

На правах рукописи

КУЛИКОВА ВИКТОРИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**ЭВОЛЮЦИЯ ДОКЕМБРИЙСКОГО МАГМАТИЗМА
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ
БАЛТИЙСКОГО ЩИТА**



Специальность 04.00.08 - петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук**

**Санкт-Петербург
1996**

147908к

Работа выполнена в Институте геологии Карельского научного центра РАН (ИГ КНЦ РАН)

Официальные оппоненты: *Чернышев* Николай Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корр. РАН; *Шинкарев* Николай Филиппович, доктор геолого-минералогических наук, профессор; *Ланда* Эдуард Александрович, доктор геолого-минералогических наук.

Ведущая организация: Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ).

Защита диссертации состоится "22" ноября 1996 г. в 16⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета Д 063.15.04 в Санкт-Петербургском государственном горном институте (техническом университете) им. Г.В.Плеханова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "16" сентября 1996 г.



147908к

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат геолого-минералогических наук

[Signature]
М.А.Иванов

СВЕДЕНИЕ

Работа посвящена эволюции магматизма архея и раннего протерозоя юго-восточной окраины Балтийского щита (БЩ) как части геологической системы (щит→континент→плато), развивающейся в раннем докембрии. Исследовались вулкано-плутонические ассоциации по составам от кислых до ультраосновных различных геодинамических обстановок (древнейшей коры, зеленокаменных поясов (ЗП), внутрищитных структур), развитых в пределах изучаемого региона, являющегося существенной частью Балтийского (Фенно-скандинавского) щита и Лавразийского материка, с целью выяснения закономерностей изменения вещества в пространстве и времени.

Актуальность темы. Одной из важнейших задач современной геологии и петрологии докембрия становится выяснение закономерностей формирования и развития самых ранних этапов Земли на достоверной геолого-петрологической базе, а также на современных достижениях экспериментальных исследований, астрофизики и планетологии. Докембрийские образования БЩ являются наиболее ранним фрагментом гиперсистемы "плато Земли" или пространственно-временной структурой, в пределах которой на основании изучения магматических образований архея и раннего протерозоя существует реальная возможность исследования эволюции магматизма в длительном временном интервале (3,4-1,65 Ga) раннего докембрия.

Целью настоящей работы и проведенных исследований явилось системное изучение геолого-петрологических особенностей магматитов на ранних этапах развития Земли на примере ЮВ окраины БЩ с привлечением необходимых данных по другим регионам мира и выявление общей эволюции магматизма в регионе для познания критериев самоорганизации раннедокембрийской земной коры с учетом внешних и внутренних факторов ее как геологической системы.

Основные задачи исследований по изучению эволюции магматизма ЮВ окраины БЩ от древних комплексов к молодым заключались в следующем:

1. Выделить участки с наиболее сохранившимися фрагментами древнейших (нижнеархейских) осадочно-вулканогенных комплексов на БЩ, установить критерии их идентификации, особенности внутреннего строения, метаморфизма и гранитизации для возможного изотопного датирования.
2. Изучить разрезы верхнеархейских зеленокаменных поясов, провести анализ по выявлению сходства и различия магматизма раннего и позднего архея с выяснением возможных причин изменения фациального, петрографического и петрохимического составов разновозрастных магматитов.
3. Провести корреляцию вулканогенных и плутонических комплексов зеленокаменных поясов ЮВ окраины БЩ.
4. Установить структурное положение разновозрастных магматитов, найти признаки их сходства и различия, выраженные в вещественном составе.

5. Исследовать петрографо-петрохимические особенности раннедокембрийских магматитов с выявлением эволюционной направленности магматизма в архее и раннем протерозое.

6. Выявить условия формирования коматитовой ассоциации магматитов, установить ее соотношения с толеитовой и известково-щелочной сериями, определить место и время проявления бопингитовой серии.

7. Установить факторы и критерии развития раннедокембрийской геологической системы, обосновать особенности металлогенеза соответствующего магматизма, разработать модель формирования земной коры ЮВ окраины Балтийского щита в качестве примера комплексного взаимодействия организуемых и самоорганизующих сил.

Научная новизна.

1. Впервые на БЩ выделены и геохронологически обоснованы самые древние магматиты основного-ультраосновного состава (коматиты, коматитовые и толситовые базальты) с возрастом более 3,4 Ga, что отражено в стратиграфической шкале докембрия России.

2. Впервые (1979г.) на БЩ выявлены верхнеархейские коматиты со структурой стьлпифекс, что позволило по-новому рассматривать магматизм региона и перспективы его рудоносности.

3. На основе совместного с В.С.Куликовым (ИГ КНЦ РАН) и И.С.Пухтелем (ИГЕМ РАН) детального изучения коматитовых базальтов нижнего протерозоя района Ветреного Пояса впервые получены Sm-Nd изотопные возрасты (2,45-2,41 Ga) одноименной свиты, что позволило существенно пересмотреть стратиграфию протерозоя ЮВ окраины БЩ.

4. Выявлены новые закономерности магматических процессов в докембрии региона: микро-, мезо-, макро- и мегаблизичность, этапность во всех комплексах магматитов, которые наблюдаются на структурном, породном, минеральном и химическом уровнях.

5. Геологически обосновано сопровождение протерозойского магматизма мощным газовыделением, образованием "черных курильщичиков", выраженное шугитовыми залежами, газовыми каналами в виде трубок взрыва, брекчий с гидротермальным цементом.

6. Анализ петрохимических особенностей магматитов и привлечение обширного мирового петрохимического материала и экспериментальных данных позволили на основании впервые (Куликова, 1993 г.) предложенной диаграммы $Ig (Al_2O_3/TiO_2) - Ig MgO$ (мас.%, в пересчете на безводный остаток) выявить различие петрохимических параметров как магматических комплексов, так и горных пород и рекомендовать использование алюмотитанового модуля (АТМ) в качестве индикатора идентификации магматических пород, а диаграмму для определения условий их образования.

7. Разностороннее изучение магматизма ЮВ окраины БЩ позволило впервые рассмотреть раннедокембрийские магматические комплексы как единую геологическую систему, подчиняющуюся законам синергетики.

Фактическая основа и методы исследований. В основу работы положены исследования автора в течение 20 лет в Восточной Карелии и западной части Архангельской области, изучение ряда объектов в Центральной и Северной Карелии, а также теоретические разработки методики анализа вещественного состава докембрийских метаморфизованных магматитов и его реконструкции. Фактический материал был получен в процессе выполнения автором тематических работ Института геологии Карельского научного центра РАН по изучению ЮВ окраины БЩ, в результате совместных работ с геологами ПГО "Архангельскгеология" и "Севзапгеология". Часть геологических материалов собрана во время научных экскурсий на Балтийском, Украинском и Алданском щитах совместно с коллегами из ИГЕМ РАН И.С.Пухтелем, А.В.Самсоновым, А.К.Симоном.

При подготовке работы был использован оригинальный аналитический материал, который включает более 3000 химических анализов изученных пород, около 5000 шлифов, выбраны базовые участки для отбора проб и последующего изотопного изучения пород различных комплексов (неординарные аналитические исследования проводились сотрудниками ИГЕМ РАН И.С.Пухтелем, Д.З.Журавлевым, А.В.Самсоновым, а также ИГГД РАН С.Б.Лобач-Жученко, И.Н.Крыловым, О.А.Левченко и др.). Обработка аналитического материала осуществлялась на IBM-PC с использованием программ NEWPET и GOLD при содействии к.г.-м.н. А.Ю.Бычкова (МГУ).

В основу исследований были положены методы палеовулканологических реконструкций, применяемые для изучения хорошо сохранившихся нижнепротерозойских вулканитов БЩ. Нижнеархейские вулканиты, претерпевшие неоднократный метаморфизм в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации и сохранившиеся в отдельных фрагментах, впервые были рассмотрены на отдельные тела с использованием вышеуказанной методики инструментальными методами с максимальным прослеживанием вычлениваемых потоков по простиранию. Верхнеархейские вулканиты, слогающие отдельные структуры Южно-Выгозерского и Сумозерско-Кенозерского ЗП (Куликов, Куликова, 1976), и их интрузивные аналоги изучались автором в рамках тематических исследований Института геологии КНЦ РАН и на основании совместных работ по данным Зурения ПГО "Архангельскгеология" и "Севзапгеология". Нижнепротерозойские магматиты исследовались в структурах Ветреного Пояса и Онежской. В акватории Онежского озера и на его побережье в процессе выполнения плана НИР Института геологии КНЦ и совместных работ с Петрозаводским государственным университетом они обследовались, наряду с обычными маршрутами, на НИС "Посейдон", "Нептун" и "Эколог", что позволило с

помощью золотов выявить некоторые особенности структурного положения протерозойских магматитов в Онежской структуре.

Для получения детальной петрохимической характеристики разрезов вулканитов опробование проводилось последовательно в каждом потоке в выделенных лавовых пакетах. Интрузивные породы опробовались по всем разновидностям их мест массивов. Был привлечен также обширный аналитический материал Карельской и Плесецкой полевых экспедиций (ИГО "Севзапгеология" и "Архангельскгеология"), любезно предоставленный автору и опубликованный в ряде совместных статей. При анализе петрохимических данных по магматитам региона были созданы дополнительные диаграммы на основании многозначных опубликованных данных по петро- и геохимии пород Мира (более 20 тыс.), использованы компьютерные программы NEWPET, специально разработанные TALK.STAT (автор к.т.-м.н.А.Ю.Блачков, МГУ), GOLD (автор С.А.Ворообьев, МГУ). Редис и РЗЭ, изотопия систем изучались И.С.Пухтелем, Д.З.Журавлевым, А.В.Самсоновым (ИГЕМ РАН), С.Б.Лобач-Жученко, И.Н.Крыловым, О.А.Левчицковым, С.С.Сергеевым и др. (ИГГД РАН) и опубликованы в ряде совместных и самостоятельных работ.

Практическое значение работы Основные теоретические разработки автора использованы в области изучения докембрийских комплексов при поисково-съёмочных работах:

1) первые находки коматитов (Куликова, Куликов, 1981 и др.) в пределах Кампоозерской структуры Сумозерско-Кенозерского ЗП АК₂ (Куликов, Куликова, 1979) активизировал и поиски месторождений никеля на ЮВ окраине БШ и привели к выявлению нового для России типа Cu-Ni руд, связанных с коматитами (рудопромысленные Золотопорожское, Лещевское и др.);

2) выделение и детальное описание пород волошской свиты (Куликова, 1993), ее последующее изотопное датирование (Пухтель и др., 1991) послужили основанием для характеристики в "Стратиграфической шкале" обоснованного нижнеархейского стратона (Решение "Уфимского...", 1990), которое используется при проведении геолого-съёмочных и научно-исследовательских работ на территории Фениоскандии;

3) методические разработки автора в области петрографии докембрийского магматизма, а также переданные практические рекомендации (см. список работ) могут использоваться в процессе поисков и разведки медно-никелевых, титановых, редкометалльных руд, асбеста, тальк-карбонатных пород, что отражено в производственных отчетах Карельской и Плесецкой экспедиций;

4) предлагаемый автором системный анализ применим в экологических исследованиях и был использован для характеристики геологического строения одного из крупнейших в Европе Водлозерского национального парка (Куликова и др., 1995). Адресивстрации парка переданы рекомендации по проведению научного туризма на его территории.

Апробация работы. Полученные в результате исследований новые материалы по докембрийским комплексам ЮВ окраины БШ использовались при выполнении ряда плановых тем, Института геологии Карельского НЦ РАН, составлении карт: магматических формаций, геологической и геохимической. По теме диссертации опубликовано около 120 работ, в том числе 3 коллективных и одна индивидуальная монографии. Основные положения диссертации доложены на ряде совещаний, конференций и симпозиумов: 1. Магматизм кеноплиты и ультраосновных расплавы, 1980г., г.Новосибирск; 2. 6-е Всесоюзное петрографическое совещание, 1981г., г.Ленинград; 3. IX семинар "Геохимия магматических пород", 1982г., г.Москва; 4. Семинар "Минеральные преобразования океанической коры", 1982г., г.Владивосток; 5. III Всесоюзный семинар по геохимическим методам поисков месторождений полезных ископаемых, 1982г., г.Самарканд; 6. Семинар "Эволюция магматизма в главнейших структурах Земли", 1983 г., г.Москва; 7. X международный симпозиум по прикладной геохимии, 1983г., г.Эспоо/Хельсинки; 8. Всесоюзное совещание: "Эндогенные режимы формирования земной коры и рудообразования в раннем докембрии", 1983 г., г.Воронеж; 9. 4-е Всесоюзное палеовулканологическое совещание, 1984г., г.Владивосток; 10. Семинар "Высокомagneзильный магматизм раннего докембрия", 1988г., г.Петрозаводск; 11. II-е Всесоюзное совещание по стратиграфии архея и нижнего протерозоя СССР, 1990г., г.Уфа; 12. Международный симпозиум по проектам 257 и 275, 1992г., г.Петрозаводск; 13. IV Объединенный международный симпозиум по проблемам прикладной геохимии, посвященный памяти акад. Л.В.Таусона, 1994, г.Иркутск; 14. Международный симпозиум "Петрология и металлогения вулканических и интрузивных пород во внутриконтинентальных рифтовых системах", 1995г., г.Дурут (США); 5. Всероссийское петрографическое совещание (Уфа, 1995); 16. Всероссийское совещание "Главнейшие рубежи эволюции Земли в докембрии и их изотопно-геохронологическое обоснование", 1995, г.С-Петербург; и др.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 3 основных глав, заключения и списка литературы из 524 названий, 27 таблиц, 120 рисунков и текстовой части объемом 170 машинописных страниц.

Благодарности. Настоящая работа выполнена в Институте геологии Карельского научного центра РАН. В период работы автор пользовалась советами, критическими замечаниями, консультацией и помощью докторов геолого-минералогических наук В.С.Куликова, Ю.И.Сыстры, С.Б.Лобач-Жученко, Л.И. Свириденко, В.Ф.Смолякина, а также специалистов-геологов и петрографов в области докембрийской геологии Г.П.Сафроковой, Л.П.Галюбиной, К.И.Хейсканена, А.И.Световой, Н.А.Горбик, В.С.Степанова. Многолетнее сотрудничество с геологами-производственниками В.Н.Фурманом, А.В.Федюком, А.Н.Зудиным, В.П. Копыловым, А.Д.Казенковой значительно расширило возможности решения поставленных задач. Особенно плодотворна была совместная

работа с к.г.-м.н. И.С. Пухтелем, к.г.-м.н. А.К. Симоном, к.г.-м.н. А.В. Самсоновым, Д.З. Журавлевым (ИГЕМ РАН), Я.В. Бычковой, к.г.-м.н. А.Ю. Бычковым (МГУ), С.А. Вязириным (ИГ КНЦ РАН).

Автор весьма признателен академикам РАН О.А. Богатинову и И.Д. Рябчикову, которые оказали существенную поддержку в процессе исследований. Автор особенно благодарен чл.-корр. РАН Н.М. Чернышевцу, а также академику А.А. Маракунцеву, докторам г.-м.н. Е.В. Шаркову (ИГЕМ РАН), Н.Ф. Шинкареву (С-ПбГУ), Ю.И. Сидорам, В.С. Куликову, С.И. Рыбакову, В.Я. Горшкову, К.И. Хейсканену, кандидату г.-м.н. Р.А. Хазову (ИГ Карельского НЦ РАН), взявшим на себя труд критически и доброжелательно прочитать и обсудить основы данной работы.

Содержание работы. Предметом исследований является разносторонний анализ магматических пород, сменяющихся во времени от наиболее древних архейских к протерозойским, но являющихся в совокупности целостной и неделимой системой, условно ограниченной территорией ЮВ окраины ВШ (восточнее линии Беломорек-Гирвас-Пряжа). Регион, за исключением Онежской структуры, систематически начал изучаться с 1935 г. (Н.В. Альбов, геолого-геохимические работы м-ба 1:50000), но плохая обнаженность и сложная доступность в те годы отодвинула существенные открытия в области его геологического строения. Работами геологов (Ю.М. Антонов, А.И. Кацков, В.В. Гаврилов, А.Г. и Д.А. Кондиайн, А.И. Кайряк, В.Д. Слюсарев, З.К. Махнач, П.Я. Петренко, Г.В. Канев, Б.З. Иткин, С.В. Милескин, В.С. Куликов, А.В. Сивинцил, Л.Н. Ермолаева, М.Н. Химка, А.И. Зудин, В.И. Кислов, А.В. Федюк, С.А. Морозов, М.Г. Попов, В.Н. Фурман, С.И. Свешникова (Бобылева), В.П. Копылов, А.Д. Казимова) и геофизиков (Г.А. Порогова, М.С. Сипарова, С.А. Аликучинов, Н.Н. Болтуцев, Г.П. Варгин, Г.Н. Сухолетова и др.) решались вопросы общей геологической ситуации и проблемы металлогении. Расчленение докембрийских (архейских и протерозойских) супракрустальных толщ оставалось остро дискуссионным. Не решена была проблема структурного положения верхнеархейских образований. Вопрос о выделении самостоятельных нижнеархейских комплексов и их расчленении не ставился, вследствие бытовавшего в тот период представления о принципиальной невозможности решения этой задачи. Сравнение изученных геологических разрезов верхнего архея региона с аналогичными в Центральной и Западной Карелии, в Финляндии и на других щитах долгое время не представлялось возможным из-за отсутствия реперных изотопных возрастов, и комплексы считались протерозойскими (Перевозчикова, 1963; Песуров, 1972; Слюсарев, Куликов, 1973; Сивинцил, 1983). В настоящей работе автором проводится системный анализ докембрийских магматических комплексов, исходя из геологических, петрографо-петрохимических и изотопных данных. Последовательно излагаются выделенные признаки структурного контроля магматитов, основные параметры вещественного состава, характер эволюции магматизма

во времени и пространстве, металлогеническая специфика комплексов. Установлены триклические закономерности в напластованиях вулканитов, в последовательности дифференциации гранитоидов и базит-ультрабазитов, основанные на химических свойствах Al, Ti и Mg, что позволяет, используя логарифмические координаты, расширить графическое изображение полей выделенных петрографических серий и возможности моделирования образования и эволюции магматических расплавов.

