4841962

На правах рукописи

Е. Львова

Львова Елена Викторовна

Сравнительный палеотектонический анализ происхождения трапповых провинций Тунгусской синеклизы и бассейна Парана-Этендека

Специальность 25.00.03 – геотектоника и геодинамика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2011

7 АПР 2011

Работа выполнена на кафедре динамической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук, академик РАН
Хаин Виктор Ефимович

Официальные оппоненты:
доктор геолого-минералогических наук
Мирлин Евгений Гилельевич
доктор геолого-минералогических наук
Сущевская Надежда Михайловна

Ведущая организация:

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)

Защита состоится **25 февраля 2011 г. в 14 час. 30 мин.** на заседании диссертационного совета Д 501.001.39 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП - 1, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет, ауд. **415.**

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке геологического факультета МГУ (Главное здание, корпус А, 6-й этаж).

Автореферат разослан 24 января 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор геолого-
минералогических наук,
профессор А.Г. Рябухин

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Континентальные траппы представляют собой одно из наиболее грандиозных и значительных проявлений внутриплитной тектоники и магматизма. Внутриплитные явления давно привлекали к себе внимание исследователей. И не только потому, что с этими явлениями связаны особые минерагенические обстановки и специфическое оруднение. Все возрастающий интерес вызывают глубинные геодинамические процессы, ответственные за проявление внутриплитной тектоники и магматизма. Тем более это важно в последнее время, когда стали предприниматься попытки создания единой геодинамической модели эволюции Земли и интерпретации всего спектра наблюдаемых геологических явлений с единых теоретических позиций.

В этой связи сравнение механизмов и условий образования двух крупнейших трапповых провинций мира – Тунгусской синеклизы и бассейна Парана - Этендека представляются исключительно актуальными, поскольку анализ причин сходств и различий проливает свет на динамику глубинных процессов взаимодействия мантии и литосферы.

Изучению континентальных трапповых провинций посвящена обширная литература. Эти исследования проводились в разных аспектах. Предпринимались и работы по сравнительной характеристике различных трапповых провинций, хотя такие исследования единичны. Сравнительный анализ Тунгусской и Парана-Этендекской провинции предпринимается впервые.

Цель работы. На основании изучения причин сходств, различий и характерных особенностей условий образования трапповых провинций Тунгусской синеклизы и бассейна Парана-Этендека представить вероятный глубинный механизм их формирования. Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1) изучить вещественный состав, время формирования, строение трапповых провинций обоих бассейнов; 2) изучить пространственные и временные соотношения трапповых провинций: а) с областями развития щелочно-ультраосновного магматизма и кольцевых интрузивных комплексов; б) с областями развития континентального рифтогенеза; в) с раскрытием молодого океанического бассейна; г) с активизацией глубинных разломов и, в том числе, со сдвиговыми деформациями; 3) проследить характер эволюции обеих синеклиз на этапе, предшествующем трапповому магматизму: а) на этапе формирования консолидированной коры; б) на этапе формирования осадочного комплекса выполнения; 4) проанализировать существующие модели образования трапповых провинций на основании регионального материала сравниваемых бассейнов.

Научная новизна

1) Впервые предпринята попытка сравнительной характеристики Тунгусской и Парана-Этендекской трапповых провинций.

2) Происхождение трапповых провинций рассматривается в связи с другими территориально сопряженными формациями квазисинхронного формирования.

3) Анализ происхождения трапповых провинций дается в эволюционном аспекте; в свете представлений об унаследованности геологического развития; с учетом изменения картины кинематики литосферных плит.

4) Предложен возможный механизм формирования трапповых провинций и подводных вулканических хребтов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из «Введения», пяти глав и «Заключения». Объем работы составляет 112 страниц, 30 рисунков и список литературы, включающей 80 наименований.

Апробация. Основные результаты работы опубликованы автором в двух статьях в журналах, рекомендуемых ВАК, доложены на научных конференциях «Ломоносовские чтения» 2007 г. и 2010 г., а также на Международной конференции «Современное состояние наук о Земле», посвященной памяти В.Е. Хаина, 2011 г.

Защищаемые положения.

I. Установлены общие черты:

1) Колоссальные трещинные излияния континентальных базальтоидов, приуроченны к синеклизам архейско-протерозойского кристаллического фундамента; 2) Главный импульс наземного вулканизма предшествует инициальным стадиям спрединга сопредельного океанского бассейна; 3) Начало раскрытия океанского бассейна знаменует собой полное и быстрое угасание траппового магматизма; 4) Наличие латерально сопряженных структур квазисинхронного формирования; 5) В момент своего формирования траппы находились примерно на уровне океана или были незначительно приподняты. После прекращения излияний последовал интенсивный и дифференцированный подъем.

II. Установлены черты различия:

1) в эволюции обеих синеклиз на этапе, предшествовавшем трапповому магматизму; 2) в ходе процесса становления трапповой формации; 3) в геохимических особенностях траппового магматизма, в специфике геохимической стратиграфии.

III. На основании сравнительного анализа двух групп гипотез происхождения трапповых провинций автором предложен новый механизм формирования трапповой провинции Парана-Этендека и подводных вулканических хребтов.

