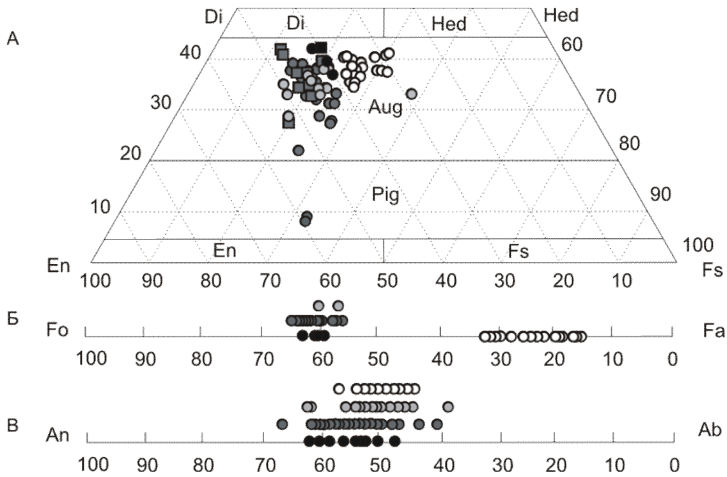


Рис. 2. Классификационные диаграммы: А - пироксенов (En-Fs-Di-Hed) (Morimoto et al., 1988), Б - оливина (Fo-Fa), В - плагиоклаза (Ab-An) (Yoder et al., 1957) из пород салтымаковского и сыркашевского комплексов. Обозначения: ■● - базальты Т₁, ■● - андезибазальты Т₁, ○ - андезибазальты Т₂, ○ - породы сыркашевского комплекса, ■■ - фенокристаллы, ○●● - микролиты.

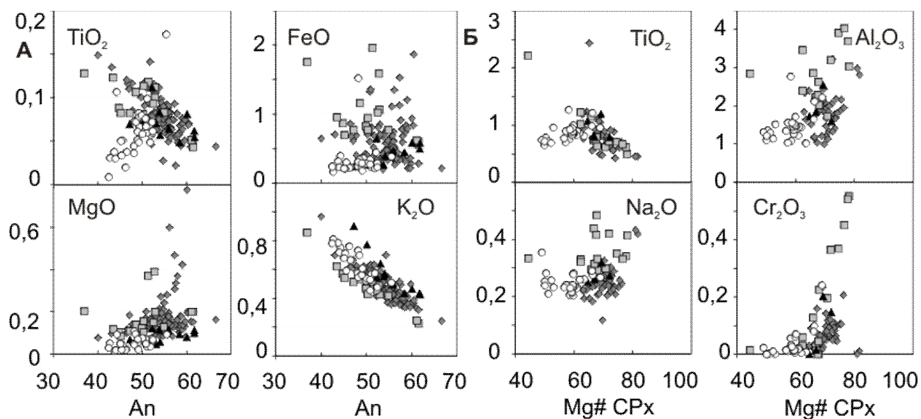


Рис. 3. А – содержание примесей в плагиоклазах базальтов (▲), андезибазальтов Т₁ (◆) и Т₂ (■) салтымаковского комплекса и породах сыркашевского комплекса (○). Б – содержание примесей в клинопироксенах базальтов (▲), андезибазальтов Т₁ (◆) и Т₂ (■) салтымаковского комплекса и породах сыркашевского комплекса (○).