Первое защищаемое положение

Комплексы магматических пород, выделенные на юго-восточной окраине Балтийского щита (ЮВ ВШ), геологически и геохронологически обоснованные в составе нижнеархейского, верхнеархейского и нижнепротерозойского структурных этажей, характеризуются изменениями в вулканитах основного-ультраосновного состава в виде: а) микроритмичности проявления толстоковой и коматитовой ассоциаций пород нижнего архея; б) мезоритмичности этих ассоциаций в составе верхнеархейских сложнопостроенных снгт с завершающим кислым вулканизмом и микроритмичности в вулканитах основного-ультраосновного состава; в) макроритмичности в раннем протерозое за счет смены ассоциаций от преимущественно коматитовых (2500-2300 Ма) базальтов и комагматичных им двухфазных интрузий к толстоковым базальтам (2300-1900 Ма) и базальтоидным плутонам с отчетливой сменой коматитового магматизма на толстоковый с фрагментарным проявлением вулканитов базальтовой серии во всех циклах и нарастанием ее объема к раннему протерозою. Относительно примитивный кислый магматизм в раннем архее, представленный тоналитами автохтонного и аллохтонного типа, к позднему сменяется дифференцированными комплексами: 1) кислыми вулканитами и трондьемитами; 2) микроклиновыми и субщелочными гранитами, а также пегматитами мусковит-редкометалльной формации.

1. Географически ЮВ окраины ВШ соответствует территории к востоку от Беломорско-Балтийского канала до р. Онеги и занимает площадь около 120 тыс. кв. км. Макроуровень системы представлен тремя структурами от южной: нижнеархейским (саамским), верхнеархейским (лопийским) и нижнепротерозойским (карельским).

Нижнеархейский (саамский) структурный этаж (древнее-3150 Ма). ВШ в современном виде имеет слоисто-блоковое строение (Гришпа, 1991 и др.). На ЮВ окраине он представлен двумя крупными блоками земной коры диаметром около 200 км, окруженными ЗП верхнего архея и кардинально отличающимися от них по своему строению и возрасту (рис. 1). По названию расположенного в центре одного из них оз. Водлозера он был назван Водлозерским, а другой по пос. Маленга - Маленгским. Наиболее изучен Водлозерский блок, территория которого ограничена в северной части приблизительно водоразделом Белого-Балтийского морей (истоки рек Подлюмки, Млексы, Дек-

сы), на востоке - системой рр.Токна-Волошова - оз.Волоцкое, на западе условной линией Гирлас-Ивинский разрыв (Куликова,1993). Геологически он представляет собой в настоящее время мозаичную (сегментную) структуру.

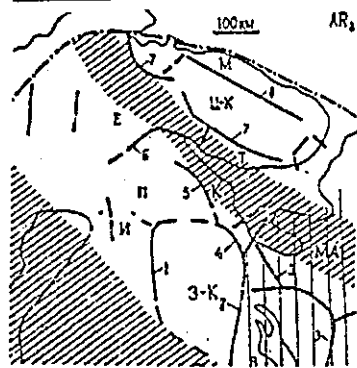


Рис.1. Схема расположения в современной структуре Балтийского щита раннеархейских блоков и разделяющих их верхнеархейских ЗП (по В.С.Куликову,1990г., с дополнениями автора). Блоки (микроплиты): М - Мурманский, Ц-К - Центрально-Кольский, Е-Ениский, Т - Терекский, П - Пяозерский, К-Кемский, МА - Маленгский, И - Инсалими, 3-К - Западно-Карельский, В - Водлозерский.

ЗП:1 - Суомуссалми-Кухмо; 2 - Сегозерско-Ведлозерский; 3 - Суомозерско-Кенозерский и Южно-Выгозерский; 4 - Тикшезерско-Пезозерский; 5 - Нотозерский; 6 - Тупса-Салукоски; 7 - Терско-Алларчинский; 8 - Колзеро-Воронь.

9-Суомозерско-Жужмульская тектоническая зона неясного возраста.

Области интенсивной переработки коры в свехофенское время заштрихованы. Вертикальная штриховка - интрузивный регион.

окруженную с востока, северо-востока и севера Суомозерско-Кенозерским и Южно-Выгозерским ЗП, с запада - Сегозерско-Ведлозерским, а с юга перекрыт палеозойским чехлом, под которым по геофизическим и геоморфологическим данным он прослеживается на юг на 20-30 км. В наиболее сохранившихся фрагментах блока выделены осадочно-вулканогенные породы (Куликов,Куликова,1986; Пухтель и др.,1992; Pakhnel et al.,1993; Левченко и др.,1990; Лобач-Жученко и др.,1989 и др.), представленные амфиболитами по основным-ультраосновным эффузивам (Куликова,1993). В пределах Водлозерского блока выявлены две крупные синформные структуры: Черевская и Шальская. В первой описан разрез (волоцкая свита) из 18 пачек амфиболитов по базальтам толентової и коматинтовой серии, а также коматинты с возрастом 3391 ± 76 Ма (Пухтель и др.,1991). Основание амфиболитовой пачки неизвестно, верхняя граница определяется по структурному несогласию с вожмигской серией Суомозерско-Кенозерского ЗП в западном борту Токнинской структуры. От Шальской структуры сохранился только фрагмент центральной части, расположенный на восточном берегу и акватории Онежского озера, с широким проявлением гранулитового метаморфизма (около 2,65 Ga), имеющего "пятнистое" развитие по площади и тяготеющего к тектонической зоне, контролируемой Бураковской расслоенной интрузией и ее саттелитами. В Маленгском блоке, где автором изучались фрагменты супракрустальных образо-

ваний в районе г.Онеги, села Покровского, пос.Золотуха и на островах Онежской губы Белого моря,отличающиеся преобладанием биотитовых гнейсов над амфиболитами и отсутствием в последних различаемых эффузивных текстур (Куликов,Куликова,1989), анализировать их однозначно на предмет магматических комплексов в настоящее время не представляется возможным.

Идентичность амфиболитов в трех соразмерных блоках (Водлозерский, Маленгский и Пяозерский) позволяет считать их типичными для древнейших магматитов раннего архея БЩ. Волоцкие амфиболиты могут сопоставляться с наиболее древними комплексами северного полушария Земли: фундамента Сибирской платформы и Гренландии, а также с древними образованиями Украинского щита и Южной Африки.

Верхнеархейский(лопийский) структурный этаж (3150-2500 Ma) представлен осадочно-вулканогенными комплексами и многочисленными плутолитами разного состава от кислых до ультраосновных ЗП(Суомозерско-Кенозерский, Южно-Выгозерский и др.)(Куликова,Куликов,1981; Вулканогенные.,1981; Куликова,1983 и др.), обрамляющих раннеархейские блоки. Они сопоставимы по строению и составу разрезов с подобными структурами Финляндии, Австралии, Канады и характеризуются гетерогенностью за счет разного строения слагающих их синформных структур, сопряженно переходящих друг в друга. В пределах ЮВ окраины БЩ автором вместе с В.С.Куликовым (1979) были выделены и исследованы Южно-Выгозерский и Суомозерско-Кенозерский ЗП (Куликов, Куликова,1979; Куликова,1983 и др.). Суомозерско-Кенозерский ЗП, состоящий условно из пяти структур (Коросозерской, Каменноозерской, Сенегозерской,Токнинской,Волошовской), по изотопным исследованиям (Sm-Nd метод) образовался около 3100 Ма назад. В Каменноозерской структуре главную часть разреза составляют основные-ультраосновные вулканиты коматинтовой и толентової магматических ассоциаций с возрастом 3054 ± 84 Ма ($\epsilon Nd = +2.4$)(Самсонов и др.,1996). Южно-Выгозерский ЗП имеет меньшие размеры (Куликова,1983), время формирования 2916 ± 70 Ма, близкое Токнинской структуре Суомозерско-Кенозерского ЗП 2960 ± 150 Ма (Сочеванов и др.,1991). ЗП региона входит в общую систему поясов БЩ числом не менее 10. Время их формирования составляет 3,05 Ga и 2,9 Ga. Отмечена латеральная изменчивость основания разреза верхнеархейских ЗП восточной части БЩ с севера на юг и с запада на восток. В Восточной Финляндии и Восточной Карелии разрез начинается с основных-ультраосновных вулканитов, а в районе Суомуссалми-Пезозеро и Ялонваары - с андезитов.В Суомозерско-Кенозерском ЗП завершающим этапом вулканизма стало излияние лав основного состава толентової серии. Супракрустальные комплексы ЗП метаморфизованы в зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фациях. Интрузивный магматизм представлен ультраосновными, основными и кислыми породами, комагматическими вышеназванными эффузивами, приуроченными к крупным

магний-шам, магнийно-коровым, коровым зонам разломов. Наиболее изучены интрузивы базит-гипербазитов Каменноозерской, Тохтинской и Волошовской структур, разбуренные на предмет поисков медно-никелевых месторождений. Кислые магматиты формировались в несколько этапов. Наиболее ранние риолиты в Каменноозерской структуре внедрялись в период 2920 Ма, опережая Койкарские (Центральная Карелия) (2860±15 Ма) и Костомукские (Западная Карелия) (2795±29 Ма) (Самсонов и др., 1996). Микроклиновые и субклиновые граниты наблюдаются в субгоризонтальных зонах отложения (Куликова и др., 1988). С ними генетически связаны выделенные на ЮВ окраине БЦ мусковит-редкометалльные пегматиты, приуроченные к Выгозерской зоне смятия, которая прослеживается более, чем на 200 км (Куликов и др., 1986).

Нижнепротерозойский (карельский) структурный этаж (2500-1650 Ма).

Проторифт Петреиний Пояс - реликт внутриконтинентальной Фенноскандинавской рифтовой системы, возник вследствие активизации магнийных швов системы ЗП (рифт в рифте) в сумийское время (2446±42 - 2441±34 Ма) (Пухтель и др., 1991) (Куликова, 1993) и прослеживается на расстоянии более 350 км с простиранием СЗ300°. СВ борт проторифта тектонизирован, имеет либо опрокинутое залегание вследствие настигания на него Маленгского блока, либо перекрыт туфоогенно-осадочными породами неизвестного возраста, либо проявляется в виде тектонических зон, выполненных биотититами с возрастом 1760-1750 Ма. Смена фаций коматитового магматизма относительно оси рифта происходит от преимущественно интрузивного на юго-западе до эффузивного на северо-востоке. Уникальным объектом является г. Голец, представляющая собой сочетание подвулканичной расслоенной интрузии, обнаженной на площади 21 кв. км, и реликтами сложнопостроенного вулкана непосредственно на упомянутой горе. К юго-востоку от г. Голец постепенно исчезают характерные расслоенные потоки, лавовые озера (г. Б. Левгора), появляются поля подушечных базальтов (г. Мищуха и др.). Структурообразование происходило прерывисто-поступательно, о чем свидетельствуют несогласия внутри толщи вулканитов, которые подразделяются на три пачки: (г. Голец и др.) с признаками различного формирования от водной среды до кратерных озер.

Интрузивный магматизм этого времени представлен расслоенными и дифференцированными интрузивами (силлами) базит-ультрабазитов. Вулканитам локальных структур начального магматизма соответствуют тела габбро и перидотитов. В юго-западном борту рифта в зоне сочленения с Сумозерско-Кепозерским ЗП находятся отчетливо дифференцированные габбро-пироксенит-лерицититовые массивы, в кровельной зоне которых отмечена структура спинифекса (Куликова и др., 1994). Особое место занимают расслоенные и тонкодифференцированные интрузии перидотит-габбро-норитов, коматитовых коматитовых базальтов - Коба, Гольцовская, Колосерская и др. Трансформированные разломы контролируются различными по размерам расслоенными интрузивами

перидотит-габбро-норитов (анортозитов). Наиболее крупная Бураковская (изотопные возрасты по Pb-Pb; Sm-Nd; Rb-Sr методами - 2450-2350 Ма) расположена в центре Водлозерского блока и сопоставляется по возрасту и составу с базальтами Ветреного Пояса. Она сравнима с впервые описанной Кийостровской расслоенной перидотит-габбро-норит-анортозитовой интрузией, которая находится в центре Маленгского блока (Куликов, Куликова, 1989) и сечется пегматитами (2390±50 - 2360±13 Ма Pb-Pb, ТИЭМ, данные Шлессенской поисковой экспедиции), а также интрузивами Северной Карелии (Кисакка, Цирипина, Лукулайсваара и др.). Кислые магматиты проявлены ограниченно и приурочены к экзоконтактам крупных массивов мафит-ультрамафитов и представлены выплавленными "неосомы" в виде небольших тел в отличие от Центральной Карелии (Лехта), где играют ведущую роль.

Толетитовый магматизм характеризует итуйский субплатформенный режим (2220-2075 Ма), имеет более дискретный характер и проявлен в юго-западном сегменте Водлозерского блока в пределах Онежской структуры. Его объем и распространение в настоящее время дискусионны вследствие неопределенности возрастных границ (по данным В.А. Мележика и др., (1996), стратотип ятулия со строматолитами из западного борта Онежской структуры имеет возраст 1980±27 Ма) и петрохимических особенностей вещественного состава. Вулканичные и субвулканические тела габбро образуют редкие центральные постройки, приуроченные к зонам пересечения субширотных и субмеридиональных разломов, и их количество нарастает с северо-востока на юго-запад. В северо-восточной части отмечена урезанная вулканическая деятельность. Описан один Кожостровский вулкан и несколько силлов, сохранивших маломощную пачку доломитов на северном берегу Кожозера. В Онежской структуре в ее северо-восточном борту преобладают доломиты с отдельными потоками мидалекаменных базальтов, а на западе описаны реликты вулканических построек с классическими текстурами лав (канатные, мидалекаменные и др.). Ассоциация доломитов, приуроченных к завершающим фазам вулканизма, "грязных" доломитизированных песчаников, толстотельных базальтов и многочисленных силлов и даек имеет единую магматическую и поствулканическую природу, особенно отчетливо выраженную в хорошо сохранившемся реликте Гирвасского вулкана. Традиционно выделяемые итуийские осадочно-вулканические образования сменяют магматиты доломитовая (заонежская и субсарская свиты) и калевия с возрастом 2075-1860 Ма (Пухтель и др., 1995), имеющие локальное развитие в пределах Онежской структуры. Это - подушечные, массивные, мидалекаменные толстотельные базальты, сформированные в условиях активного флюидообразования, что особенно отчетливо проявляется в зонах контактов коматитовых силлов и даек габбро и доломитов с вмещающими осадочными породами в связи с насыщенностью базальтов углеродистым веществом, гидротермальными новообразованиями, ре-

ликовыми фумаролами и сульфатами и углеродистым веществом в межарочных пространствах в кровле лав. Сульфидный магматический комплекс представляет собой сложную вулкано-плутоническую ассоциацию толеит-пикритовых пород, образующих отдельные вулканические постройки на западе Онежской структуры (Систов, 1981; Куликов и др., 1996 и др.). Субвулканические тела габбро и пикритов, мощностью несколько сот метров и протяженностью - первые километры, развиты на юго-западном побережье Повенецкого залива Онежского озера. Возраст пород - 1974 ± 27 Ма (Пухтель и др., 1995). Большой интерес представляют "оломенские брекчии", традиционно рассматривающиеся или как стратифицированные породы, или как жерловые фацции вулканитов. Изучение урочища Чертов Стул на северном берегу Петрозаводской губы Онежского озера (Куликов, Куликова, 1995) позволило отнести некоторые из них к возможным реликтам трубок взрыва (по характеру овальных и кольцевых трещин, провальным явлениям и направлению сдвигов внутри этих структур). Вулканическая постройка с брекчиями описана на южной окраине г.Петрозаводска (Органическое вещество..., 1994). Предполагается более молодой (рифейский → палеозойский → мезозойский) магматизм. Магматические породы с возрастом моложе 1860 Ма расположены в юго-западном (Ропучейский щит), палеозойские - в юго-восточном сегментах Водлозерского блока и завершают масштабный магматизм. Возможно, рифейский возраст имеет лампронтоподобная дайка района оз.Левушка, дайки щелочных пикритов в восточном борту Камениноозерской структуры, сопоставимые с лампронтами Ко-стомушки и Приладожья.