Благодарности. Я хочу выразить горячую благодарность моему научному руководителю академику РАН **Хаину Виктору Ефимовичу** за глубокое понимание моих научных устремлений и энергичную поддержку этой работы. Настоящая работа в немалой степени обязана своим появлением на свет мудрому участию **Бакшеевой Наталии Владимировны** в самые ответственные моменты. Всё время работы над темой диссертации я испытываю большую благодарность заведующему сектором геодинамики Музея землеведения МГУ доктору геолого-минералогических наук **Дубинину Евгению Павловичу** за неоднократные интереснейшие обсуждения моей работы, постоянное внимание, но что особенно важно – за большую организационную поддержку, благодаря которой мне удалось сочетать подготовку диссертации с текущей научной и лекционной работой. Считаю своим приятным долгом выразить признательность руководству кафедры динамической геологии Геологического факультета МГУ за постоянное внимание и поддержку. Большую помощь в оформлении работы мне оказалаи сотрудники Музея Землеведения МГУ **Семенова Лариса Дмитриевна** и **Борзяк Владимир Васильевич**, за что я им искренне признательна.

ГЛАВА I. ТРАППОВЫЕ ПРОВИНЦИИ КОНТИНЕНТОВ КАК ОДНО ИЗ НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ВНУТРИПЛИТНОГО МАГМАТИЗМА

В этой главе рассмотрены проблемы происхождения внутриплитного магматизма и их важность для современной геотектоники

С первых работ Дж. Тузо Вилсона (1968 г.) и У.Моргана (1971 г.) начинается поиск особых глубинных механизмов, ответственных за внутриплитную тектонику и магматизм. В качестве такого механизма была предложена гипотеза «горячих точек – мантийных струй», впоследствии преобразовавшаяся в гипотезу мантийных плюмов.

В главе I подробно рассмотрены основные представления плюмтектоники, ее соотношение с тектоникой литосферных плит. Рассматривется, как менялись взгляды на природу плюмового магматизма за последние десятилетия по следующим критериям: 1) размер и форма области проявления магматизма не земной поверхности, размер и форма самого плюма; 2) геохимические особенности вулканитов, генерируемых плюмами; 3) представление о стационарных координатах плюма; 4) соответствие областей внедрения плюмов стуктурному плану литосферы; 5) соответствие времени появления плюмов циклам эволюции литосферы.

В последнее время гипотеза мантийных плюмов стала весьма популярной для интерпретации внутриплитного магматизма, в частности – траппового магматизма [Campbell, 2006; Ernst, 2002]. Однако, наряду с этим многими авторами разрабатываются альтернативные взгляды на происхождение траппового магматизма [Anderson, 1994; 2005;

Smith, 1999]. В этой главе также подробно анализируются альтернативные гипотезы внутриплитного магматизма.

Рассматривается также пространственно-временная и причинно-следственная связь траппового магматизма с раскрытием океанских бассейнов для фанерозоя.

ГЛАВА II. ТРАППЫ ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Область развития траппов в пределах Тунгусской синеклизы весьма обширна и почти совпадает со структурными границами самого седиментационного бассейна.

Формирование кристаллического фундамента Сибирского кратона

Начало формирования континентальной коры Сибирского кратона относится к AR и выделяется несколько возрастных генераций раннеархейской коры, датируемых 3,5; 3,3; 3,0; 2,6 млрд. лет назад. Заключительный этап становления континентальной коры кратона относится к концу раннего PR. В качестве самостоятельного и целостного массива континентальной коры Сибирский кратон сформировался в результате закрытия раннепротерозойских орогенических поясов в интервале времени 1,9 – 1,8 млрд. лет назад. Начинается господство платформенного режима и формирование осадочного чехла [Розен, 2003].

Формирование осадочного комплекса выполнения Тунгусской синеклизы.

Рифейские отложения повсеместно залегают на кристаллическом фундаменте с образованием крупной региональной поверхности несогласия, что отражает смену стиля тектонического развития. Интересно отметить колоссальный барьерный риф, высотой до 550 м, возникший на рубеже раннего и среднего кембрия в условиях господства мелкого открытого моря в приэкваториальных широтах. Максимальные значения мощности карбонатных осадков этого времени 2200 м. Ранний ордовик – знаменательное время в истории эволюции исследуемого региона: происходит обособление Тунгусской синеклизы как самостоятельной геологической структуры. В карбоне окончательно взяли верх тенденции смены погружений поднятиями, морские условия седиментогенеза уступили место континентальным. В это время почти на всей площади Тунгусской синеклизы происходит накопление угленосной формации.

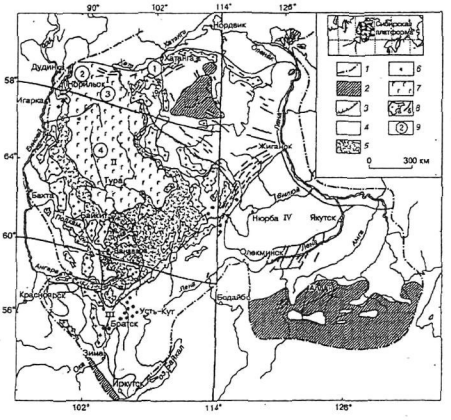
Формирование трапповой провинции Тунгусской синеклизы.

Грандиозные по масштабу и разнообразию проявления магматические события развернулись на рубеже перми и триаса в пределах обширных площадей Тунгусской синеклизы (рис. 1). Общая площадь, занимаемая трапповой провинцией – 1,5 млн. км^2, это соответствует площади наибольшей по распространению интрузивной фации. Широко представлены все фации траппов: интрузивная, эффузивная и эксплозивная. Площадь

эффузивов – около 350 тыс. км^2, площадь туфов – 675 тыс. км^2. Соотношения объемов различных фаций траппового магматизма таковы: 45% приходится на интрузивы; 38% занимают базальты и 17% - туфы. Обращает на себя внимание распределение в пространстве различных магматических фаций. Так эффузивы распространены в основном в северо-западной части Тунгусской синеклизы и здесь отмечается максимальная мощность трапповой формации – 3.500 м. Уменьшение мощности базальтовых потоков происходит в южном и юго-восточном направлениях так, что на широте р. Нижняя Тунгуска эффузивы выклиниваются, фациально замещаясь туфогенными породами. Общий объем магматических пород, сформировавшихся на рубеже перми и триаса – 9,1x10^5 км^3, а их масса – 2,5x10^{15} тонн. Для бассейна Нижней Тунгуски получены данные 251,8±1,5 млн. лет, для траппов Таймыра – 250,1±1,3 млн. лет [Соболев, 2009].