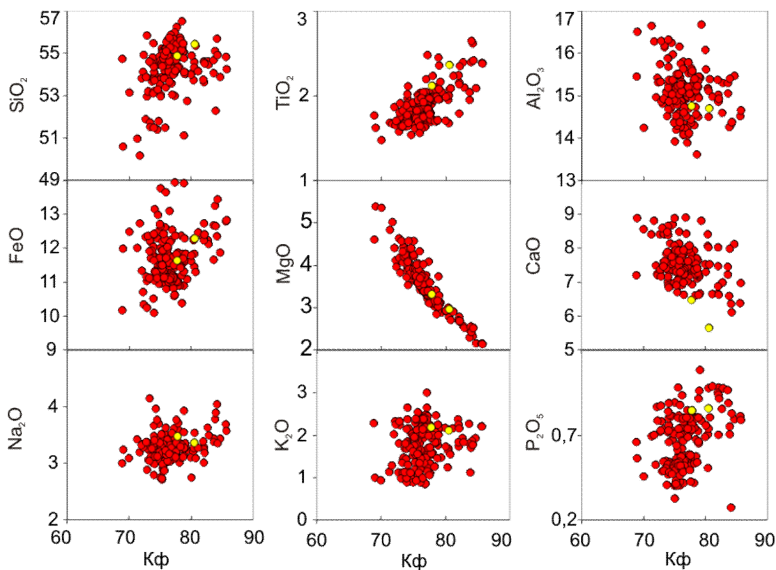


Рис. 4. Бинарные диаграммы «содержание окислов - коэффициент железистости (Кф)» для пород салтымаковского (●) и из зон закалки силлов сыркашевского (●) комплексов.

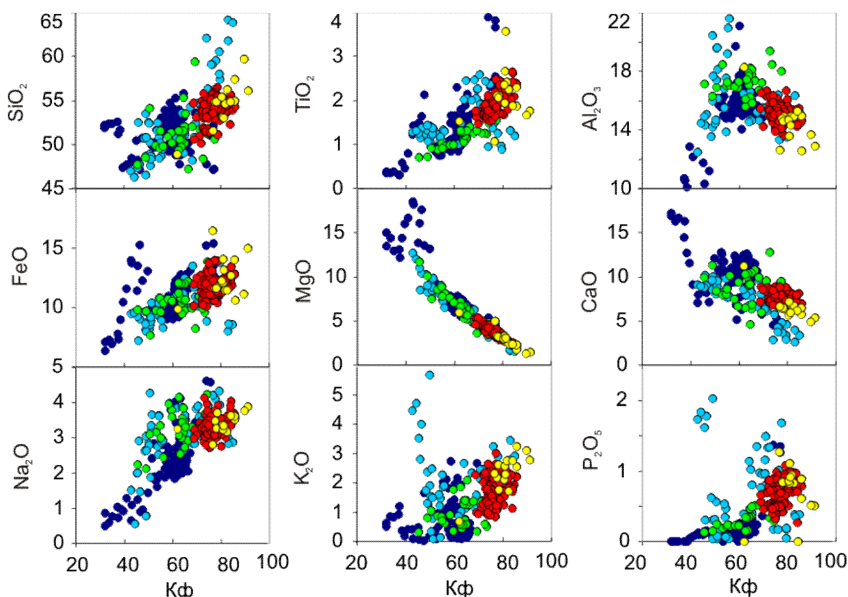


Рис. 5. Бинарные диаграммы «содержание окислов - коэффициент железистости (Кф)» для пород салтымаковского (●) и сыркашевского (●) комплексов в сравнении с одновозрастными породами Кольвань-Томской складчатой области (●), Худосейского и Уренгойского рифтов Западно-Сибирской плиты (●) и вулканитами норильского района (●). Анализы образцов приведены по данным из работ Геодинамика..., 1999; Медведев, 2004; Reichow et al., 2005; Ryabov et al, 1985; Lightfoot et al, 1990; Wooden et al, 1993; Brugmann et al, 1993; Hawkesworth et al, 1995.