2. Вещественный состав докембрийских магматитов, представляющий собой мезуровень в иерархии геологической системы, содержит существенную информацию по характеру текстур, структур, минеральных ассоциаций и степени метаморфизма об интрузивных и эффузивных фациях разного возраста.

Ижнеархейские магматиты (вулканиты) впервые детально описаны в районе оз.Волоцкого и приняты в качестве стро- и стратоплинических образований (Куликов, Куликова, 1986, Куликова, 1993 и др.). Им нет аналогов на БШ. В кровельной зоне почти всех потоков отчетливо выражены шлаковые текстуры (типа металлургических шлаков), близкие по внешнему облику текстурам лавовых озер коматитовых базальтов, слагающих криж Ветреный Поас. В нижней части описанного разреза выявлены маломощные прослои коматитов (от 15 см до 1.5 м) (Куликов и др., 1989 и др.) (пачки из 1-2 - 20 потоков) со специфической метаморфической очковой текстурой с проблематичными фрагментами спинифекс структуры. Вверх по разрезу лавовые потоки с кровельной зоной в виде шлаков и лавобрекчий чередуются с потоками со спинифекс структурами, подобными структурам на Украинском щите, где они описаны в разрезах ижнеархейского архея (Журавлев и др., 1989) и в курульгинской свите Алданского щита (Пухтель, 1992 и др.). Амфиболиты по базальтам

основного состава - мелкозернистые массивного сложения с гранобластной структурой. Минеральный состав: амфибол, зональный плагиоклаз (Al_{135-50}), а также биотит, хлорит, кварц. Акцессорные: сфен, апатит, магнетит, гематит, сульфиды. Породы претерпели несколько этапов метаморфизма не выше эпидот-амфиболитовой фацции, и первичные зональные пироксены превращены в зональные амфиболы. Оптическими методами отчетливо устанавливается неоднородность амфиболов: (кумминтонцит, бурая роговая обманка, актинолит, пестингенит, редко жедрит, керсутит, паргасит), имеющая в каждом зерне определенную закономерность. В Шальской структуре из-за продвинутого гранулитового метаморфизма зерна амфибола в основном однородны. Интрузивные коматиты описанных амфиболитов имеют ограниченное распространение: дайки габбро и долеритов, сопряженные с лавовыми потоками и подверженные тем же изменениям, что и базальты. В центральной части Шальской структуры выявлены реликты периодит-габбро-анортозитового шугруина, прорывающего тронхемитамы, пегматитамы, дайками основного состава, представляющего собой, по мнению А.К.Симонова (Куликов и др., 1990), древнейшие плутониты. В состав ассоциации входят 1) мелкозернистые амфиболиты (эндозоны); 2) пироксениты; 3) лейкогаббро; 4) габбро-диориты, диориты, габбро-анортозиты. Переходы от габбро-диоритов к габбро-анортозитам постепенные. Тоналиты неоднородны и подразделяются на автохтонные и аллохтонные. Автохтоны определяются субстратом, характеризуются пятнистой, пегматитной или полосчатой текстурой. Минеральный состав: плагиоклаз, кварц, роговая обманка, биотит, эпидот; акцессорные: анатит, циркон, апатит, сфен, рутил, лейкоксен, хлорит, гранат, дистен, турмалин, рудные. Тоналитизация амфиболитов происходит в несколько этапов: 1) пропитывание амфиболитового субстрата растворами с постепенным осветлением субстрата, но с сохранением текстур; 2) перемещение новообразованного вещества в виде отдельных жил в зоны брекчирования амфиболитов; 3) индерные жилы диоритов в автохтонные тела (структуры пород все более приближаются к магматическим). Контакты тоналитов - пачечные, постепенные, и лишь на последнем этапе отмечаются секущие. Маломощные аллохтонные тела представлены крупно-, среднезернистыми тоналитами с гранобластной структурой и характерным зональным амфиболом с магнетитом в ядре и железистым актинолитом по краям. Известны автономные массивы диоритов и кварцевых диоритов. Судя по петрографическим соотношениям минералов, на ранних этапах становления литосферы ижнеархейского магматизма имел привитивный характер, а степень его проявления зависела от флюидной активности корово-магматической системы.

Верхнеархейские магматиты. *Вулканиты* ЗП региона (Куликова, 1983 и др.) представлены (снизу вверх): 1) толеитовые базальты с покровами массивных и мелкозернистых среднезернистых эффузивов (более 1000 м); 2) коматиты и

коматинитовые базальты с силами коматинитов и дайками габброидов; переслаивающиеся с углеродсодержащими сланцами и небольшим количеством осадков (около 600м); 3) туфы и лавы(?) риолитов и риодацитов, характерные только для Камсиноозерской структуры (500 м); 4) толеитовые базальты в виде шаровых лав (от 500 до 1500 м). В вулканитах основного и ультраосновного состава магматические минералы не установлены, но нередко наблюдается их псевдоморфное замещение с сохранением первичных структур. Существенными параметрами петрографического различия коматинитов является разное содержание нормативного Мг в разных типах вулканиитов. В Al-недецилтированных (хондритовых) оно не превышает 1-1.5%, в то время как в Al-обедненных возрастает до 3-3.5%. Нарастание вверх по разрезу общей железистости вулканиитов завершается появлением в последних пачках прослоев железистых кварцитов. Основные эффузивы характеризуются лепидогранобластовой и блестофитовой структурами. Состав: плагиоклаз, актинолит(хуммиитинит), клиноцоизит-интоцит, в основной массе - кварц, серпигит, хлорит, альбит и рудные - магнетит, гематит, мартит, халькозил, борнит, халькопирит. Нормативные минералы представлены в базальтах: An-10-31%; Ab-1-25% (в зависимости от степени изменения пород); Di-27-37%; Ol-3-15%; Hy-10-39%; Mt-5-12%; Il-1-2.5%; присутствует Or-0.3-6.0%; Q-5-25%. В верхней части разреза отмечается отсутствие нормативного Ol. Хромшпинелиды (Sp) в коматинитах составляют 0.5-0.7%, а в базальтах - 0-0.1%. Ликвидусные оливины коматинитов содержат 0.1-0.2% Al_2O_3 и липельи Ni. Оливины из зоны спинифекса более железистый ($X_{Fe}=0.91$) с примесью K, Al, Ca. Ромбические пироксены однородны по содержанию Ca и Al. В коматинитовых базальтах составы ликвидусных минералов характеризуются уменьшением магнетальности и глиноземистости, появлением пикновита. Коматинитовые вулканиитам интрузивные породы основного-ультраосновного состава в ЗП региона представлены не менее 50 интрузивами, приурочены к тектоническим долгоживущим зонам и образуют пояса или отдельные тела на пересечении магматических разломов, мощностью от нескольких сот метров и протяженностью до нескольких км. Наиболее крупные имеют северо-восточное простирание (Вожминский, Кумбуксинский, Светлоозерский, Волошовский и др.), более мелкие - субширотное и северо-западное (Лукачевский и др.). Они разделяются на три магматических комплекса: дунит-гарцбургитовый, верлит - клинопироксенит - габбровый, габбровый. Роль шпинелидов наиболее высока в дунит-гипербазитовом и уменьшается в перидотит-пироксенит-габбровом. Данные по ряду массивов (Лукачевский, Сенеозерский, Винельский, Волошовский и др.) свидетельствуют о значительном различии хромшпинелидов по соотношению Al и Ti. По В.Ф.Смолякину (1992), для верхнеархейских магматитов Кольского полуострова в аналогичных формациях выявлена эволюция составов шпинелидов: Mg-Al-хромит → Al-хромит (обогащенный Mn и Zn) → Ti-содержащий Al-хромит или Ti-магнетит. Интрузивы

габбро располагаются совместно с лавами коматинитовых и толеитовых базальтов, образуют своеобразные вулкано-плутонические комплексы, которые наиболее эффектно обнажаются в пределах Южно-Выгозерского ЗП. Они дифференцированы от меланократовых мелкозернистых до крупнозернистых лейкократовых габбро, что обусловлено сменой минеральных ассоциаций от Ol-Rx до Rx-Pl. Индикаторные минералы - Sp и Mt+Il.

Андезит-дацит-риолит-плагиогранитовая вулкано-плутоническая ассоциация прорывает все вышеперечисленные комплексы, хотя появление первого туфогейного кислого материала отмечается в середине разреза (Куликова, 1983). Массивы плагиогранитов (троицкемитов) пространственно ассоциируются с автохтонными тоналитами раннего архея и представляют собой сложные комплексы, сопровождаемые кольцевыми и радиальными дайками и жилами, которые рассекают супракрystalлы породы по периферии таких образований. Главные минералы - Q, Pl, Mt, Il. Для тоналитов характерны вариации Pl. Троицкемиты и их вулканические комагматы различаются по степени дифференцированности содержанием Q и Mt. Типоморфным минералом троицкемитов является шельит. Наиболее поздняя - многофазная ассоциация: микроклиновидные граниты, субцелочные лейкограниты и мусковит-редкометаллические пегматиты - имеет все признаки дифференциации и содержит индикаторные акцессории: Mt, тантал-ниобаты, а также резольви мусковит, мелющие состав в ряду: лейкограниты → алякситы → пегматиты (Куликова и др., 1989). На восточном берегу Онежского озера более широко проявлена 1-я фаза - микроклиновидные граниты, урезана 2-я и максимально развита 3-я - пегматитовая.

Нижнепротерозойские магматические образования. В суши (свиты Киричская и Ветреный Полюс) вулканииты ЮВ окраины БЩ представлены достаточно узким спектром базальтов коматинитовой серии: коматиниты (доли %), шасоко- (ВКБ) и низкомagneзиальные (НКБ) коматинитовые базальты, андезитбазальты, частично, андезиты и толеитовые базальты. Ассоциация андезитбазальтов и коматинитовых базальтов характерна для построек центрального типа (Лумбасручейской, Киричской и др.) и отражает степень контаминации коровым материалом первых порций лавы или поднимающегося расплава. Второй этап излияний характеризуется не менее чем трехфазной активизацией, что особенно убедительно доказывается строением г. Голец: первая фаза - коматинитовые базальты с подушечными текстурами; вторая фаза - залегающие структурно несогласно с нижележащими лавами около 10 сложнодифференцированных крупноподпадающих потоков; третья фаза - горизонтально залегающие сульфидсодержащие подушечные коматинитовые базальты с отчетливо дифференцированными массивными зонами. Коматинитовые базальты в разном объеме прослеживаются до р. Онеги в пределах протонифта Ветреный Полюс, а также в его юго-западном борту и в небольшом объеме в структурах центрального типа (Лумбасручейской, Киричской, Воюнгской, Уидошской). Характерна тонкая

расслоенность в потоках и покровах за счет ритмики светлых (более кремнистых) и темных полей, вариолитовые текстуры, пироксеновая структура спинифекс в верхних частях потоков, с мощностью прослоев 3-5 м при длине кристаллов - или 1-1,5 м. Это отличает их от архейских коматитов с оливиновым спинифексом, который представлен пластинами оливина (Сумозерско-Кенозерский, Сегозерско-Ведлозерский, Гимольско-Костомукшеский ЗП) (Куликов, Калинин, 1971; Коматиты..., 1988 и др.). На северном берегу оз. Вонога (Арх. обл.) встречен покров Калья мощностью более 100 м среди лавовых маломощных потоков коматитовых базальтов с подушечниками, брекчиевыми и спинифекс текстурами и сравнимый по своему строению и составу с покровом Фред, описанным в Канаде (Куликов, Куликова, 1982). Главные минералы в коматитах: зональный оливин (30-55%), клинопироксен (авгит) (20%), пикролит, акцессорный - хромшпинелид. Матрица составляет не менее 50%. В ВКБ - структуры спинифекс оливинового и оливин-пироксенового типа. Главные породообразующие минералы: оливин (три генерации), клинопироксен, реже плагиоклаз. Мезостазис - около 10%. Интрузивный магматизм этого периода представлен сивлами и дайками, непосредственно связанными с эффузивами, расположенными в приповерхностных зонах и имеющими признаки дифференциации и расслоенности (Коба, Гольцовская, Муройгорская, Щучинская, 1-е Устье, Колозерская и др.). Мелкие интрузии в осевой части рифта представлены перциолит - верлит - габбро - габбро-пегматитами. Дифференцированность подчеркивается приуроченностью в перциолитах оливина и ортопироксена к подошве тел, а клинопироксена и плагиоклаза (лабордор-битовинит) к кровле. В верлитах оливин образует две генерации, железистость которого занимает промежуточное положение между архейскими и более молодыми протерозойскими верлитами. Габбро сложены с/з полосчатыми породами с порфировой структурой, а габбро-пегматиты и гранофиры являются крайними членами дифференциального ряда. В гранофирах - голубой кварц, апатит, турмалин. Автономные интрузии (Бураковская, Кийостровская, Дедовская, Ундозерская, Сезская и др.) по своему строению, текстурам, структурам и характеру расслоенности являются примерами более низких уровней камер и имеют существенные различия, обусловленные составом их материнского расплава, тектонической и временной позициями. Крупнейшая в России Бураковская интрузия, состоит из 3 блоков общей площадью около 630 кв.км и мощностью от 5-7 до 10 км (Шарков и др., 1995 и др.). В разрезе выделяются (Лавров, 1994): дуниты (3 км), перидотиты (400 м), два ритма перциолит-верлит-пироксенит-габбро-норит-апортозитов (400 м) (переходная зона); габбро-нориты (1900м); магнетитовые габбро-диориты (600 м). Минералогическая смена пород представлена в последовательности смен кумулятов (Шарков и др., 1995): $O1 + Chr \rightarrow O1 + Orx \pm Crx + Chr \rightarrow Orx \pm Crx \pm Chr \rightarrow Orx + Crx + Pl \pm O1 \rightarrow Plg \pm Plg - Aug \pm Pl \rightarrow Plg + Plg - Aug + Pl + TiMt$. Установлены удлинённые зерна оли-

вина (до 15 мм) бипирамидальной формы, которые исследователи связывают с кристаллизацией на гранях ойкокристаллов в интрузивах. Смена минеральных ассоциаций отражает дифференциацию первичного расплава в процессе становления массива по петрогенетической сериальности на: коматитовый, толентитовый (с появлением инвертированного Pig) и феррощелочной (с появлением $TiMt$), что отличает их от верхнеархейских: толентитовая \rightarrow коматитовая \rightarrow бонинитовая и т.д. до щелочной. Кийостровская интрузия выявлена в 1988-89 гг. на о-вах Пурлуда, Шоглы, Кий, образующих единый массив на площади 40x20 км (Куликов, Куликова, 1990), и по геофизическим данным прослеживается на южное побережье Онежского залива Белого моря в район поселков Тохмичи-Покровское. Интрузия имеет четырёхчленное строение: 1) самый северный о. Пурлуда сложен габбро-норитами; 2) о-ва Шоглы - габбро и амфиболитами по пироксенитам(?); 3) Кийостровский архипелаг образован комплексом пород от перидотитов до расслоенной группы и 4) лейкогаббро. Кийостровская часть интрузии с видимой мощностью не менее 300 м собрана в крутые складки с СЗ простиранием осей. В разрезе снизу вверх от о-вов Фесеровы Луды к о-вам Кий выделяются: 1) метAPERИДОТИТЫ, участками с крупными кристаллами вторичного ортопироксена (≈ 50 м); 2) горнблендиты по пироксенитам (до 10 м); 3) расслоенная серия габбро-норит-лейкогаббро (не менее 50 м); 4) габбро-амфиболиты по габбро-норитам (более 100 м); 5) расслоенная серия горнблендит-лейкогаббро (до 10 м). Кровля и подошва не обнажены. Весь комплекс метаморфизован, по СЗ зонам слабеватости проявлена амфиболитизация, развитие корунда ($2x2x0,3$ см), зеленого цоизита, голубого кванцита, прорастающего корунд, по тектоническим зонам - дайки гранатовых габбро мощностью от см до 5-10 м.

В интрузиях, расположенных непосредственно в рифте (Ундозерская, Сезская, Колозерская, Каменногорская, Гольцовская и др.), дифференциация до апортозитов и диоритов не доходит, и здесь имеет место только перидотит-габбро-норитовый комплекс, в котором проявлены гранофиры.

Петрографические характеристики интрузий позволяют наметить некоторые закономерности: а) в составе большинства малых интрузий в качестве наиболее ультраосновных дифференциатов присутствуют перциолиты и верлиты, а дуниты и гарцбургиты характерны для крупных и средних; б) габброиновые дифференциаты составляют до 50% объема каждого массива; в) во всех интрузиях, кроме типа Мельничной, появляются горизонты габбро-норитов с инвертированным пикролитом между зонами пироксенитов и габбро, характеризующий критическое состояние расплава на уровне ликвидационных процессов и установленный также в части покровов коматитовых базальтов в главной зоне рифта; г) магнетитосодержащие габбро-нориты (толентитовая серия) установлены в разрезе всегда после горизонта с инвертированным пикролитом.