В пределах Тунгусской синеклизы по характеру, петрохимическим особенностям, интенсивности проявления и соотношению интрузивной, эффузивной и эксплозивной фаций, по типам разрезов лавовой толщи можно выделить три крупнейших региона: северо-запад, центральная часть и северо-восток [Альмухамедов, 1991; Васильев, 2000].

Пространственное распределение различных фаций траппов Тунгусской синеклизы.



Секторы: I – Северный, II – Западный, III – Южный, IV – Восточный. 1 – граница Сибирской платформы; 2 – выходы пород кристаллического фундамента; 3 – граница Тунгусской синеклизы; 4 – мезозойские прогибы и впадины; 5 – область траппов; 6 - трубки взрыва базальтовых пород; 7 – область развития лавовых излияний траппов; 8 – преимущественно силы (а) и отдельные дайки (б) недиференцированных траппов; 9 – места расположения разрезов вулканических толщ

Эффузивная фация достигает наибольшего развития в северно-западной части синеклизы. Если северо-западная часть Тунгусской синеклизы характеризуется господством базальтовых потоков от субщелочных до низко-калиевых толеитов, близких к

океанским, то в центральной части роль эффузивов сокращается, зато господствуют пирокластические свиты до 1 км мощности и громадные по протяженности силлы. Северо-восточная часть пространственно коррелирует с Маймеча-Котуйской провинцией щелочно-ультраосновного магматизма и ийолит-карбонатитового плутонизма.

Динамика вещественной эволюции пермь-триасового вулканизма обладает определенной геохимической цикличностью [Золотухин, 1991]. Начальные этапы каждого цикла характеризуются более высоким содержанием кремнекислоты и большей щелочностью пород. Завершают циклы наименее щелочные, никзкокалиевые базальты. Уменьшается к концу цикла и контрастность химизма вулканитов. Таким образом, наиболее истощенные базальты приурочены к заключительным фазам циклов и отвечают низкокалиевым толеитам, приближаясь к толеитам срединно-океанических хребтов. Отмеченная геохимическая цикличность носит затухающий характер, и в каждом последующем цикле продуцируются все более истощенные базальты.

Эксплозивная фация. Общий объем извергнутых пород составляет для всей территории синеклизы $2{,}36 \times 10^5$ км^3. Прослои туфов характерны для первых стадий вулканических (тектоно-магматических) фаз. В разрезах туфы и пирокластический материал также переслаивают мощные толщи застывших лавовых потоков. В региональном аспекте туфы шире развиты на юге центральной и в северо-восточной части синеклизы. Общая мощность собственно туфогенных толщ достигает местами 1000 м.

Интрузивная фация. Отличительной чертой Тунгуской траппповой провинции является исключительно широкое развитие интрузивного магматизма. Интрузивные базальтоиды представлены в основном в виде силлов, локализующихся в осадочном чехле.

Эволюция океанских бассейнов, сопредельных с Сибирской платформой, и формирование траппов Тунгусской синеклизы

В раннем палеозое Восточно-Европейская и Сибирская платформы были изолированы друг от друга и находились в низких широтах Южного полушария. Взаимные перемещения континентальных масс и их общее движение к северу были возможны благодаря развитию разделявших их океанских бассейнов. Одновременно с продолжающимся закрытием Палеоазиатского океана в непосредственной близости от него начался рифтогенез и спрединг Уральского океана. В пределах Западно-Сибирской плиты распространены офиолиты среднепалеозойского возраста – реликты Палеоуральского океана [Шеин, 2006].

На всей территории, разобщавшей Восточно-Европейский и Сибирский кратоны, в среднем палеозое наблюдалось чрезвычайно сложное сплетение геодинамических

обстановок. Основное геодинамическое содержание охватившего большую часть Западной Сибири герцинского тектогенеза – это сближение и коллизия континентов, террейнов и островных дуг, образование покровно-складчатых структур и надвигов. Так формировался фундамент Западно-Сибирской плиты – крупнейшего пояса сжатия литосферы, которому вскоре суждено было стать ареной развития нового процесса, зарождение нового океана.

Наиболее значительным событием, определившим многие черты дальнейшей эволюции и Западной Сибири, и сопредельных трапповых провинций, явилось становление и развитие Палеообского океана [Аплонов, 1987]. Активная эволюция Палеообского океана заняла около 17 млн. лет. Раскол континентальной литосферы Западной Сибири произошел первоначально на севере, близ точки тройного сочленения. Событие это датируется 240-235 млн. лет назад. Т.о. океан прорастал с севера на юг из Карского моря вглубь Западной Сибири. Скорость спрединга составляла лишь 1,63 см/год, в результате чего ширина океанского бассейна стала примерно 300 км. Около 230 млн. лет назад интенсивный рост океана начал замедляться и полностью прекратился 220 млн. лет назад. Пассивная стадия эволюции Палеообского океана явилась главной причиной формирования гигантского мезозой-кайнозойского седиментационного бассейна севера Западной Сибири.