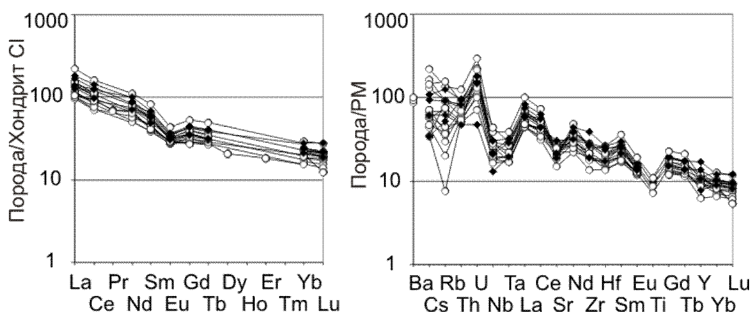


Рис. 6. Диаграммы распределения редкоземельных элементов для пород салтымаковского (○) и сыркашевского (◆) комплексов, нормированных по хондриту CI (Boynnton, 1984) и примитивной мантии (Sun, McDonough, 1989). Анализы приведены по литературным данным из работ Крука и др., 1999, Федосеева и др., 2005, Буслова и др., 2010.

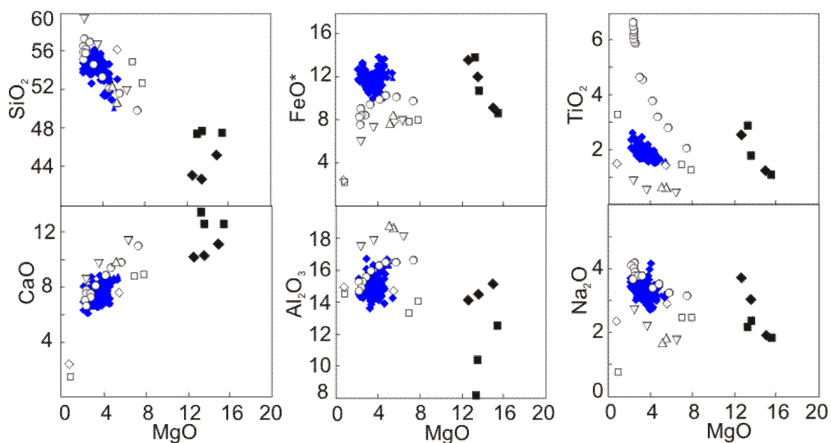


Рис. 7. Вариации составов пород сыркашевского и салтымаковского комплексов (◆) в сравнении с расплавами, полученными в результате экспериментов частичного плавления гранатовых клинопироксенитов G2 (○), SSS1.4 (▽), JB1 (□) и перидотитов MIX1G (◆) при давлениях 2,5-5 ГПа (Kogiso et al., 2004).

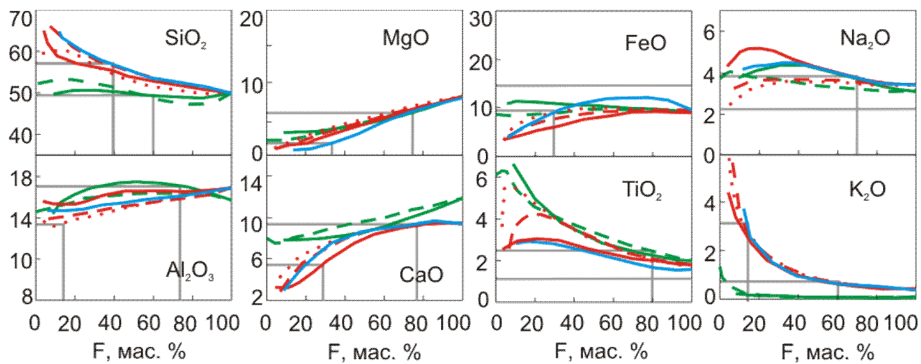


Рис. 8. Вариации составов пород салтымаковского и закалочных зон силлов сыркашевского комплексов (—) в сравнении с расплавами, полученными в результате экспериментов частичного плавления гранатовых клинопироксенитов G2 (—), GA1 (—), GA2 (—) при давлении 2-5 ГПа (Lambart et al, 2013). F - степень частичного плавления.