На крайнем западе ландшафтного региона в районе Красной Речки (Центральная Карелия) к сумийскому (сумий-сарнишский) возрасту традиционно относятся толеитовые лавы, залегающие на гранито-гнейсовом фундаменте. Они существенно отличаются от вышеуказанных по составу и текстуре (мицдалекаменные, вариолитовые, подущесные и др.), что может быть объяснено образованием их из более глубинного и сильнее контаминированного толеитового расплава. Более поздние *стундский* вулканисты, залегающие на них через толщу конгломератов, имеют близкие характеристики и могут рассматриваться либо как последующие дифференциаты исходного для сумийских лав расплава, либо выделка более глубинного очага. Они имеют локальное развитие и сосредоточены в основном в Онежской структуре, тесно ассоциируясь с силлами и дайками. По данным А.И. Голубева и А.П. Свстова (1983) выделяется три фазы вулканизма (1-я - пироксен-плагноклазовые, 2-я - пироксеновые, альбит-пироксеновые, 3-я - плагноклаз-пироксеновые, плагноклазовые габбро, габбро-долериты и базальты). Породы газонасыщенные и отличаются обильным развитием мицдалекаменных и вариолитовых текстур, присутствием более вязких канатных лав. Существенное значение имеет плагноклаз на фоне пиконит-авгитовой ассоциации и отсутствие оливина. Силлы и дайки в разной степени раскристаллизованы. *Людиковские* вулканисты газонасыщенные мицдалекаменные, массивные, подущесные толеитовые базальты и андезитбазальты. Характерна смесь карбонатного углерода восстановленным в виде шугитового вещества, развитого в зонах контактов силлов габбро и вмещающих пород, образующего зоны прорыва в вулканистах (район дер. Лебяжны на западном берегу Повенского залива Онежского озера), либо насыщающего эффузивы и осадки. Вулканисты слабо метаморфизованы (суйсарская свита) и представлены стекловатой основной массой и порфиристыми выделениями пироксена и плагноклаза, псевдоморфозами по оливину. В верхах пачек вулканистов появляются плагнобазальты или плагноандезитбазальты. *Интрузивный* магматизм представлен пластовыми телами (силлами или дайками) основного состава. Ультраосновные интрузии мощностью до 200 м и более контролируют западный борт Онежской структуры. Характерно асимметричное строение, зоны закалки. Наиболее изучен Хончезерский силл (Пухтель и др., 1995), согласно залегающий среди вулканистов неясного возраста, условно относимых к онежской свите.

Малые тела основного состава (*дайковые комплексы*) имеют четкое различие по своему вещественному составу. Автором проанализированы дайковые комплексы региона и с учетом данных по Северной Карелии (Степанов, 1981) выделено шесть групп (Куликова и др., 1989). Первая, комагматичная коматитовым магматитам хондритового типа, представлена ортопироксеновыми порфиритами Лебяжнинского, Лещевского и Золотопорожского участков Камешноозерской структуры. Вторая группа по химическому составу соответ-

ствует барбертонским коматитовым базальтам и представлена плагнопироксеновыми порфиритами на Вожминском участке Камешноозерской структуры в пределах рудного узла, приуроченного к сложному пересечению интрузий ультрамафитов барбертонского типа и даск основного состава, которые, по мнению ряда авторов, являются одной из фаз ультраосновного магматизма. Пироксен-плагноклазовые порфириты, долериты и ферродолериты наиболее часто встречаются на Вожминском участке. Минеральный состав: 1) в пироксен-плагноклазовых порфиритах - андезит и лабрадор (35%) (от N48 на краях зерна до N60 в центре); 2) в дайках долеритов-плагноклаз, авгит, оливин, рудные (магнетит, сульфиды), в центральных частях - кварц и граптофировые структуры; 3) в ферродолеритах - зональный плагноклаз (55-70% An), авгит, иногда пирперстен, ильменит, титаномagnetит (3-50%), сульфиды.

Другие *магматические породы пеленого генезиса* представлены кимберлитами в центре Маленгского блока. По своим петрографическим характеристикам они не сопоставимы с кимберлитами Якутии, а индикаторным минералом является флогопит. Близкие породы выявлены работами Карельской поисковой экспедиции в Рикашанской структуре, где индикаторным минералом является муассонит (Куликова и др., 1992).

Выводы. Петрография магматитов каждого тектоно-магматического цикла отражает в минеральном составе особенности расплавов и их эволюцию: в период формирования этажа, комплекса - внутри этажа, петрогенетической серии - в комплексе, пачек тел разных фаций - в соответствующей петрогенетической серии, тела - в пачке, минеральных ассоциаций - внутри тела, минералов - в ассоциациях. По минеральным ассоциациям устанавливается: 1) изменение состава расплава от наиболее магнетиального в верхнем архее к наиболее железистому в нижнем протерозое (и тем более в верхнем протерозое), что отражено в эволюции ассоциаций минералов в основных-ультраосновных породах со сменой их сериальности от коматитовой к толеитовой; 2) в пределах одного тектоно-магматического цикла в этих же комплексах пород отмечается увеличение содержания титано-железистых минералов в разрезах снизу вверх или уменьшение составов одноименных минералов с увеличением железистости и уменьшением магнетиальности (оливинов, пироксенов, хромшпинелиды) вплоть до структур распада (нижесин пиконита и др.), которые означают новое качество расплава; 3) минеральные составы магматитов каждого тектоно-магматического цикла имеют индивидуальные черты, характерные для данного периода (коматитовые - в долине (AR₂); коматитовые с признаками контаминации их более ранним коровым кислым материалом - в долине (или бонвинитовые в Беломорье) - в сумий-сарниш (PR₁); толеитовые - в долине (PR₂), имеющие специфические минеральные составы из амфиболов и плагноклазов, что требует особого подхода к анализу этих комплексов, т.к. отнесение амфибола к первично-магматическому предполагает наличие и рас-

плаве воды; толстовые со значительным объемом пикритов и газовой составляющей до образования углеродистых базальтов в долинковии (PR₁); щелочные - в вепсизе (PR₂); 4) эволюция акцессорных минералов от древних к молодым; 5) идентичность смены минеральных ассоциаций в средних и кислых магматических породах в виде появления определенных индикаторных минералов в ряду диоритов-тоналитов, тоналитов-троицситов-риодацитов-рислитов, многофазных гранитов (в редкоземельных пегматитах - монацит, ортит; в мусковит-редкометаллических - тапалит-колумбит и др.). Минеральные ассоциации молодых комплексов отражают повышение более глубоких пород.

Второе значимое положение

Особенности первичного состава метаморфизованных магматитов раннего докембрия устанавливаются на основании соотношения химических элементов Al, Ti и Mg, которые характеризуют некоторое дискретное состояние материнского для каждой породы магматического расплава. Устойчивое положение отношения Al_2O_3/TiO_2 рассматривается в качестве алюмоитанового модуля (АТМ) для различных магматических пород БШ, который разделяет их на близкие петрохимические и петрогенетические ассоциации, корректно соотносящиеся с мировыми петрохимическими сериями - толстовой, известково-щелочной и щелочной на диаграмме $lg(Al_2O_3/TiO_2) - lg MgO$ (мас. %, безв. ост.).

Петрохимия докембрийских магматических пород, многократно метаморфизованных, является основой их исследования. Химический состав магматитов рассматривается как "естественная ассоциация химических элементов, возникшая в результате специфических миграционных свойств элементов в условиях магматического процесса" (Стефанова, 1980). Для метаморфитов, образующихся по магматическим породам, даже в условиях изохимизма, целесообразно использовать при анализе составов также химические элементы, как: Al, Ti и Mg (Куликов, 1988; Куликова, 1993 и др.). В основу идентификации, классификации и системного анализа магматитов региона был положен химический состав (9-й принцип Ле-ба - Штрекайзена (1991) с использованием серии диаграмм: $MgO-TiO_2$, $Al_2O_3-10xTiO_2-MgO$, Al_2O_3/TiO_2-MgO , поскольку диаграмма TAS малоприспособна для анализа магматических комплексов коматинитовой серии, а диаграммы F-SiO₂ и A-S имеют ограниченные возможности для изучения кислых пород. Содержания оксидов этих элементов пересчитаны на безводный остаток для приближения состава горной породы к первоначальному магматическому расплаву (Коматиниты и др., 1988). Впервые отношение Al_2O_3/TiO_2 проявило признаки модуля, т.к. для каждой известной петрохимической серии пород оно определяет направление тренда дифференциации и подчеркнуло несмешиваемость серий. Корректность использования этого отношения как модуля была проверена на анализе петрохимии дайковых комплексов Восточной Карелии, содержащих $MgO=9-5\%$, с учетом известных

данных по другим регионам и использованием факторного и пошагового дискриминантного анализа. Разработанная автором диаграмма $lg(Al_2O_3/TiO_2)-lg MgO$ (рис.2, 3) в логарифмических координатах позволяет графически решить проблему нелинейного распределения MgO в системе кислые-ультрасиловые породы. При таком подходе Mg оказывается равным или превосходящим Si классификационным элементом. Подтверждением этого положения служит обзор исследований, учитывающих Al, Ti и Mg как основу классификационных построений в петрохимии. Автором дается принципиальное описание предлагаемой диаграммы, исходя из принятых для данной работы определений петрохимической и петрогенетической серий. Петрохимическая серия - эволюционный ряд магматических пород, повторяющийся в пространстве и времени и определяемый исходным веществом планетарного уровня (коровым и мантийным). Петрогенетическая серия - последовательный ряд магматических пород, образовавшихся из расплава с индивидуальными чертами, обусловленными геотектонической позицией и составом исходного субстрата. Петрогенетические серии имеют региональное значение и входят в состав петрохимических. Данная диаграмма позволяет заметить следующие петрохимические серии: гипоземитная (анортзитовая, кельвинитовая), высококремнистая (бонинитовая), высокомагнезиальная (коматинитовая, хондритовая), ферроиттанитовая (толент-пикритовая), щелочная (меймечитовая-кэмберлитовая, ениситовая), известково-щелочная (гранитовая), феррощелочная (камафугитовая, лампроитовая-ферролаббро-диоритовая), ферритовая, образующие в этой последовательности Феллеровскую направленность эволюции (рис.2). Общая структура диаграммы обуславливается сравнительно автономным положением точек химических составов пород разных серий (рис.3) и контролем нормативных и модалных минеральных составов, в которых для каждой серии является свой индикаторный минерал. Внутреннее строение трендов отвечает Бюэнновской тенденции эволюции. На границах петрохимических серий и в их пределах на границах петрогенетических серий обнаруживаются минералы содержащий Si и Fe, а также T и P, CO₂ и H₂O отчетливо коррелируются с АТМ и MgO в различных сериях. Дается подробная характеристика каждой петрохимической серии, имеющей свою химическую и минеральную специфику, на примерах магматических пород Земли.

Докембрийские магматиты ЮВ окраины Балтийского щита по своим петрохимическим параметрам на основании вышеприведенных построений принадлежат бонинитовой, коматинитовой, толстовой, известково-щелочной и щелочной петрохимическим сериям.

Нижесархейские амфиболиты аглоцирировались с условно самого нижнего потока первой из 18 выделенных пачек. Выявлена химическая ритмичность в последовательности напластования потоков по содержанию $TiO_2 > 0,8\%$ и $< 0,8\%$. Каждая пачка состоит из 5-9 ритмов, начинающихся с толст-

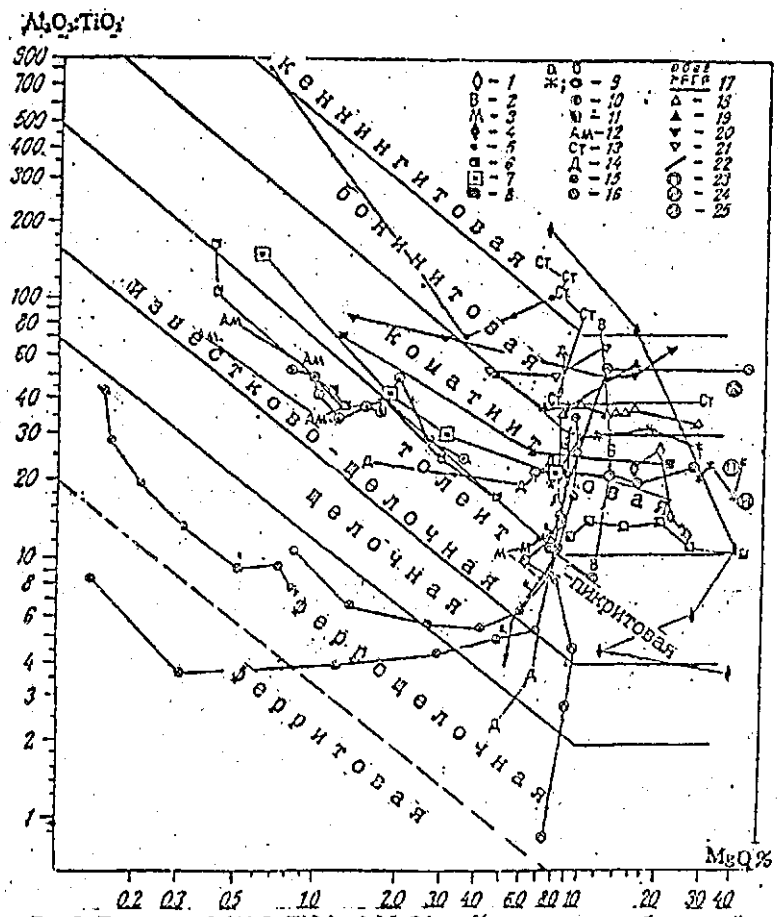


Рис.2. Диаграмма $\lg(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2) - \lg\text{MgO}$ (мас.% в пересчете на безводный остаток) для анализа эволюции составов различных комплексов магматических пород
 1 - хондриты; 2 - грунт Венеры; 3 - породы Марса; 4 - грунт Луны; 5 - комплексы Фоксашиссет; 6 - гнейсы Исуа; 7 - комплексы Явр-Сальмис Тундры; 8 - Лайрчейский комплекс перидотит-габбро-анортозитов; 9 - магматиты коматитовой серии Камешозерской структуры - а, толентовой и коматитовой воложкой синглы - б; 10 - тоналиты Водозерского блока; 11 - тренд коматитовой серии Барбертона; 12 - гнейсы Липсок; 13-16 - различные интрузии Спиллутер (11), Дурут (12), Схаргаард (13), Луккулайсваара (14); 17 - дайлы Северной и Восточной Карелии пудожгорского (щелочные)(а), кохозерского (толентовые)(б) типов, платиопроксеновых (Al-деплетированные коматитовые)(в) и шроксеновых (Al-недеплетированные коматитовые)(г) порфиритов; 18-21 - бониниты островных дуг: Тейма(18), Марианских (19,20), Бонин (21); 22 - предполагаемые границы серий; 23-25 - составы шролита (23), шроксенового (24) и гранатового (25) шролитов.

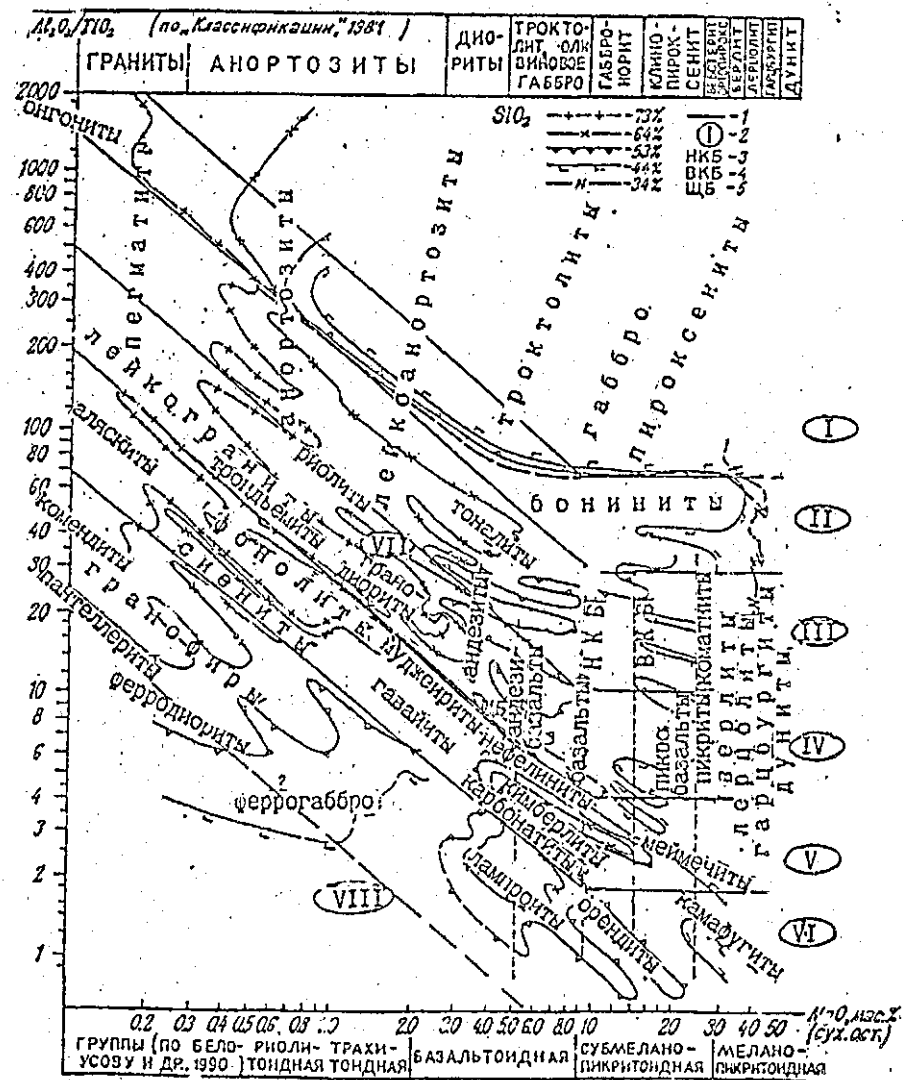


Рис.3. Диаграмма $\lg(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2) - \lg\text{MgO}$ (мас.% в пересчете на безводный остаток) для систематизации магматических горных пород
 1 - граниты серий; 2 - серия гинтоземистая (кеннингитовая) (I), высококремнистая (бонинитовая)(II), высококоматитовая (коматитовая)(III), ферропикритовая (толент-пикритовая)(IV), щелочная (меймечитовая)(V), феррощелочная (камафугитовая)(VI), известково-щелочная (VII), ферритовая-(VIII); 3 - 4 - коматитовые базальты низко-(3) и высококоматитовые (4); 5 - щелочные базальты.