ГЛАВА III. ТРАППЫ БССЕЙНА ПАРАНА-ЭТЕНДЕКА

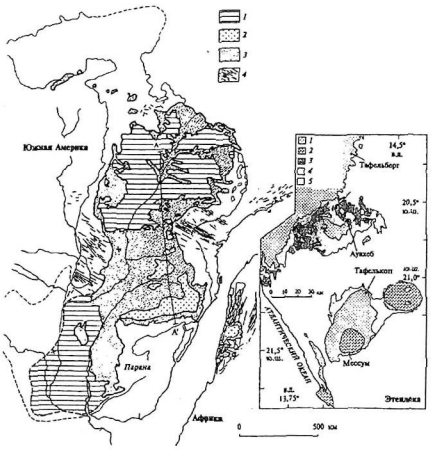
Геологическое строение и история развития синеклизы Параны

Во времена формирования трапповой формации Парана-Этендека Западная Гондвана представляла собой монолитный континентальный массив, а область развития траппов представляла сплошной ареал (рис. 2).

Ось спрединга Южной Атлантики начала формироваться внутри траппового поля еще на стадии континентального рифтинга и в дальнейшем рассекла трапповую провинцию так, что основная площадь развития траппов осталась в Южной Бразилии и составляет 1.200 000 км^2, в то время как в Африке остался небольшой осколок этой провинции, так называемая провинция Этендека, расположенная близ границы Анголы и Намибии и имеющая площадь всего лишь 80.000 км^2, т.е. – 1/15 часть от бассейна Параны.

От ныне разобщенных Атлантикой континентальных магматических провинций отходят подводные хребты, пересекающие Атлантику и сходящиеся на Срединно-Атлантическом хребте в точке действующего вулкана островов Тристан-да-Кунья. Со стороны Южно-Американской плиты – это поднятие Риу-Гранди, в пределах Африканской – Китовый хребет. Траппы синеклизы Параны, представляют формацию Серра-Жерал, сформировавшуюся как и Этендека в течение раннего мела. Максимальная мощность формации Серра-Жерал – 1723 м. Общий объем базальтоидов Параны – 790.000 км^3.

Вулканические свиты Этендеки имеют мощность до 1000 м и залегают либо на континентальных песчаниках формации Этжо, либо перекрывают кристаллический фундамент Пан-Африканского цикла.



Траппы бассейна Парана-Этендека

1 – песчаники, перекрывающие лавы; 2 – риолиты; 3 – эффузивная фация траппов; 4 – дайки. На врезке – провинция Этендека: 1 – эффузивы; 2 – интрузивные комплексы; 3 – Хьюэбский долеритовый силл; 4 – осадочные породы формации Кару; 5 – докембрийский фундамент

В геологическом развитии синеклизы Параны с точки зрения преобладания главнейший эволюционных тенденций можно выделить три крупнейших этапа: 1) формирование кристаллического фундамента – чаши синеклизы, происходившее в течение докембрия; 2) формирование осадочного комплекса выполнения, занявшее весь палеозой и первую половину мезозоя; 3) образование трапповой формации и другие тектоно-магматические события, связанные с расколом Гондваны и раскрытием Южной Атлантики (ранний мел – ныне).

Формирование кристаллического фундамента – чаши синеклизы

Формирование первичных ядер консолидации кристаллического фундамента Бразильской платформы относится к началу архея. В пределах массива Гояс, эократонов *Сан-Франсиску и Гуапоре получены датировки от 3,2 до 3,4 млрд. лет. В раннем* протерозое – позднем рифее в результате двух тектонических циклов: Трансамазонского, начавшегося в раннем протерозое и завершившегося 1,9-1,8 млрд. лет назад, и Урусуанского (от 1,7 до 1,0 млрд. лет), сформировался структурный план докембрия. Территория, где ныне располагается синеклиза Параны, по-видимому, тогда уже представляла собой кратон. В первую деструктивную фазу Бразильского тектонического цикла заложился Протоюжноатлантический пояс Рибейра. Его продолжением в юго-западной Африке являются Дамариды, а в Антарктиде – горы Пенсакола. Пояс Рибейра,

представляющий для нас наибольший интерес, формировался в результате рифтинга с полным разрывом сплошности континентальной коры и заложением Протоюжноатлантического океана.

В венде завершается Бразильский цикл тектогенеза. Начинается сближение разобщенных блоков, сжатие, закрытие океанических бассейнов, образование интенсивных складчатых деформаций, мощный гранитоидный плутонизм. Начинается обособление обширной депрессии – синеклизы Параны.

События докембрийской истории представляются исключительно важными не только потому, что в это время сформировался кристаллический фундамент самого Бразильского кратона и чаши синеклизы, но и в особенности потому, что многие события докембрия предопределили характер дальнейшей эволюции, ибо на примере синеклизы Параны и сопредельных структур исключительно четко прослеживаются тенденции унаследовательности геологического развития.

Формирование осадочного комплекса выполнения синеклизы

Первая поверхность несогласия – это граница между докембрием и палеозоем. Располагающаяся на ней толща включает: 1) кембрийские аркозовые песчаники и известняки и 2) кембро-ордовикские молассовые комплексы. Опускания в бассейне Параны начались в силуре, о чем свидетельствует появление на ордовикской эрозионной поверхности мощных покровов крупнозернистых песчаников, залегающих с межрегиональным угловым несогласием [Petri, 1983]. На поздний девон и ранний карбон падает перерыв в осадконакоплении. Формация Боту-Кату сложена красноцветными косослоистыми окремненными песчаниками с прослоями конгломератов и аргиллитов вверху толщи суммарной мощностью от 100 до 400 м. Относительно времени формирования песчаников Боту-Кату и их соотношения с подстилающими породами (как возрастного, так и пространственного) в литературе развернулась большая дискуссия. Вероятно, песчаники Боту-Кату формировались с позднего триаса до раннего мела. После завершения их формирования и до первых значительных импульсов трапповых излияний (133 млн. лет назад) происходило образование крупной поверхности несогласия, ознаменовавшей резкую смену стиля тектонического развития. Интенсивные и дифференцированные поднятия вызвали эрозионное расчленение поверхности Боту-Кату, переотложение осадков. Суммарная мощность осадков до подошвы трапповой формации составляет от 3.200 до 3.800 м.