товок ($\text{TiO}_2 > 1,0\%$) и завершающихся одним-двумя потоками коматитовых базальтов ($\text{TiO}_2 < 0,8\%$, $\text{MgO} = 12-20\%$). Коматиты, залегающие в основании разреза, имеют подобную ритмичность внутри даже небольших по объему пачек. TiO_2 нарастает вверх по разрезу до 1,5% в самых верхних потоках. Содержание MgO изменяется в каждом следующем потоке в выделенных ритмах на 6-10%. По FeO^*/MgO выделяется две группы вулканитов: первая - толеитовые базальты со значениями 1,1-1,8 (среднее 1,5); вторая - коматитовые базальты и коматиты - 0,1-0,6 (среднее 0,4). При вариациях Al_2O_3 содержание $\text{CaO} = 12\%$ стабильно, (пределы 8-14%). Отношение в них $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в среднем 0,75 ($\text{MgO} = 9\%$); 0,9 (14%); 1,2 (17%); 0,8 (24%). На диаграмме АГМ (Irwin, Вагагер, 1971) амфиболиты образуют непрерывающиеся поля толеитовой (вдоль пехонитового тренда), коматитовой (продолжение тренда гиперстеновой серии) и бошнитовой (в поле ИЦС) серий. При среднем $V/\text{Ti} = 20$ отмечается ритмическое смещение данного отношения снизу вверх по разрезу от 30 до 15, что на диаграмме $V\text{-Ti}:1000$ соответствует изменению составов вулканитов от океанических островов к базальтам островных дуг. По IgCo-IgNi они образуют единый тренд. Наиболее высокие концентрации Ba отмечаются в основании разреза (240-320 г/т), а по содержанию Sr на диаграмме Rb-Sr выделяется два поля, граница между которыми проходит по условной линии, соответствующей значению принимаемой и теоретически определенной мощности коры в 20 км. Располагающиеся вблизи трондьемитовых массивов амфиболиты содержат Sr более 200г/т и Rb-30-70г/т, т.е. вероятна контаминация или гранитизация (Куликова, 1993). Выявлена петрохимическая ассоциативность магматитов основного-ультраосновного состава с тоналитами и трондьемитами. Нестабильная область составов расплавов, в которой происходит отделение кислой составляющей отвечает в среднем $\text{MgO} = 5\%$, $\text{ATM} = 30$. В природе тоналиты имеют более сложный состав вследствие неоднородности материнского субстрата. В междуречье Червы-Винелы средние составы тоналитов отличаются от аналогичных в среднем течении р. Водны и еще более от тоналитов Шальской структуры, располагающихся в центральной части Воднозерского блока и наиболее подверженных позднему метаморфизму (соответственно, в %): SiO_2 -65;66;68; TiO_2 -0,6;0,4;0,35; Al_2O_3 -18; 17;16; FeO -5,0; 4,0;3,0; MgO -2,0;2,5;1,6; CaO -5,0;5,0;4,3; Na_2O -4,7;4,3;4,6; K_2O -1,3;1,2;0,9, но по АТМ они практически идентичны. $\text{TiO}_2, \text{FeO}, \text{MnO}, \text{MgO}, \text{CaO}, \text{P}_2\text{O}_5, \text{V}$ находятся в обратной зависимости от SiO_2 и в прямой - от $\text{Zr}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}, \text{Rb}, \text{Sr}, \text{Ba}$ зависят в основном от таких факторов как изменение состава флюидов (углекислых, фторсодержащих и др.) или поздней гранитизация. Rb остается в пределах 30-100 г/т, а калий-рубинное отношение - 100-300. Содержания Rb и Sr в тоналитах соответствуют их содержаниям в древнейших олигоклазовых гранитах Центральной Карелии. По АТМ выделенные комплексы тоналитов, трондьемитов и гранитов соответствует известково-щелочной серии, а их тренд

ды параллельны друг другу со смещением в сторону общего уменьшения АТМ и увеличения щелочности. Тренд тоналитов постепенно переходит в тренд коматитовый с хондритовым отношением АТМ, что позволяет предполагать образование массивов тоналитов при гранитизации коматитовых базальтов.

Верхнесархейские магматиты. *Основные и ультраосновные породы.* В отличие от микроритмичности нижнесархейских пачек вулканитов, выделенные толщи внутри вожжичской серии различаются петрохимической серийностью магматитов: кочемгинская - преимущественно толеитовые базальты, кумбуксинская (сазгинская) - коматитовые; каменноозерская - коматитовые, толеитовые базальты и кислые туфы риолитов-дацитов (известково-щелочная); вожмоозерская - толеитовые базальты (Куликова и др., 1989б), что свидетельствует об изменении общей энергоемкости системы в сторону значительного ее уменьшения. Внутренняя дифференцированность каждой толщи сохраняется на основании тех же принципов автоколебательности процесса, что и в раннем архее, но в большем масштабе. Впервые установленные автором коматиты верхнесархейского возраста на ЮВ окраине БЩ делится на два типа. Коматиты и коматитовые базальты центральной части Сумозерско-Кенозерского ЗП (Каменноозерская структура) соответствуют углекислым хондритам ($\text{ATM} = 20$) или Al-недефлетированным (примитивным), а на на СЗ и ЮВ окончании (Шинтосская и Тохашинская структуры) - барбертоновским ($\text{ATM} = 11$), Al-обедненным (Куликова, 1983), что свидетельствует о продвинутой дифференциации магматического вещества или его метасоматозе с запада на восток. Интрузивные породы основного-ультраосновного состава, представленные антигоритовыми серпентинитами и ассоциирующимися с ними габбро, по АТМ расчленяются на слои и горизонты, образующие в совокупности комплекс дифференциаты. Внутри массивов выделяется несколько ритмов, меняющих состав от перидотитов барбертоновского типа до субщелочных пикритов, а в каждом отмечается один-два горизонта с $\text{ATM} > 30$, т.е. более кислых по составу, что позволяет предположить продвинутость дифференциации расплава или появление продукта контаминации расплава коровым материалом. *Магматиты среднего-кислого состава* пространственно и генетически ассоциируются с вулканитами основного-ультраосновного состава толеитовой и коматитовой серий, что подтверждается некоторыми петрохимическими построениями. При анализе дайковых комплексов на диаграмме $\text{Ig}(\text{Al}_2\text{O}_3:\text{TiO}_2) - \text{IgMgO}$ тренд платиопорфиритовых (диоритовых) даек начинается от точки с координатами $\text{MgO} = 5\%$ и $\text{ATM} = 10$, в то время как тренд платиогранитов (трондьемитов) и кислых даек (от адезитов до риолитов) ведет свое начало от $\text{MgO} = 5\%$ и $\text{ATM} = 20$, тоналитов - $\text{MgO} = 5\%$, $\text{ATM} = 30$. Трондьемитовый тренд характеризуется смещением платиогранитов относительно менее дифференцированных кислых даек в сторону гранитного тренда. На диаграмме АГМ анализы тоналитов образуют прерывистые тренды, располагающиеся в поле

известково-щелочной серии, тяготеющие больше к тренду пироксеновой. По соотношению нормативных полевых шпатов на диаграмме Ab-An-Ort (Streckeisen, 1976) преобладающая часть тоналитов соответствует океаническим платиогранитам и небольшой объем - тоналитам и гранодиоритам. Океанические платиограниты и тоналиты имеют весьма условную линию раздела, чаще наблюдаются постепенные переходы в вулканисты толентовой серии. В отличие от тоналитов трондземиты по своим петрохимическим данным характеризуются стабильностью в пределах блока и в ЗП (Земная кора..., 1983; Куликова, 1983; Костин, 1989; Куликова, 1993). Они относятся к семейству низкощелочных гранитов с резким преобладанием натрия над калием. На диаграмме Ab-An-Ort (Streckeisen, 1976) для субвулканических риолитов, риодацитов и гранитов общим является поле с содержанием нормативного шортита 10%, ортоклаз-альбит - 30%, кварца - 60%. Глиноземистость гранитов - $al=4,5$. Вариабельны их петрохимические характеристики коррелируются с составами вмещающих пород. Трондземиты, залегающие среди метабазитов, имеют более высокое содержание оксидов титана, алюминия, общего железа, магния, кальция, фосфора и более низкое - щелочей по сравнению с аналогичными породами, текущими диорит-тоналитовые гнейсы. Незмененные платиограниты имеют среднее содержание Rb - 80 г/т, отношение K/Rb - 220, дациты соответственно - 49 и 190, риолиты - 41 и 280. Повышенные содержания свинца - 22 г/т, цинка - 1,5%, олова - до 22 г/т, молибдена - 7-22 г/т обусловлены поздними процессами. По соотношениям K/Sr, Rb/Sr, K/Rb (Костин, 1989) платиограниты близки среднему типу гранитов андезитового ряда Л.В.Таусона (1977), в которых ведущая роль принадлежит H_2O , Cl, CO_2 . Отмечается определенная закономерность в ряду тоналиты - платиограниты - лейкограниты - аляскинты-пегматиты по CaO, Na_2O , K_2O , Rb_2O (Сафронова, Куликова, 1982). Содержание (г/т) в лейкогранитах, аляскинтах и пегматитах составляет, соответственно, свинца 32-100-22, цинка-38-49-28, олова-46-100-46. Ниобий встречен в отдельных пробах лейкогранитов и во всех пробах аляскинтов и пегматитов.

Нижнепротерозойские магматиты. Петрохимические характеристики раннепротерозойских комплексов обусловлены их происхождением в условиях сформировавшейся мощной кислой коры, о чем свидетельствует слоистость в магматических образованиях любой серии при обилии варьолитовых текстур, появлению андезитбазальтов в разрезах или продвинутости в дифференциации материнского расплава. *Сумийские* коматитовые базальты киричской свиты (1-я фаза) (Киричская и Шардозерская структуры) имеют АТМ=20-25 при шпинелидовом контроле (в районе р.Ундочи содержание $Cr_2O_3=4-5\%$), что соответствует АТМ хондритов (С1); в Лумбасручейской структуре - АТМ=11-13. В вулканистах свиты Восточный Пояс наблюдаются колебания значений АТМ с ЮВ на СЗ. Гора Миндуха сложена коматитовыми базальтами с АТМ=15-19,5; г.Блевгора - АТМ=11,5-16; 16-20; г.Оловгора-АТМ=17-18; г.Шапоч-

ка-АТМ=20-23; г.Челбак -16; г.Голец-АТМ=11-32. Эта последовательность свидетельствует о степени дифференциации первичного расплава (Al-деплементированные базальты - 20-23; Al-деплементированные - 16-11) и степени коматинации коровым кислым веществом изливающихся лав (боинитоподобные - 30-36). В хромшпинелидах киричской свиты по сравнению со свитой Восточного Пояса выше содержание Mg и Al, а в потоках г.Голец с АТМ>30 отмечается повышенное содержание Zn. Интрузивные комплексы образуют две самостоятельные группы. 1-я представлена наиболее близкими вулканистам слоистыми интрузивами, отвечающими в общих чертах их материнскому расплаву (средний состав Бураковско-Аганозерского массива, по М.М.Лаврову (1994)(%): $SiO_2-49,96$; $TiO_2-0,47$; $Al_2O_3-12,08$; $Fe_2O_3-3,84$; $FeO-6,09$; $MnO-0,16$; $MgO-16,62$; $CaO-7,66$; $Na_2O-2,42$; $K_2O-0,32$; $P_2O_5-0,04$; $Cr_2O_3-0,099$; $V_2O_5-0,033$; $CoO-0,014$; $NiO-0,128$; $CuO-0,03$; S-0.05). 2-я является респитовой частью коматитового расплава и сопряжена с лавовыми полями. Коматитовый магматизм этого периода несет следы завершенности, хондритовые отношения CaO/Al_2O_3 , Al_2O_3/TiO_2 , Ti/Zr , сменяются на характерные для деплементированных расплавов, т.е. с повышенной железистостью и титанистостью. В гидротермальной деятельности главную роль играли флюиды водного состава. *Ятулийский* толентовый магматизм характеризуется увеличением содержания титана (до 1,5%) и железа от ранних фаз (Кожозерская и другие структуры Восточного Пояса, Милгорская, Нажская и другие Прионезья) к поздним (Пудожорская и другие). АТМ последовательно уменьшается по мере накопления железа и щелочей в расплаве от 8-10 до 4-3. Индикаторным элементом магматических пород этого времени является Cu. Карбонатное углеорообразование в связи с магматической деятельностью отмечается повсеместно. Эти же тенденции сохраняются для вулканистов *злонезской* (1-я фаза) и *суйсурской* (2-я фаза) свит в *толентовское* время (Пухтель и др., 1995), но с несопоставленным углеродом. Газонасыщенные расплавы достигают степени, когда стекло пропитано углеродом (Галдобина, 1994). Отмечается дискретность составов. Наиболее поздними дифференциатами, по мнению автора, являются свиты и дайки Пудожгорской и Гирвасской зон, химизм которых свидетельствует о максимуме накопления Ti, Fe и щелочей. Дальнейшее развитие магматизма проявлено в образовании субщелочных магматитов *ленин*. Выделяется 2 группы: 1-я по АТМ попадает в поле составов COX , а 2-я - в поле кимберлитов натриевой специализации. Обе группы имеют финнеровский тренд эволюции.

Последовательность петрохимической эволюции магматитов раннего протерозоя подчеркивается химизмом *дрезинских комплексов* региона. Выделено 6 типов даек, каждый из которых ограничен дискретным полем на базовых диаграммах $Al_2O_3-10xTiO_2-MgO$ и АТМ-MgO при контроле пошагового дискриминантного анализа (Куликова и др., 1989а). За счет изменения значений АТМ они образуют тренд в последовательности от более к менее магни-

альцам (10% - 4% MgO) (рис.2А): пироксеновые порфириды (24) - плагионо-роксеновые порфириды (17) - пироксен-плагиоклазовые порфириды (11)-доле-риды (7) - ферродолириды (4). Шестой тип даек, представленный андезитами, содержит 3-5% MgO и имеет АТМ=13. Общий тренд даек совпадает с глав-ным трендом дифференциации Скергаардского плутона (Феннеровский тип дифференциации): габбро - габбро-норит - обогащенное титаномагнетитом габбро, а диоритовые дайки образуют тренд, соответствующий тренду плагио-гранит-гранофиروز (Боуэновский тип дифференциации) этого интрузива (Зло-бин, Закариндзе 1985, 1993).

Рифейские магматиты изучены недостаточно и известны по ЮЗ борту рифта Ветреный Поле (оз. Левушка, оз. Рикша), а также в Онежской структу-ре. По АТМ они могут рассматриваться как щелочные пикриты, входящие в состав щелочной (меймечит-кэмберлит-сиениитовой) серии.

РЗЭ магматитов раннего докембрия. Нормированные относительно при-митивной маптин (Pukhlov et al., 1993) РЗЭ пудожарской магматитов имеют устойчивые значения содержания в коматитовых верхней части потоков и обед-нены легкими РЗЭ в массивной. В то же время в коматитовых и толеитовых базальтах отмечается обогащенность РЗЭ. Коматиты содержат РЗЭ почти в 3 раза меньше, чем базальты, что обуславливается их природой и, возможно, степенью гранитизации последних. Верхнеархейские магматиты имеют вну-тренние разграничения по содержанию редких элементов. По сравнению с ни-жеархейскими коматитами они обеднены РЗЭ, что, возможно, свидетель-ствует об определенной истощенности маптинного расплава (Rhabehikov et al., 1988). Нижнепротерозойские коматитовые базальты свиты Ветреный Поле из разных частей одноименного рифта отличаются обогащенностью РЗЭ по сравнению с архейскими, чему способствует контаминация расплава коровым матералом. На порядок выше содержание РЗЭ в толеит-пикритовых магмах суйсарской свиты в Онежской структуре (Пухтель и др., 1995), связанное, ве-роятно, с плавлением нестощенной зоны мантии или регита наиболее дре-внего дифференцированного субстрата, или же с контаминацией поднимающе-гося расплава матералом кислой коры, о чем свидетельствуют ксеногенные цирконы с возрастом 2,7 Ga. По соотношению редких элементов магматиты коматитовой серии лопийского и сумийского возраста подразделяются на три группы: примитивные, обедненные некогерентными элементами (легкие РЗЭ и Zr) и обогащенные ими (Гирнис и др. 1987).

Выводы.

1) При анализе петрохимических данных максимально полно опробован-ных магматических комплексов выявлено 1) микро-, 2) мезо-, 3) макро- и 4) мегарипитичность химических составов магматитов: 1) шутри потоков, покро-вов, интрузий, силлов и даек пород любой основности; 2) в толще; 3) в свите и серии; 4) в комплексах различных серий, контролируемая Al, Ti, Mg и, в

меньшей степени, K₂O, V, Co, Sr при плавном повышении FeO и изменении форм углерода.

II. Химизм магматитов основного-ультраосновного состава находится в закономерной и последовательной связи от древних к молодым и контроли-руются MgO и АТМ, значения которых в системах разного масштаба характе-ризуют степень дифференциации вещества.

III. В саамское время формировались магматические комплексы толеит-пикритовой и коматитовой серий; в лопийское - боинитовой, коматито-вой, толеит-пикритовой и известково-щелочной; в карельское - коматито-вой, толеит-пикритовой, щелочной и, ограниченно, щелочно-ультраосновной при углистой известково-щелочной. Первичными магмами явились хондри-товая (коматитовая) и пикритовая, в меньшей степени - боинитовая. Хи-мизм средних и кислых пород свидетельствует об их вторичном происхожде-нии за счет эволюции коматитового и толеитового расплава.

IV. Отмечается устойчивое накопление железа, которое характеризует уро-вень дифференцированности магматического вещества от подиархейского к карельскому времени. Наиболее молодые вепейские толеит-пикритовые маг-матиты обогащены железом и редкими элементами.

V. Характер распределения РЗЭ указывает на существенное влияние ко-ровой составляющей на состав магматитов раннего протерозоя.

Третье зашифрованное положение

Раннедокембрийские магматиты ЮВ БЩ образуют закономерную прост-ранственно-временную последовательность со сменой качественного состава вещества и изменения его объемов (от коматитового и толеитового в раннем архее к известково-щелочному в позднем архее до щелочно-ультраосновного в позднем протерозое), обусловленную спецификой развития раннедокембрий-ских литосферы и астеносферы. Соответствующая эволюция устанавливается и в металлогении магматических комплексов, для которых в архее типичными являются рудопроявления и месторождения Cr, Ni, Au, W, Nb, Ta, а в раннем протерозое - Cr, ЭПГ, Au, Cu, V, U, Ti, Mo, Sn и др.

Временной интервал формирования магматических комплексов ЮВ ок-райны БЩ 3.4-1.65 Ga отражает наиболее раннюю доступную для изучения часть истории планеты и предполагает как традиционные, так и нетрадицион-ные формы исследования. К последним относятся: 1) оценка РТ-условий фор-мирования магматических комплексов; 2) палеорекострукция частных, реги-ональных и межконтинентальных структур, контролирующих образование магматитов всего спектра составов в виде циклов различной сложности, но с общим стремлением к усложнению магматических комплексов и завершению-сти дифференциации; 3) создание временной и пространственной модели, ко-торая не противоречила бы геологическим данным; 4) выявление закономер-

ностей образования концентраций рудных и нерудных элементов как результирующего события всего спектра процессов.

1. Изучение метаморфически измененных пород широкого спектра составов в раннем докембрии на определенном уровне знаний допускает использование упрощенных термодинамических моделей формирования расплавов и их эволюции. В частности, АТМ предполагает наличие расплава в виде идеального раствора. Исследования А.В.Гирниса с коллегами (1987) на материалах ЮВ окраины БШ позволили этим авторам не только оценить РТ-условия образования коматинитовых расплавов различной магнезиальности и возраста, но также прийти к выводу об инертности главных петрогенных элементов в процессе метаморфизма. Созданный автором банк оригинальных химических анализов и литературные данные по экспериментальным исследованиям различных по составу пород Мира, в том числе по изучению газовой-жидкой включенности (Jagues, Green, 1980; Takahashi, Kushiro, 1983; Takahashi, Scarfe, 1985; Fallon, Green, 1987; Fallon et al., 1988 и др.), позволили использовать диаграммы $Al_2O_3 - TiO_2 \times 10 - MgO$ и $lgATM - lgMgO$ наряду с $OI - Di - Q$ и $Q - OI - Id + Ts$ для определения РТ-условий образования (ликвидус-солидусной области кристаллизации) магматических пород. На основании полученных построений температура образования (кристаллизации) единственной известной раннесарксийской Лайручейской интрузии составила 1400-1250°C. Верхнесарксийские коматиниты, коматинитовые базальты кумбукенинской толщи Каменноозерской структуры, составы Винельской, Черевской и Разостровской интрузий кристаллизовались в интервале температур 1650°C-1350°C и давления 30 кб в сухих условиях при степени плавления прамитивной магмы от 44% до 18%. Коматинитовый расплав в AR_1 с $MgO=30\%$ образуется в результате плавления прамитивной (хондритовой) магмы при $P=30$ кб и $T=1750-1650^\circ C$ ($P=36-47$ кб; $T=1750-1780^\circ C$ по Э.С.Куликову, 1990); ВКБ - 1350-1300°C, 20-15 кб; НКБ - 1300-1250°C, 10-5 кб. Вулканииты толетитовой серии кристаллизовались в области температур 1170-1310°C при $P=10-18$ кб. Кислые магматические породы рассматриваются как продукты метасоматоза древнейших базальтов и последующего анатексиса и находятся в области давлений 10-2 кб и температур 1050-550°C. Коматиниты AR_2 на ликвидусе имеют температуру 1775°C и $P=30$ кб. Области генерации коматинитовых магм характеризуются содержанием $H_2O=0.2\%$ и $lg f_{O_2}=-7.2$. Интрузии занимают интервал температур 1650-1350°C и давления 30-10 кб. Следуя экспериментальным данным, формирование расплавов происходило в сухих условиях при степени плавления исходного субстрата 44-18%. В PR_1 отмечается снижение значений параметров РТ-условий формирования коматинитовых базальтов (сумит: $T=1400-1375^\circ C$, $P=10-12$ кб). Людиковский характеризуется толетит-пикритовым магматизмом с $T=1600^\circ C$, $P=25-10$ кб (рис.4)

РТ-параметры кристаллизации щелочных пород региона могут условно оцениваться по диаграмме Д.Х.Грина (Грин, 1973) наравне с толетитовыми ба-

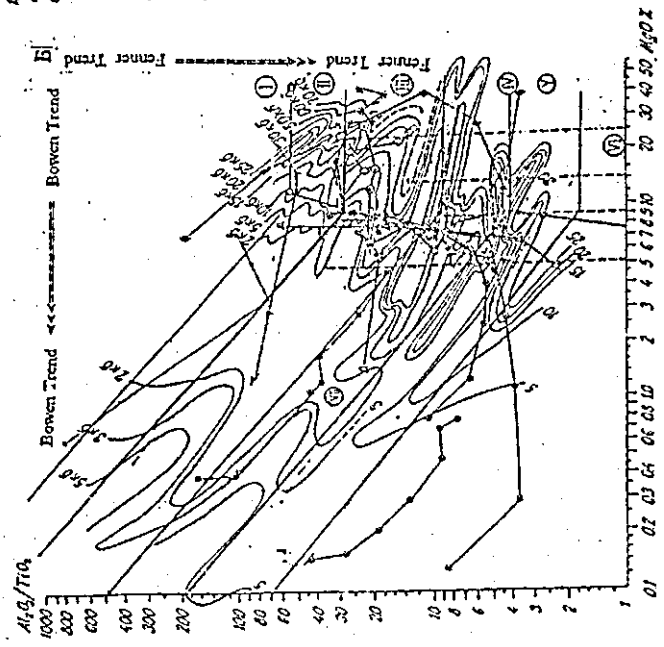
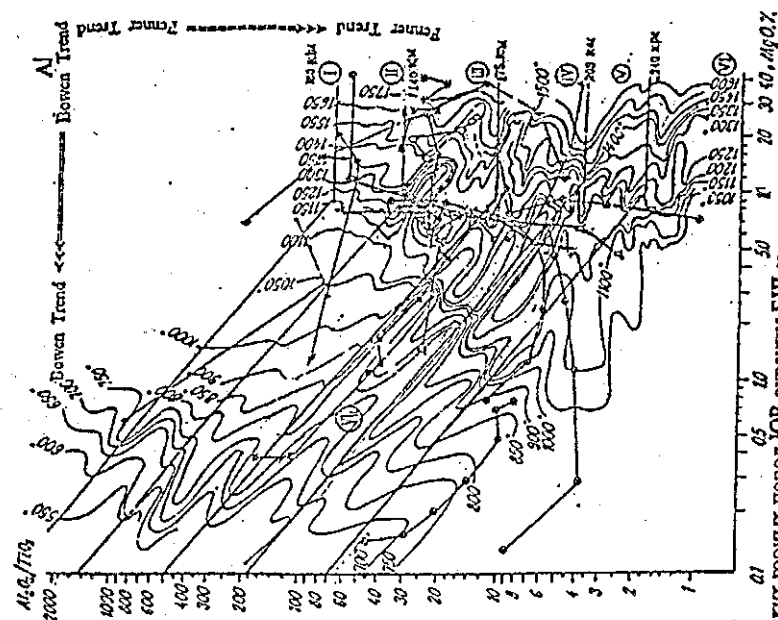


рис. 4. РТ-условия образования магматических горных пород ЮВ окраины БШ и других на диаграмме $lgATM - lgMgO$ (мас. % в пересчете на безводный остаток). А. Изотермы на экспериментальных данных (Fallon, 1987 и др.). Б. Изотермы на экспериментальных данных (Fallon, 1987 и др.). Условные обозначения см. на рис. 2.

зальтами. Автором проведены исследования по сравнению петрохимических особенностей докембрийских магматитов региона с глубинными ксенолитами из кимберлитов и лампронтов Якутии (трубки Удачная и Обнаженная), районов Зимнего Берега и Золотицы (Архангельская область): 1) установлена идентичность химических составов магматитов коматинитовой серии региона и ксенолитов из алмазоносных трубок Зимнего Берега и Золотицы; 2) на диаграмме $Ig\text{ ATM} - Ig\text{ MgO}$ линии раздела выделенных серий находятся в зонах бифуркации (разрывов) составов, которые по экспериментальным и расчетным параметрам соответствуют глубинам: а) 140 км - боинитовая и коматинитовая; б) 175-180 км - коматинитовая и пикрит-толеитовая; в) 205-210 км - пикрит-толеитовая и щелочная. К этим же зонам приурочены области инвертированных пикритов (граница коматинитовой и толеитовой серий) и воластонитов (граница щелочной и феррощелочной серий). Предполагается, что на ранних этапах развития планеты в интервале 50-80 км существовал некоторый респит апертозитовой коры, аналогичный офиолитам. В интервале 80-140 км возможно присутствовало боинитовое обогащенное H_2O вещество, ультраосновным респитом которого были шпинель-гранатовые лерцолиты и гарцбургиты, явившиеся исходным расплавом для низзарейских основных-ультраосновных магматитов. Хондритовый слой по расчетным данным находится в интервале 140-175 км и представлен шпинель-гранатовыми, гранатовыми (зернистыми) лерцолитами и гарцбургитами, которые с глубиной становятся более железистыми, а затем сменяются пироксенитами. На глубине 175-180 км отмечен излом геотермы трубки Удачная, которая затем круто прослеживается до глубины 205 км в область распространения деформированных гранатовых лерцолитов (Кимберлиты и ..., 1994). По нашим данным, это область развития толеитовой серии (граница литосферы и астеносферы). Возможны разные варианты образования толеитовых магм: а) в центральных частях блоков (микроплит) вслед за мантийными выплесками началось плавление базальтового слоя; б) очередные флюктуации привели к дальнейшему расколу литосферы до глубины более 180 км, т.е. пикрит-толеитового слоя; в) плавление и кристаллизационная дифференциация коматинитового расплава и т.д. Сложное строение докембрийской литосферы обусловило последовательное образование магматических серий планетарного уровня в условиях циклической нестабильности планеты, а они, в свою очередь, стали производными для петрогенетических серий регионов.

2. Изотопные возрасты докембрийских магматических пород, претерпевших неоднократный метаморфизм, отражают, как правило, время их преобразования, а ошибки методов, превышающие 30-50 Ма, делают использование этих данных для временной реконструкции событий условным, т.к. последние растягиваются и требуют неопределенных допущений для геологических процессов. Нетрадиционный подход к изучению докембрийских магматических

комплексов как части открытой системы - планеты базируется на законах синергетики (Эбелинг, 1979; Хаген, 1980; Николис, Пригожин, 1990; Летников, 1993 и др.), отражающих зависимость геологической системы любого ранга от космического влияния по циклам. В качестве постулата автором принимается положение о квазиравномерном орбитальном движении Солнечной системы, в т.ч. Земли, в пределах Галактики с длительностью цикла 215 Ма (Ясаманов, 1993; Варенбаум, Ясаманов, 1995). Каждый цикл подразделяется на периоды, особенности которых предполагают целесообразность использования их в качестве временной событийной координатной сетки - галактические годы по оси ординат и периоды (85, 50, 30, 50 мил. лет) по оси абсцисс (табл.1). Достоинством такого подхода является его "революционность", т.к. галактическая временная сетка не противоречит в главных чертах Шкале геологического времени Международной подкомиссии по стратиграфии докембрия и Общей стратиграфической шкале докембрия Северной Евразии (в границах бывшего СССР), принятой на Втором Всесоюзном совещании по общим вопросам расчленения докембрия, а также другим документам (Гинструкаля..., 1995), но достаточно объективно выявляет временную магматическую активизацию. В табл.1 максимально сконцентрированы наиболее важные геологические события от образования допланетных метеоритов до настоящего времени, располагающиеся в четкой циклической последовательности: 1) активизация эндогенной деятельности в виде магматического магматизма с образованием соответствующих данному циклу планетарных структур (85 Ма); 2) метаморфизм, гранитообразование (частично, рудообразование) (50 Ма); 3) магматизм, рудообразование, осадконакопление (30 Ма); 4) осадконакопление, оледенение, проявление первых признаков оживления тектоно-магматических процессов (50 Ма). От условного рождения Земли насчитывается 22 цикла, которые рассматриваются в качестве галактических циклов (лет) или галактонов.

Магматизм ЮВ окраины БЩ на основании изотопных возрастов, полученных в процессе исследований и собранных по литературным данным, характеризуется максимальным проявлением в анологии каждого цикла:

V - (3580 - 3495 Ма) - формирование базальтов толеитовой и коматинитовой серий, коматинитов (волокнистая серия), тоналитов-I;

VI - (3365 - 3280 Ма) - внедрение пироксенит-габбро-апортозитов(?) (Лайручейский фрагмент), тоналитов -II (3200-3150 Ма);

VII - (3150 - 3065 Ма) - магматизм (вулкано-плутонические комплексы) главных ЗП (Сумозерско-Кенозерский и др. ЗП), рудообразование (Cr, Cu-Ni, Pt, Au и др.);

VIII - (2935 - 2850 Ма) - магматизм периферических структур ЗП (напр., Шыльоской и Токшунской), преобладающий интрузивный маг-

магматизм основного состава, кислые вулканно-плутонические ассоциации, рудообразование (W, Au и др.) (2900-2850 Ma), метаморфизм;

IX - (2720 - 2635 Ma) - метаморфизм, образование авто- и аллохтонных гранитоидов, лейкогранитов, пегматитов, рудообразование (Ta-Nb и др.);

X - (2505 - 2420 Ma) - коматитовый магматизм (преобладающие вулканиты ВКБ и НКБ, коматитовые им родственные диорит (апортозит)-габбро-норит-перидотитовые плутоны в зонах декомпрессии), водные флюиды, рудообразование (Cr, Pt, Au и др.);

XI - (2290 - 2205 Ma) - платформенный начальный толситовый магматизм, накопление карбонатного (магнийного?) углерода;

XII - (2075 - 1990 Ma) - толстоглициновый магматизм, флюиды CO₂, образование восстановленного углерода, рудообразование (Cu-Ni, Fe, Ti-V и др.);

XIII - (1860 - 1775 Ma) - метаморфизм, рудообразование (Au, Mo и др.).

Исследования последних лет позволяют предположить локальное развитие рифейских и палеозойских магматических процессов в Онежской структуре.

3. Традиционно магматизм в пределах БЩ рассматривается или локально в пределах отдельных структур (ЗП и др.), или в одном возрастном интервале, или одного вещественного состава. В задачи данной работы входил комплексный анализ магматизма с целью установления закономерности и последовательности образования магматических пород с привязкой к месту - структурам и времени. Основной сложностью ее решения является дискуссионность характеристик тектонических структур (ЗП, плит-блоков, палеорифтов и т.д.). Автором использован синтетический подход к анализу магмоконтролирующих структур, исходя из эволюции магнийно-корового вещества как в пределах региона, так и счита в целом на протяжении всего раннего докембрия. В результате палеорекострукции, осуществленной за счет последовательного снятия более молодых магматических комплексов и воссоединения предыдущих структур в единое целое, получена серия схем, которые дают представление о характере структурообразующих процессов, контролируемых магматизмом.