Панорама дальнейших тектонических, магматических, геоморфологических событий обнаруживает четкую зависимость от стадии развития дивергентной границы плиты в результате раскола Гондванского суперконтинента.

Общие характеристики трапповой формации

Парана-Этендекская магматическая провинция обладает достаточно сложным строением. Здесь представлены все три вида фаций магматических пород: эффузивная, интрузивная, эксплозивная [Peate, 1990].

Эффузивная фация. Эффузивные породы Парана-Этендекской провинции составляют её основной объём и занимают основную площадь. Они подразделяются на базальты (с содержанием SiO_2 < 60 wt %) и риолиты (с содержанием SiO_2 > 64 wt %), что позволяет констатировать бимодальный характер вулканизма. В отличие от других трапповых провинций (Карру, Декан, Гренландия и Тунгусский бассейн) в Парана-Этендекской провинции господствует беспикритовые типы магм: все лавы содержат < 10 wt % MgO, в основном 4-5 wt % MgO.

В пространственном распределении можно четко выделить ареалы развития кислого, риолитового магматизма и собственно толеит-базальтового, хотя в ряде случаев, благодаря дифференциации исходных расплавов, изменение состава происходит по вертикали, т.е. в процессе самого извержения. Риолиты сосредоточены в основном в юго-восточной части синеклизы, подступая почти к структурному уступу Серра-Жерал, к берегам Атлантики и продолжаясь в Этендеке [Hawkesworth, 2000].

Базальтовые типы магм

Паранский магматизм – это на 90% базальтоиды. Представлены все типы базальтов: нормальные толеиты, оливиновые, щелочные толеиты – продукты кристаллизационной дифференциации оливин-толеитовой магмы [Peate, 1992].

В пределах синеклизы Параны выделяются шесть крупнейших лавовых свит по трем критериям одновременно: 1) пространственная локализация; 2) время формирования; 3) геохимические характеристики. Предполагается, что магматический центр, питавший трапповые излияния, переместился примерно на 750 км к северу в ходе развития траппового процесса. Паранские базальты были характеризованы по содержанию TiO_2, SiO_2, P_2O_5, Fe_2O_3, Sr, Ba, Zr, а также отношением Ti/Zr, Ti/Y, Zr/Y, Sr/Y, Ba/Y. С учетом вышеназванных определений можно констатировать наличие двух типов лав: *низкотитанистые свиты* – Грамадо, Эсмеральда, Рибейра и *высокотитанистые свиты* – Питанга, Паранапанема, Урубики. Ключевой чертой распределения рассеянных элементов является истощение Nd и Ta относительно La. Это не характерно для океанских базальтов (OYB or MORB) и совместно с их обогащенностью Sr и Nd изотопами значения *положительных* E_{Sr} *и отрицательных* E_{Nd} *позволяет сделать предположение о значительном* вовлечении континентальной литосферной мантии в процессе образования родоначальных магм.

В пределах Этендеки аналогичная картина в стратиграфических соотношениях в Тафельберге и Тафелькопе. По плагиоклазам из внутренних частей единого базальтового потока близ Тафельберга получены датировки 132,3 ± 0,7 млн. лет, а для лав Анголы – 132,0 ± 0,4 млн. лет [Renne, 1996].

Риолитовые типы магм

Выходы риолитов симметричны относительно Протоатлантического рифта. Риолиты Пальмас – это преимущественно кислые вулканиты; они широко распространены на поверхности в юго-восточной Бразилии. Риолиты свиты Чапеко ограничены восточным краем лавового поля. Преобладающие кислые породы в пределах Этендекской провинции – это кварцевые латиты Тафельберга и Спрингбока, которые являются эквивалентами риолитов Пальмас Параны. Они имеют подобные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0,718-0,727) и $^{143}Nd/^{144}Nd$ (0,51204-0,51209) с таковыми для Пальмас. Для пяти вулканических свит Намибии и Анголы по плагиоклазам, роговой обманке и биотитам был проведен детальный аргоновый анализ возрастов и получены значения от 131,7±0,7 до 132,3±0,7 млн. лет. Предрифтовая реконструкция Западной Гондваны, геохимическая корреляция Этендекских кварцевых латитов с риолитами Южной Параны определяет, что лавы Анголы петрологически сопоставимы с лавами Северной Параны. Миграция магматизма к северу фиксируется как на Американской, так и на Африканской части трапповой провинции.

В развитии траппового процесса синеклизы Параны отчетливо выделяются две стадии, имеющие к тому же различное пространственное выражение и различные геохимические черты. Это ранняя стадия, в течение которой формировались южные низкотитанистые типы магм – Грамадо, Эсмеральда, Урубики. И поздняя стадия, в течение которой арена главных магматических событий развернулась на 750 км к северу. Здесь формировались высокотитанистые свиты – Питанга, Паранапанема, Рибейра (Ti/Y > 300).

Интрузивная фация. Интрузивные траппы представлены в основном роями даек, располагающихся в 4-х ареалах по периферии лавового поля. Из них дайки свода Понта-Гросса, вероятно, отвечают третьей, неосуществившейся ветви рифта, заложившегося в точке тройного сочленения.

Дайки свода Понта-Гросса являют собой одну из выдающихся тектоно-магматических черт Парана-Этендекской трапповой провинции. Анализ возрастов, вещественных составов и условий образования даек Понта-Гросса проливает свет на палеотектонические особенности формирования траппов [Renne, 1996].