Структуры, контролирующие магматические комплексы постройки раннего архея, на ЮВ окраине БЩ не известны, и в настоящее время нет достаточного объема геологических данных, позволяющего их восстановить. Они выделяются на основании сети ЗП, окружающих некоторые площади с неопределенными структурами, но конкретными вещественными характеристиками (блоки, микроплиты, купола), представленными сложнопостроенными комплексами средне-кислых пород с многочисленными ксенолитами и остатками разного типа амфиболитов неясного возраста. Первичная кора выделенных блоков на основании многочисленных работ исследователей условно может быть разделена на 3 группы: хондритовая-коматитовая (Водлозерский блок); бошшитовая (Центрально-Карельский, Пюозерский, Терезский, Маленгский); апортозитовая (Центрально-Кольский, Мурманский). Выделение

этих групп обусловлено: 1) составом реликтов древних комплексов; 2) данными по изотопным возрастам этих пород; 3) составом более молодых, чем анализируемые магматиты интрузивных пород - производных от их респитов. Палеорекострукция структур верхнего архея построена на предположении, что ЗП ЮВ окраины БЩ представляли собой единую Фенноскандинавскую систему рифтов на гетерогенной (базит-бошшит-апортозитовой) коре или реликты базитовой коры, сохранившейся вокруг мелких блоков в условиях, когда не существовало Лапландского гранулитового пояса, а на его месте находился Кольский полуостров, образующий с Карельским кратном единое целое. ЗП БЩ переходили друг в друга последовательно: Суомозерско-Кенозерский → Колмозеро-Воронья; Сегозерско-Ведлозерский → Южно-Имаандра-Варзугский; Тикаезерско-Парацловский → Суомуссалми-Кухмо → Тупасярви-Иломантси-Тулос-Ялонваарский → Гимольско-Костомукишский. Магматиты основного-ультраосновного состава, заполняющие эти структуры имеют тенденцию к вариациям магнезиальности и железистости с ЮВ на СЗ (в современном положении системы). По расчетам в течение VII-IX галактических лет только из-под Водлозерского блока было выведено на дневную поверхность около 80000 куб.км магнийно-корового вещества. Процессы релаксации отражены в формировании трондсмитов и их субвулканических аналогов в пределах этих же структур. В алогалактики X-го года впервые появляются картируемые субгоризонтальные зоны отслоения преимущественно в пределах микроплит (блоков), что особенно подчеркивается пластовыми телами плагиомикроклиновых гранитов и их производными.

Протерозойский магматизм формировался в пределах крупнейшей Фенноскандинавской рифтогенной структуры, приуроченной к древней системе ЗП, протяженностью более 1500 км (г.Коллас - Ветреный Поис - Лехтинская - Карасйоок - Печенга - Шницберген - Гренландия), являвшейся в тот период трансформным разломом Протоатлантического интратеррического палеорифта (Куликова, Куликов, 1996) и практически не выходил за ее пределы, проявляясь в бортах (рифт и рифте) (Куликова, 1993): СВ - Суомозерско-Кенозерского, ЮЗ - Южно-Имаандра-Варзугского и на крайнем СЗ с образованием структуры Карасйоок. Основной и главной закономерностью магматизма, формировавшегося в ее пределах является последовательное и устойчивое изменение состава основных-ультраосновных пород от коматитового (хондритового) к толситовому, щелочному и феррощелочному, а кислых от известково-щелочного к щелочному.

Данные выводы не противоречат палеорекострукциям древнейших континентов (Ранняя история Земли, 1980; Континентальные рифты, 1981; Милановский, 1987; Ханин, Божко, 1988; Щеглов и др., 1994; Кимберлиты и..., 1994; Эрничек, Мишельтейн, 1995 и др.) и подтверждают образование и развитие в

докембри планетарной системы рифтов на уровне эволюции вещества мантии и коры в одной из слагающих ее структур.

4. Эволюция магматизма на фоне циклически повторяющихся тектонических событий предполагает закономерное появление таких структур, в которых присутствуют магматиты с соответствующей рудной минерализацией, связанной с продвинутой дифференциацией вещества. Их формирование по изотопным данным отстает от становления магматического комплекса на 10-50 Ма. Металлические полезные ископаемые в настоящее время *по установленным в раннем архее и позднем архее и раннем протерозое* они имеют определенную пространственную и временную приуроченность и специфику: Cr, Ni, Cu, Au, W, Nb-Ta - в архее; Cr, PGE, Au; V, U, Ti; Cu-Mo, Sn и др. - в протерозое. Магматический контроль является ведущим в размещении месторождений и рудопроявлений территорий. В разные годы проводились поисковые работы ПГО "Севзапгеология", "Архангельскгеология", "Невскгеология" с переменным успехом на следующие полезные ископаемые, связанные с магматитами: 1) титано-магнетитовые и медно-никелевые руды; 2) рудопроявления золота; 3) хромиты; 4) платиноиды; 5) ванадий и уран. Из неметаллических полезных ископаемых интерес представляют шуниты, тальк-карбонатные породы, камешные строительные материалы.

Наиболее ранний рудогенез в регионе представлен месторождениями, рудопроявлениями и минерализацией хромитов в верхнеархейских интрузивах ультраосновного состава коматитовой серии (р.Кумбукса, Лукнчевский массив Сенегозерской структуры, ультрамафиты Рыбозерской структуры Южно-Видгозерского ЗП и др.) как составляющими самых ранних кумулятов коматитовых расплавов лопня. Медно-никелевые месторождения и рудопроявления наиболее перспективны в Каменноозерской структуре, где установлены все дифференциаты коматитового магматизма (хондритового и более железистого - барбертонского типов). Медно-никелевые руды приурочены к последним фазам дифференциации коматитового расплава. Близкая ситуация наблюдается в Токшанской и Волошовских структурах. Платиноидная специализация магматических комплексов также тесно связана с их генезисом и эволюцией. В настоящее время существует ограниченное количество данных, которые позволили бы однозначно определить характер платиноносности раннедокембрийских магматитов (Рыбаков и др., 1994). Повышенные концентрации связаны с верхнеархейскими хромитоносными ультрамафитами, и нижнепротерозойских расслоенных интрузивах (Бураковско-Аганозерская) суммы элементов платиноидной группы также наиболее высокие в хромитоносных горизонтах. Содержание Au обратно пропорционально содержанию платиноидов, что обусловлено его сродством к Fe и наиболее высокое в зонах сульфидных руд. Толентовые базальты и коматитовые им долериты нижнего ятуля,

богатые медной минерализацией, содержат платиноиды и золота на порядок меньше, чем верхнеятульские вулканиты и ферродолериты.

Кислый магматизм верхнего архея характеризуется специфическими рудопроявлениями и минерализацией: кварц-золото-шеслитовая, молибденитовая; (трондхемит-риолитовая ассоциация); флюоритовая и хасситергитовая (граниты); тангало-ниобатовая (лейкограниты и мусковит-редкометалльные пегматиты). Особое место занимает гидротермальные зоны по ультрамафитам, связанные с кислым магматизмом. Они известны во всех структурах. Тальк-карбонатные залежи в мафит-ультрамафитах приурочены по времени к шнелдритно вулкано-плутоидической трондхемит-риолитовой ассоциации, которую сопровождали пульсирующие растворы по системам трещин с последующим образованием отчетливо зональных тел тальк-карбонатного состава (Куликова и др., 1995). Медное, ртутное, мышьяково-медное, ртутно-сурьмяное рудопроявления связаны в основном с гидротермальной деятельностью наложенных поздних магматических этапов протерозойского толентового магматизма. Вспышский (?) магматизм отнесен к щелочно-ультраосновному, а признаки его проявления известны в районе р.Невушкин, а также в пределах Онежской структуры.

Существенную роль в образовании и транспортировке расплава и рудоносных флюидов играют зоны декомпрессии в центральных частях микроплит в которых наблюдается активизация высокоплотных углекислых флюидов, растекающихся в коровых субгоризонтальных зонах отслоения с образованием ятец зонального гранулитового и высокотемпературного амфиболитового метаморфизма в блоках и в межблоковых зонах, способствующих возникновению "черных курильщиков" с последующим активным образованием органического вещества, сохранившегося в пределах Онежской структуры в виде шунитовых залежей как непосредственно вблизи интрузий габбро, так и насыщающих туфогенно-осадочные комплексы (заонежская свита). К последнему приурочены комплексные Ti-V, Pt, Au и др. рудопроявления.

5. Временной интервал 3.4-1.65 Ga отражает наиболее раннюю доступную для изучения часть истории планеты, а магматические породы представляют собой ее летопись. Автором предполагается, на основании анализа вещества планет Солнечной системы и данных по внутреннему строению Земли, что особенности магматизма в раннем докембрие отражают первоначально гетерогенное строение литосферы, сформировавшейся на первом этапе аккреции планеты, что подтверждается строением и минеральным составом хондритовых и ахондритовых метеоритов, близких по этим параметрам коматитам и коматитовым базальтам архея; железо-каменных и железных - базальтам KREEP и др. В хондритах записана история эволюции вещества допланетного облака в период и во время его аккумуляции с образованием родительских тел, следовательно, состав любой современной планеты и ее эволюция были

предопределены на уровне эволюции протопланетного облака. Средние значения АТМ подтверждают распределение вещества по законам гравитационной дифференциации: для метеоритов от 23 для С1 до 4 для палласитов; для планет Солнечной системы (Солнечная туманность - 24) от 10 для Меркурия до 22 для Марса. Аккрецированная прото-Земля представляла собой систему в которой гетерогенность уже была обусловлена гравитационной дифференциацией вещества по принципу АТМ: кора - верхняя (обитная) - 27, нижняя (диогенитовая) - 6, мантия - 4. В общих чертах это соответствует последовательности: коматинитовая (хондритовая) - пикритовая (толенитовая) - меймечитовая (щелочная) серии на диаграмме $Ig\text{ АТМ}-Ig\text{ MgO}$, на которой ряд дифференциатов продолжается до лампроитовой (феррощелочной) - 1.5 и ферритовой - <1. Исходя из предположения спиральной структуры земных оболочек, представляется обоснованным рассматривать последующий магматизм как продукт открытой неравновесной длительно существующей системы. Проведенный анализ магматизма региона показал направленную смену латерального и временного рядов магматических вулканоплутонических ассоциаций последовательно в ходе поступательного развития структурных этажей и составляющих их отдельных геологических структур и вовлечением шихележащих оболочек в процессы магмообразования. Выявляется прямая зависимость степени плавления мантийного вещества от глубины пропиткования в астеносферу тектонических зон с образованием там декомпрессионных явлений в активный галактический период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. ЮВ окраина БЦ, являясь частью мегасистемы Фенискоандии, характеризует основные этапы развития последней в раннем докембрии и представляет собой геологическую изначально неравновесную систему, для которой индикатором эволюции является магматизм. Его особенности обусловлены состоянием дифференцированности планетного вещества на нуклеарной стадии развития планеты, подтверждаемой широким развитием коматинитового Al-деплетированного магматизма, генетически связанного с хондритовым субстратом. Последовательность формирования метеоритов, отраженная в табл. 1, подтверждает известные выводы о Земле как дифференциате общей хондритовой системы (Маракушев, 1992), которая имеет длительную эндогенную активность, ярко проявленную в раннем докембрии в пределах изучаемого региона. Последующие процессы при сформировавшейся крупной коре определялись неустойчивым геодинамическим режимом наряду с циклически действующими внешними силами, имеющими возбуждающее значение для внутренних оболочек Земли. Это подчеркивается традиционно выделяемыми структурными этапами со своим специфическим магматизмом, метаморфизмом и осадконакоплением. Циклически повторяющаяся мантийно-коровая акти-

визация данного сегмента Земли свидетельствует о регулярном поступлении энергии и вещества, в результате чего наблюдаются: 1) устойчивая эволюция основного-ультраосновного магматизма от коматинитового (хондритового) к толенит-пикритовому (обогащенному железом), в незначительных объемах - к щелочно-ультраосновному; 2) последовательная дифференциация расплавов различных петрогенетических серий (коматинитовой, толенит-пикритовой, известково-щелочной) на уровне каждого цикла; 3) необратимость развития всей системы на фоне глубокой дифференциации субстрата и телескопированным перемещением центра магматизма, что представляет собой проявление саморегуляции и приспособления к новым условиям при постоянно теряющейся внутренней энергии. Неравновесность системы и ее поступательное развитие в сторону стационарного состояния выявляются на макро-, мезо- и микроуровнях. Основой всех построений эволюционных преобразований вещества в раннем архее могут служить свойства таких химических элементов, как Al, Ti и Mg, а также K, Fe, PЗЭ.

II. Реликты сохранившихся амфиболитов на основании изотопного возраста отнесены к наиболее ранним коровым образованиям, т.е. к палеоархею (3500-3200Ma). В составе древнейшей коры установлен Лапурчейский перидотит-габбро-анортозитовый интрузивный комплекс с возрастом около 3500 Ma. Сложная структурная позиция воложкой свиты не позволяет в настоящее время достоверно определить условия ее образования, возможно, это происходило в доколлизийный период на базит-базальтит-анортозитовой коре.

III. Позднеархейские магматиты несут на себе признаки более глубокой дифференциации вещества, обусловленной утолщением коры, принудительным процессом эволюции расплавов по мере их транспорта к поверхности, активизацией глубинных магматических очагов, структурно связанных с формирующимися оболочками Земли. Ведущую роль в магматических образованиях играет коматинитовая серия, толенитовые магматиты в нарастающем объеме проявляются только к концу данного этапа и сменяются кислым магматизмом. Дифференциация расплава ультраосновного-основного состава доходит до отделения самородного железа (см. табл. 1). Неразрывно с магматитами коматинитовой и толенитовой серий находится вулканоплутоническая ассоциация кислых пород, эволюция которой завершается лейкогранитами и пегматитами не без участия коровых и мантийных флюидов на фоне возникновения зон декомпрессии в результате транспорта на поверхность верхнеархейского мантийно-корового вещества.

IV. Соприженные в пространстве, времени и составе вулканические коматинитовые серии и расселенные интрузии сумийского возраста (XI галактический год) контролируют соответствующие системы разломов: первые заполняют проторифт Ветреный Пояс, вторые - его трансформные разломы. В ин-

трузином магматизме отмечается две фазы с нарастающим железистостью расплава в центральной зоне рифта (Муройгорская, Ламеушозерская и др.).

V. Для раннепротерозойского этапа (2505-2420 Ма) однозначно установлена коматитизация коматитигового расплава в процессе прохождения его через толщу конглитогальной коры (Пухтель и др., 1991), о чем свидетельствуют $\epsilon_{Nd}(T) = -1,68$ и обогащенность пород легкими РЗЭ и Zr. АТМ = 18,2-17,6 подчеркивает происхождение лавовых образований из эволюционирующего хондритового резервуара. Наиболее продвинутым процессом коматитизации оказался в период 2290-2205 и 2075-1990 Ма, когда в лавовых потоках обнаруживаются ксенолиты коровых пород и ксеногенные цирконы с возрастом 2,4-2,7 Ga (Пухтель и др., 1995).

VI. К концу раннего докембрия диссипация магнийно-коровой энергии имела дискретный характер с отдельными всплесками в виде платовых маломощных тел долеритов, насыщенных магнетитом, а также в фанерозое в пределах Маленгского блока с образованием полей сплошных химберлитов, которые, судя по АТМ образовались из коматитиговой магнии в пределах Онежского полуострова и пикритовой - на Зимнем берегу, что отличает их от известных мировых химберлитов.

VII. Степень дифференцированности магматического расплава соответствующей петрохимической серии является ведущим индикатором рудогенеза. Наиболее перспективны магматиты, которые находятся в конце эволюционного ряда петрохимических серий: коматитиговая → толситовая → иделочная → ферроцелочная и т.д.) или определенная их комбинация.

Список основных публикаций по теме диссертации.

Монографии

1. Волоцкая свита - стратотип нижнего архея Балтийского щита // РАН КНЦ Ин-т геологии; и. ред. Хейсканен К.И. - Петрозаводск, 1993. - 255с
2. Коматиты и высокомагнетитовые вулканы раннего докембрия Балтийского щита (науч. ред. акад. О.А. Богатиков). - Д., 1988. - С. 89-114; 152-159;
3. Земная кора и металлогения юго-восточной части Балтийского щита Л., 1983. - С.25-31 (соавт. В.С.Куликов, В.В.Морозов, А.А.Черепанов); 52-60 (соавт. В.С.Куликов)
4. Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии. - Л., 1981. - С.27-37; 39-61 (соавт. В.С.Куликов, В.Н.Фурман, А.А.Черепанов)

Другие публикации

1. К выделению Сумозерско-Кепозерского зеленокаменного пояса архея на восточной окраине Балтийского щита // Геология раннего докембрия Карелии. - Петрозаводск, 1979. - С.70-76 (соавт. В.С.Куликов)
2. Ультраосновные расплавы в докембрии юго-восточной части Балтийского щита // Магматиты и проблемы ультраосновных магм: Тез.

докл. Всесоюз. симпозиума 27-29 окт. 1980г. г. Новосибирск. - Новосибирск, 1980. - С.45-46 (соавт. В.С.Куликов)

3. Новые данные об архейских периодитовых коматититах Вост. Карелии // ДАН СССР, -1981. - Т.259, N3. - С.693-697 (соавт. В.С.Куликов).

4. Коматиты докембрия Балтийского щита // Тез. докл. VI Всесоюзного петрографического совещания (27-30 мая 1981 г.). Л. 1981. С.360 (соавторы В.С. Куликов, С.И. Рыбаков, А.И. Светова)

5. Район Ветреного Пояса. Кожозерская свита. Вилепская свита // Геология шунгитовых вулканогенно-осадочных образований протерозоя Карелии. - Петрозав-к 1982. - Гл.1, Разд.5. - С.75-84 (соавт. В.С.Куликов, А.А.Черепанов)

6. Рифтовый вулканизм раннего протерозоя Балтийского щита // Глобальные палеовулкано-реконструкции и тектоника: Тр. VI Всесоюз. палеовулкано-лог. симпозиума. - Владивосток, 1982. - С.98-104 (соавт. В.С.Куликов)

7. О сводном разрезе раннего докембрия Ветреного Пояса // Геология и стратиграфия докембрийских образований Карелии: Опер.-информ. матер. - Петрозаводск, 1982. - С.21-26 (соавт. В.С.Куликов)

8. Метаморфизм базит-ультрабазитовых комплексов архея // Тез. докл. Семинар "Минералы, преобразования океанической коры". Владив-к, 1982. С.23.

9. Особенности рудной геохимической зональности в вулканоструктурах юго-восточной окраины Балтийского щита // Тез. докл. III Всесоюзного совещания "Геохим. методы поисков п.и.". М. 1982. С.96-97 (соавт. В.С. Куликов).

10. Геохимические критерии в оценке формационной принадлежности пегматитов ЮВ окраины Балтийского щита // Геохимические методы поисков месторождений пол. ископ.: Тез. докл. к III Всесоюз. совещ. (Самарканд, 26-30 окт. 1982). - М., 1982. - Т.5. - С.117-119 (соавт. Г.П. Сафронова)

11. Эволюция магматитов архейских зеленокаменных поясов ЮВ окраины Балтийского щита. Тез. Семинар "Геологическая петрология. Эволюция магматизма в главнейших структурах Земли". М. 1983. С.80-81.

12. Коматиты докембрия Балтийского щита // Магматиты и ксенолиты и проблема ультраосновных магм. Новосибир., 1983. С.121-130 (соавт. В.С.Куликов)

13. Главные особенности коматитиновой серии на Балтийском щите // Тез. Всесоюзный симпозиум Ультраосновные магмы и их металлогения. Владивосток. 1983. с.79-80 (соавт. В.С.Куликов)

14. Магматизм архейских зеленокаменных поясов юго-восточной окраины Балтийского щита / Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минер. наук. Спец. 0.40 0.08-петрография, вулканология. - М., 1983. - С.26.

15. О гранитоидах верхнего Выга // Магматизм и металлогения докембрийских образований Карелии: Опер.-информ. материалы - Петрозаводск, 1983. - С. 12-17 (соавт. В.И.Иващенко, В.С.Куликов, Г.П.Сафронова)

16. Ультраосновные эффузивы в докембрии юго-восточной части Балтийского щита // Магматические ксенолиты и проблема ультраосновных магм.-Новосибирск, 1983.-С.121-130(соавт.В.С.Куликов)
17. Калгачинский вулканический центр на ЮВ окраине Балтийского щита // Вулканизм и связанные с ним процессы. Вып.2. Вулканические центры, их строение, петрология и полезные ископаемые: Тез. докл. VI Всесоюз. вулкан. совещ., сент. 1985.-Пет-к-Камчатский, 1985.-С.46-48 (соавт. В.С.Куликов)
18. Некоторые черты эндогенных режимов в докембрии Карельского региона // Эндогенные режимы формирования земной коры и рудообразования в раннем докембрии: Сб. науч. тр.-Л., 1985.-С.187-192(соавт.В.С.Куликов).
19. Особенности рудной геохимической зональности в вулканоструктурах архея юго-восточной окраины Балтийского щита // Геохим. методы поисков глубокозалегающих руд. М.-ИИ-М., 1985.-С.19-27(соавт. В.С.Куликов)
20. Некоторые результаты изотопного датирования юго-восточной окраины Балтийского щита // Изотопные проблемы геологии докембрия Карелии. Петрозаводск, 1985.-С.54-65(соавт.В.С.Куликов, М.М.Аракелянц, А.К.Симон)
21. Эволюция докембрийских коматитовых магм на примере восточной части Балтийского щита // ДАН СССР.-1985.-Т.284, N4.-С.973-975(соавт.И.Д.Рябчиков, О.А.Богатиков, П.Саддэби, А.В.Гирнис, В.С.Куликов)
22. Эволюция верхнеархейского гранитообразования на ЮВ окраине Балтийского щита (Ветреный Пояс) // XI Семинар "Геохимия магматических пород": Тез. докл.-М., 1986.-С.66-67(соавт.В.С.Куликов).
23. Архейский пояс мусковит-редкометалльных пегматитов на юго-восточной окраине Балтийского щита // ДАН СССР. 1986. Т.291. N3. С.676-681 (соавт. В.С.Куликов, Г.П.Сафронова и др.).
24. К геологии Водлозерского блока и его обрамления // Геология докембрия Центральной и Южной Карелии: Опер.-информ. материалы за 1985г. Петрозаводск, 1986.-С.29-35(соавт.В.С.Куликов)
25. Высокомagneзиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита и проблема их никеленосности // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Карело-Кольского региона: Сб. научн. тр. Апатиты, 1988.-С.95-100 (соавт.: В.С. Куликов, В.Н.Харин)
26. К вопросу о лейкогранитах восточной части Водлозерского блока // Геология и стратиграфия докембрия Карелии: Опер.-информ. материалы. Петрозаводск, 1988.-С.22-28(соавт.В.С.Куликов, С.Б.Лобач-Жученко и др.)
27. Высокомagneзиальные вулканы лопшинских зеленокаменных поясов и карельских рифтогенных структур (сравнительный анализ) // Геология и метаморфизм архейских зеленокаменных поясов.-Петрозаводск, 1988.-С.29-40 (соавт. В.С. Куликов, В.Я.Горьковец и др.)
28. Метаморфизм "зоны сочленения" восточной части Водлозерского блока и Сумозерско-Кенозерского зеленокаменного пояса // Геология и метамор-
- физм архейских зеленокаменных поясов.-Петрозаводск, 1988.- С.67-73 (соавт. В.С. Куликов, А.И.Зудин, В.Н.Копылов и др.)
29. К расчленению даск основного состава коматитовой и толситовой серий // Высокомagneзиальный магматизм раннего докембрия.-Петрозаводск, 1989а.-С.83-94(соавт.Д.В.Рычанчик, О.Л.Рукосуева, В.Н.Харин)
30. Находка коматитов саамия (раннего архея) на Балтийском щите // ДАН СССР.-1989.-Т.308, N6.-С.1441-1445(соавт.В.С.Куликов, Я.В.Бычкова)
31. Рифтогенные системы раннего докембрия Балтийского щита и их эволюция // Магматизм рифтов (Петрология, эволюция, геодинамика): Сб. науч. тр.-М., 1989.-С.54-60 (соавт.В.С.Куликов).
32. Петрохимические особенности пород коматитовой серии Камениозерской структуры // Высокомagneзиальный магматизм раннего докембрия.-Петрозаводск, 1989б.-С.44-58(соавт.В.Н.Фурман, О.Л.Рукосуева, В.Н.Харин)
33. К геологии Кийостровского архипелага Белого моря // Вопросы стратиграфии и магматизма докембрия Карелии: Опер.-информ. материалы.-Петрозаводск, 1990.-С.3-6(соавт.В.С.Куликов)
34. Эволюция докембрийской магматической информации результатов изотопного Sr-Nd анализа коматитов Восточной Карелии // Геохимия.-1990.-N10-С.1391-1399(соавт.А.В.Гирнис, И.Д.Рябчиков, П.Саддэби, В.С.Куликов)
35. Эволюция магматизма Водлозерского блока Карельской гранит-зеленокаменной области в архее // Геология и геохронология докембрия Вост.-Евр. платформы.-Л.-1990.-С.92-100(соавт.В.С.Куликов, А.К.Симон и др.)
36. Строение и состав саамия Карелии // Стратиграфия архея и нижнего протерозоя СССР: Тез. докл. II Всесоюз. совещ. "Общ. вопросы расчленения докембрия СССР".-Уфа, 1990.-С.78-80(соавт. М.М.Стенарь, Ю.И.Сыстра и др.)
37. Волоцкая толща - парастратогип раннего архея (саамия) в Карельском геоблоке // Стратиграфия архея и нижнего протерозоя СССР: Тез. докл. III Всес. совещ. "Общие вопросы расчленения докембрия СССР".-Уфа, 1990.-С.63-65 (соавт. Д.З.Журавлев, И.С.Пухтель и др.)
38. Сравнительная характеристика высокомагнезиальных магматитов архея юго-восточной окраины Балтийского щита // Геохимические типы и руденосность базитов-гипербазитов гранулит-гнейсовых комплексов, зеленокаменных поясов, офиолитов. Иркутск, 1990. С.102-107 (соавт. В.С. Куликов, И.С. Пухтель)
39. Эволюция магматизма раннего докембрийского восточной окраины Балтийского щита // Эволюция докембр. литосферы: Тез. докл. Л., 1991. С.106-107
40. Архейские зеленокаменные пояса юго-восточной окраины Балтийского щита // Типы и эпохи развития зеленокаменных поясов и их метаситоге-ния: Тез. докл. сов.-финлянд. симпозиума по теме 1.3.г. Костомукша, 2-5 сент. 1991г. Петрозаводск, 1991.-С.40-42(соавт.В.С.Куликов, И.С.Пухтель)

41. Петрография и Sm-Nd-возраст дифференцированного потока коматититовых базальтов Ветреного Пояса (Балтийский щит) // Геохимия.-1991.-N5 - С.625-634(соавт.И.С.Пухтель,Д.З.Журавлев,В.С.Куликов)

42. Коматититы Водлозерского блока(Балтийский щит)//ДАН СССР.-1991.-Т.317, N1.-С.197-202(соавт.И.С.Пухтель,Д.З.Журавлев,А.В.Самсонов, А.К.Симон)

43. Палеогеографические, тектонические и геодинамические условия накопления углеводородов нижнего протерозоя Балт.щита//Бассейны черносланц. седиментации и связей с ними полезных ископаемых:Тез. докл. междунар.симпоз., Новосибирск, 5-9 авг.1991г.-Новосибирск, 1991. -Т.1.-С.34-35 (соавт.Л.П.Галдобина)

44. Можно ли обнаружить метеоритное вещество на Ветреном Поясе?//Вопросы геологии и магматизма докембрия Карелии:Опер.-информ. материалы за 1991г.- Петрозаводск, 1992.-С.58-62(соавт.В.Н.Фурман,В.С.Куликов, А.Н.Афонина и др.)

45. Sm-Nd-возраст суларской свиты на Балтийском щите//ДАН 1992.- Т. 326, N4.-С.706711(соавт.И.С.Пухтель,Д.З.Журавлев,Н.А.Ашихмина,С.Куликов)

46. Аллюмотитановый модуль как индикатор сериальности магматических пород//Проблемы геологии докембрия Карелии.-Петрозаводск, 1993.- С.62-77. (соавт.В.С.Куликов).

47. Геологическое строение кристаллического фундамента Водлозерского национального парка//Природн. и культурн. наследие Водлозерского национальн. парка.Петрозаводск, 1995.- С.17-33 (соавт.В.С.Куликов, Я.В.Бычкова).

48. Аксинитовая гидротермальная минерализация мыса Радколье (Большое Онего)//Вопросы геологии, магматизма и метаморфизма Карелии Петрозаводск. 1994. с.59-63. (соавт.Н.В.Леонтьев, А.Ю.Бычков, В.С.Куликов).

49. Петрохимические особенности тальк-карбонатных пород Западно-Светлоозерской залежи//там же, с.46-50(соавт.В.Н.Фурман, А.Ю.Бычков, С.Н.Бобылева, Т.В.Бондарева)

50. Аллюмо-титановый модуль как индикатор сериальности магматических пород//Тез.докл. IV объединенный симпозиум по проблемам прикладной геохимии, посвященный памяти академика Л.В.Таусона. Иркутск. 1994. С.30-31 (соавт.В.С.Куликов).

51. Геохронологические рубежи докембрия Балтийского щита как реперы космической жизни Земли//Главнейшие рубежи геологической эволюции Земли в докембрии и их изотопно-геохронологическое обоснование (тез. докл.). С-Петербург. 1995. С.21.

52. Роль коровых и магнийных источников в петрогенезисе континентального магматизма: изотопно-геохимические данные по раннепротерозойским пикритам Онежского плато, Балтийский щит//Петрология. 1995. Т.3. N.4. С.397-419(соавт.И.С.Пухтель, О.А.Богатиков, В.С.Куликов, Д.З.Журавлев)

53. Роль инертных элементов в систематике магматических пород//Проблема магматической и метаморфической петрологии(Тез. докл. на науч. чтениях памяти проф.И.Ф.Трусковой)М.-1996.-С.14(соавт.В.С.Куликов).

54. Палеопротерозойская Фенноскандинавская рифтогенная система(принципы палеорекострукции, строение, особенности магматизма) //Тез докладов. Корреляция геологических комплексов Фенноскандии (1-я Международная Конференция 8-11 сентября 1996.СПб).СПб.1996.С.38-39 (соавт. В.С. Куликов).

55. Универсальная геохронологическая шкала в галактических масштабах//Тез.докл.Корреляция геологических комплексов Фенноскандии (1-я Международная Конференция 8-11 сентября 1996.Спб). СПб.1996.С.39-40 (соавт. В.С. Куликов).

56. Корреляция магматических комплексов докембрия юго-восточной Фенноскандии. Там же. С. 37-38(соавторы В.С.Куликов, А.Т.Верезной)

57. Characteristics of the geochemical ore zonation in the Archaean volcanic structures of the south-eastern margin of the Baltic Shield. //Abstracts. 10th International Geochemical Exploration Symposium.3rd Symposium on Methods of Geochemical Prospecting.-Espoo/Helsinki, Finland, 1983.-p.46(co-author .S.Kulikov).

58. Trace-element geochemistry of Archaean and Proterozoic rocks from eastern Karelia, U.S.S.R., 1988.-Lithos.-Vol.21, pp.183-194(co-authors I.D.Ryabchikov, P. Suddeby., A.V.Girnis., V.S.Kulikov, O.A.Bogatikov).

59. Petrography and Sm-Nd age of a differentiated sheet of komatiitic basalt in the Vetra belt, Baltic Shield//Geochemistry international.1991.Vol.28,N12,p.14-23 (co-autors I.S.Pukhtel, D.Z.Zhuravlev, V.S.Kulikov)

60. Petrology and Sm-Nd and Pb-Pb systematics of the Vodla block, Baltic Shield/International Geology Review.-1993.-Vol.35, pp.825-839(co-authors I.S.Pukhtel and D.Z.Zhuravlev).

61. The aluminotitanium modulus: the serration indicator of magmatics in the Proterozoic rift structures of the Baltic Shield//Petrology and Metallogeny of Volcanic and Intrusive Rocks of the Midcontinent Rift System.(Abstract Duluth, Minnesota, 1995. P.89(co-autors V.S.Kulikov).

62. 241-Ga Remarkably Fresh Komatiitic Basalt Lava Lake in Lion Hills, Central Windy Belt, Southeastern Baltic//Contributions to Mineralogy and Petrology. 1996.P. (co-autors I.S.Pukhtel, A.W.Hofmann, Shield K.Mezger, A.A.Shehupansky, V.S.Kulikov)

63. Paleoproterozoic fresh komatiitic basalt lava Lake of central Windy Belt, Southeastern Fennoscandia//JGCP, Project 336. Symposium in Rovaniemi, Finland. 1996. P.s.63.

64. Рекомендации ПГО "Связьгеология" в решении Всесоюзного симпозиума "Магнийные ксенолиты и проблемы ультраосновных магм" (Новосибирск) о поисках никеля в связи с коматититами на Балтийском щите. 1981г.

65. Рекомендации ПГО "Архангельскгеология" Постановка поисково-съёмочных работ на пегматиты в районе Сенегозера // Выписка из письма №16-8/3258 от 5.IV.81. ПГО "Архангельскгеология". (соавт. В.С.Куликов)

66. Рекомендация ПГО "Севзапгеология" на постановку поисково-оценочных работ на медь в районе р.Сторожница // Выписка из протокола НТС ПГО "Севзапгеология" от 22.07.82 (соавт. В.С.Куликов)

67. Рекомендация на проведение поисково-оценочных работ на комплексное вольфрамовое оруденение в процессе выполнения планируемых ПГО "Севзапгеология" поисково-съёмочных работ // Выписка из протокола Ученого совета ИГ КарФАН СССР №3 от 31.03.83. (соавт. В.И.Ищенко, В.С.Куликов)