Петрологические, геохимические и Sr-Nd изотопные данные указывают, что дайки Понта-Гросса близки к магмам Северной Параны и могли служить подводными каналами

излияний лав в этой части бассейна. Палеомагнитный полюс, установленный для даек Понта-Гросса существенно отличается (на 8°!) от полюса, вычисленного для Южной Параны. Это указывает на то, что – во-первых, дайки моложе траппов Южной Параны и, во-вторых, за время, прошедшее между излияниями лав Южной Параны (133 ±0,1 млн. лет) и внедрением даек (от 131,4 ±0,5 до 129,2±0,5 млн. лет, с максимумом около 130,0 млн. лет) произошла не только миграция к северо-западу арены, на которой разыгрались главные вулканические события, но имел место разворот по часовой стрелке Южноамериканской плиты относительно Африканской.

Следует отметить обширный Хьюэбский долеритовый силл в Этендеке, внедрившийся в песчаники формации Этжо. По плагиоклазам крупнозернистых пород силла Хьюэб получены значения возраста 132,0±0,7 млн. лет, что говорит о синхронности образования силлов с максимумом наземных излияний.

Широко представлены кольцевые интрузии, тяготеющие к бортам синеклизы и к обрамлению лавового поля, к куполам антеклиз, а также к крупным глубинным разломам. Большинство интрузивных массивов центрального типа синхронны с максимумом излияния плато-базальтов, хотя образуют независимую область – специфическую в петрологическом отношении и ограниченную пространственно. Здесь формировались ультраосновные породы щелочного ряда: якупирангиты, карбонаты, нефелиновые сиениты, тингуаиты. Аналогичная картина развернулась 129 млн. лет назад несколько южнее, в Анитаполисе, также в бортах тогда еще континентального рифта. На Африканской стороне будущей Атлантики эта роль принадлежит интрузивному комплексу Мессум (131,7±0,7 млн. лет - 129,3±0,7 млн. лет) [Renne, 1996].

Эволюционно-динамические аспекты зависимости характера траппового магматизма от направления и скорости раскрытия Южно-Атлантического бассейна

В раскрытии Южной Атлантики нужно констатитовать два этапа, четко коррелирующих с событиями траппового магматизма. На первом этапе (150-133 млн. лет назад) происходит стремительное прорастание рифта и начинается дивергенция южных оконечностей Южно-Американской и Африканской литосферных плит при сохранении сплошности континентальной коры к северу от пояса Рибейра-Дамара. Следствия этого: активизация глубинных разломов, сдвиговые деформации, рассеянный рифтинг в континентальном обрамлении. На втором этапе (133-127 млн. лет назад) прорастание рифтовой долины и спрединг были остановлены крупной поперечной структурой – коллизионным орогеном Рибейра-Дамара. Следствия этого: формирование внутрилитосферного магматического резервуара, частичное плавление низов консолидированной коры в условиях подъема мощного теплового фронта, перераспределение растягивающих напряжений на область синеклизы Параны, главный

максимум трапповых излияний Южной Параны. 127 млн. лет назад был взломан континентальный мост и осуществилось встречное (с севера и с юга) раскрытие океана. Происходит синхронное полное угасание траппового магматизма.

Глава IV. СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ И УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ТРАППОВЫХ ПРОВИНЦИЙ ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ И БАССЕЙНА ПАРАНА-ЭТЕНДЕКА

Две крупнейшие трапповые провинции мира представляют интереснейший материал для сравнения, поскольку анализ причин сходств и различий проливает свет на происхождение и динамику глубинных процессов взаимодействия литосферы и мантии.

Становление спрединговых хребтов и колоссальные излияния плато-базальтов близ формирующейся дивергентной границы, имеют одну общую причину. Это возникновение новой системы мантийной конвекции, перестройка кинематики литосферных плит, зарождение восходящего мантийного потока и подъем мощного теплового фронта. Другой, не менее важной причиной, определяющей пространственную локализацию и специфику траппового процесса, является структура литосферы, унаследованная от ее предшествующей эволюции.

В свете таких представлений о влиянии процессов мантийно-литосферного взаимодействия на природу траппового магматизма проводится дальнейшее сравнение, результатом которого явилось установление общих черт и различий. Это, как основной итог работы, выносится в качестве первых двух защищаемых положений.

Если в пределах Тунгусского бассейна становление платформенных условий и начало формирования осадочного чехла относится к началу среднего протерозоя, то для синеклизы Параны этот этап наступает лишь в кембрии.

Не менее глубокие различия характерны для образования осадочного комплекса выполнения обеих синеклиз: для континентов Лавразийской группы в позднем докембрии и палеозое были характерны значительные опускания, в то время как для Гондваны, напротив, были характерны тенденции устойчивых поднятий.

Помимо различных тенденций в отношении вертикальных тектонических движений нужно сказать и о более важных аспектах палеотектонического режима. Если к началу фанерозоя Гондвана возникла как единый стабильный суперконтинент, то по периферии Сибирского кратона, проходят полный цикл эволюции Палеоазиатский и Палеоуральский океаны.

Начиная с рубежа Pz и Mz в северном полушарии возобладали процессы коллизии континентальных массивов, закрытия океанов, формирования нового суперконтинента – Евразии. В южном полушарии, напротив, это время грандиозной по своим масштабам

деструкции. Вот главное содержание стиля тектонического развития, который установился в раннем мезозое и сохраняется до ныне.

В контексте выше сказанного становится понятным, что две трапповые провинции развивались на фоне противоположно направленных тенденций глубинных геодинамических процессов.

ГЛАВА V. КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ТРАППОВЫХ ПРОВИНЦИЙ. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕХАНИЗМ

Рассмотрены различные модели образования трапповых провинций. На основе регионального материала двух сравниваемых в этой работе провинций исследуется какая из моделей наиболее адекватно описывает процесс образования траппов и сопредельных с ними структур так, чтобы не входить в противоречия с наблюдаемыми фактами геологического строения и истории развития трапповых провинций.

Предлагаемый механизм происхождения и условий образования трапповой провинции Парана-Этендека и подводных вулканических хребтов поднятия Риу-Гранди – Китовый хребет

Во время формирования этой одной из крупнейших в мире трапповых провинций (max. излияний 133,1 – 129,0 млн. лет) Западная Гондвана представляла собой сплошной континентальный массив и лишь после прекращения излияний трапповых магм Южная Атлантика рассекла трапповое поле на две резко неравные по площади части.

Прорастание Южно-Атлантического срединного хребта началось со стороны Индийского океана и шло интенсивными темпами так, что ко времени 133 млн. лет назад океан достиг значительной ширины, а южные оконечности Южной Америки и Африки отодвинулись друг от друга. До этого момента времени раскол континента происходил в пределах более однородной AR-PR коры кратона.

При достижении прорастающим рифтом коллизионного орогена Рибейра-Дамара, сформированного на этапе Бразильского диастрофизма, рост Южной Атлантики прекратился. Это относилось и к продольному росту, взламыванию коры бегущей трещиной рифта, и к поперечному, достигаемому за счет спрединга. К северу от этого барьера плиты оставались жестко связаны между собой – это был единый монолитный массив. Поэтому отодвигание южной части Южной Америки при фиксированном положении северной части континента вызывало в континентальной коре возникновение нового сложно ориентированного поля сил горизонтального сжатия-растяжения, которые релаксировали с образованием крупных сдвиговых деформаций, активизацией глубинных разломов и линеаментов. Разворот южной части материка относительно северной вызывал

раскрытие бассейнов рифтогенного типа, заложения сети магмоподводящих разломов, которые в обстановке подъёма теплового фронта, плавления низов консолидированной коры, общего растяжения, вызванного идущей к югу дивергенцией плит и подъёма мантийных расплавов, могли стать каналами подъема трещинных излияний и траппового магматизма. Значительные объемы мантийных расплавов, питающие спрединг, продолжали подниматься к подошве коры, поскольку направление глубинных процессов, ответственных за раскол Западной Гондваны и раздвижение её осколков, оставалось прежним. При продолжающемся нагнетании мантийных масс реализация этого подъёма расплава в спрединговом процессе стала невозможной из-за воздействия поперечного барьера. В результате этого значительные объемы расплавов стали скапливаться у подошвы литосферы. Началось формирование обширного подлитосферного и внутрилитосферного магматического резервуара, который вскоре дал начало грандиозным излияниям трапповых магм Южной Параны (133±0,1 млн. лет назад) (рис. 3).

Помимо базальтоидов, привносимых из формирующегося срединного хребта, остановленного поперечным барьером, значительные объемы обогащенных магм могли формироваться из вещества самой литосферы в поясе Рибейра-Дамара и из реликтового литосферного слэба. Этим может быть объяснена не только геохимическая пестрота составов лав траппового поля, но и возникновение щелочно-ультраосновных интрузивных комплексов, кольцевых интрузий карбонатитового и кимберлитового составов, которые отвечают условиям господства сжимающих напряжений.

Как только был взломан поперечный барьер и 127,0 млн. лет назад сформировались на его месте первые порции океанской коры, континентальный трапповый магматизм в Парана-Этендекском бассейне прекратился (рис. 4).

В этом месте, где ось срединного хребта рассекала трапповое поле и структуры пояса Рибейра-Дамара, продолжался щелочно-базальтовый магматизм, чему способствовали три фактора: 1) наличие глубинных разломов, заложившихся на стадии существования континентального моста и продолжающие свое развитие во вновь формирующейся океанской коре; 2) наличие колоссального внутрилитосферного резервуара магм. Остаточные порции этого расплава, не полностью реализовавшиеся в континентальном трапповом магматизме, могли перемещаться по разломам и сдвиговым зонам и питать внутриплитный вулканизм поднятия Риу-Гранди – Китовый хребет; 3) повышенный тепловой поток близ срединного хребта, благоприятствующий формированию расплавов.

Так началось формирование поднятия Риу-Гранди – Китовый хребет на самых ранних стадиях развития океанской коры в области пересечения Срединно-Атлантического хребта и глубинных разломов, активизированных во время раскола Гондваны (рис. 5).

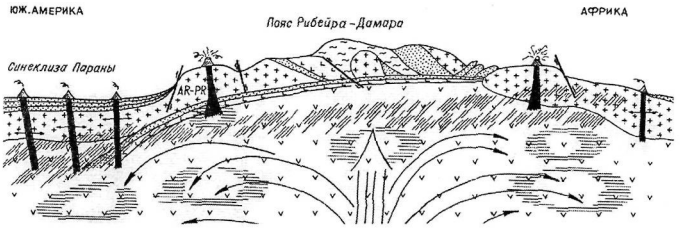


Рис. 3

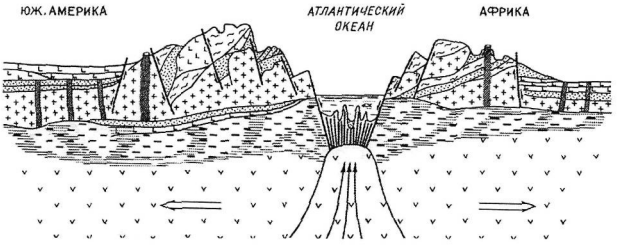


Рис. 4

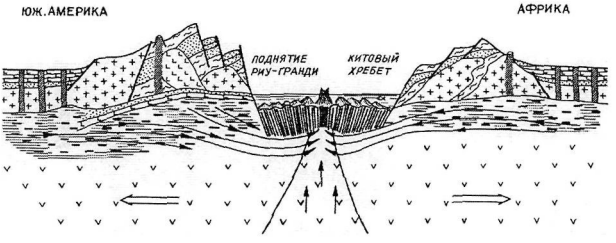


Рис. 5

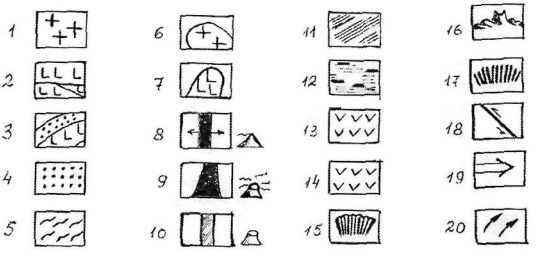


Рис. 1. Эффект плотины, создаваемый поясом Рибейра-Дамара для мантийных расплавов. Начало трапповых излияний.

Рис. 2. Раскол пояса Рибейра-Дамара, начало формирования океанской коры, прекращение траппового магматизма.

Рис. 3. Формирование поднятия Риу-Гранди – Китовый хребет за счет притока вещества

реликтовых подлитосферных магматических резервуаров

1) Архейско-протерозойская консолидированная кора кратонов; 2) Трапповая формация; 3) Реликтовый литосферный слэб, сформированный при становлении пояса Рибейра-Дамара. *Структура пояса Рибейра-Дамара:* 4 - Осадочные породы; 5 - Складчатые деформации; 6 - Гранитоидные плутоны; 7 - Офиолиты. 8) Магмоподводящие каналы трещинных излияний. Направления растяжений. Формирование эффузивов; 9) Интрузивные тела щелочно-ультраосновного состава и магмоподводящие каналы кимберлитового и карбонатитового вулканизма. Эксплозивные вулканические аппараты; 10) То же на стадии угасания активности; 11) Область частичного плавления низов консолидированной коры; 12) Внутрилитосферные и подлитосферные магматические резервуары; 13) Разуплотненная мантия; 14) Нормальная верхняя мантия; 15) Дайковый комплекс океанской коры; 16) Подводный вулканический хребет Риу-Гранди – Китовый, сложенный щелочно-базальтовыми лавами; 17) Формирование щелочных базальтов подводных хребтов в зоне спрединга; 18) Разломы и направления смещения по ним; 19) Направления перемещения литосферных плит; 20) Направления движения мантийных расплавов

В дальнейшем, на посттрапповом этапе развития, активность этих разломов постоянно поддерживалась неравномерным по скорости спредингом, разворотом Южно-Американской плиты относительно Африканской, имевшим место 80 млн. лет назад, перескоком оси спрединга на 200 км, изменением направления движения Африканской плиты с северо-восточного на северное.

Недавно проведенные исследования [Лобковский, 2004] подтверждают возможность перетекания расплава в область более низких давлений и высоких температур, то есть из-под континентальной коры в районе развития трапповых провинций к срединно-океанскому хребту. Здесь эти массы вовлекаются в подъем, усиливается плавление и начинается вулканизм, пространственно совпадающий со срединным хребтом, а геохимически отвечающий веществу рециклированной древней океанской коры и подошвы континентальной коры кратонов.

Предлагаемый выше механизм детально разработан для Парана-Этендекской трапповой провинции, однако, несомненно, что принципиальные положения такого подхода могут быть успешно применены при рассмотрении происхождения других трапповых провинций мира с учетом региональных особенностей истории развития.

Заключение

Одним из основных результатов проведенного сравнительного анализа является установление общих черт и различий двух трапповых провинций. Если общие черты являются следствием совместного воздействия на локализацию и характер траппового магматизма двух факторов – восходящего мантийного потока и структуры литосферы в пределах области активизации, то различия обусловлены геодинамическим антагонизмом

Северного и Южного полушарий, различием в стиле тектонической эволюции на этапе, предшествовавшем трапповому магматизму.

Другим результатом работы является анализ существующих моделей образования трапповых формаций на региональном материале сравниваемых бассейнов и разработка механизма формирования трпповых провинций и сопряженных с ними подводных вулканических хребтов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в периодических изданиях (перечень ВАК)

1. Львова Е.В. Трапповые провинции Тунгусской синеклизы и бассейнаПаран-Этендека: опыт сравнения //Бюлл. МОИП, отд. геол. 2008, т. 83, вып. 6; с. 3-19.
2. Львова Е.В. Тектоника мантийных плюмов: эволюция основных представлений //Вестник МГУ, сер. геол. 2010, №5, с. 21-26.

Тезисы докладов

1. Львова Е.В. Пространственно-временные соотношения траппового магматизма с раскрытием океанских бассейнов //Тезисы научной конференции «Ломоносовские чтения» секция музееведения. Москва, 2007, с. 55-57.
2. Львова Е.В. Развитие представлений о тектонике мантийных плюмов //Тезисы научной конференции «Ломоносовские чтения» секция музееведения. Москва, 2010, с. 38-41.
3. Львова Е.В. Возможные механизмы образования трапповых провинций в свете новейших данных //Материалы Международной конференции «Современное состояние наук о Земле», посвященной памяти В.Е.Хаина. Москва, 2011.

Подписано в печать 21.01.2011
Формат 60x88 1/16. Объем 1.0 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ № 1075
Отпечатано в ООО «Соцветие красок»
119991 г.Москва, Ленинские горы, д.1
Главное здание МГУ, к. А-102