

**Санкт-Петербургский Государственный Университет**

На правах рукописи  
**УДК 550.42+551.71(470.22)**

**Светов Сергей Анатольевич**

**Петрология коматиит-толеитовых серий  
Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса  
Центральной Карелии**

**Специальность 04.00.08  
петрография , вулканология**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата геолого-минералогических наук**

**Санкт-Петербург**  
**1995**

Работа выполнена на кафедре петрографии геологического факультета Санкт-Петербургского Государственного университета.

**Научный руководитель** : доктор геолого-минералогических наук профессор Н.Ф. Шинкарев

**Официальные оппоненты**: доктор геолого-минералогических наук В.Ф.Смолякин , Институт Геологии, Кольский Научный Центр, РАН.

кандидат геолого-минералогических наук А.Б.Марковский , ВСЕГЕИ

**Ведущая организация**: Институт Геологии и Геохронологии докембрия РАН.

Защита состоится 26 октября 1995 г. в 15 часов на заседании Диссертационного совета Д.063.57.27. по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук при Санкт-Петербургском Государственном Университете по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9, Главное здание, аудитория 52.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке им А.М.Горького при СПбГУ.

Автореферат разослан 18 сент 1995 года.

Отзывы на диссертацию в двух экземплярах , заверенные печатью, просьба направлять по адресу: 199034 Санкт-Петербурга, Университетская набережная , 7/9 , Государственный Университет геологический факультет, Диссертационный совет

Ученый секретарь Диссертационного совета

Т.Ф.Семенова



## Введение

Изучение коматиитов и сопутствующих им основных вулканитов, как характерных образований архейских зеленокаменных поясов, является важной проблемой в познании магматизма докембрия. Уже долгое время, начиная с 1969 года, когда впервые были описаны и выделены в отдельный класс высокомагнезиальные вулканиты в ЮАР братьями Viljoen, эта проблема интересует многих исследователей.

Интерес к ней объясним несколькими факторами:

**во-первых**, изучение ультраосновных пород позволяет судить о составе и состоянии магмогенерирующих зон верхней мантии. Многие особенности пород коматиит-толеитовых серий позволяют расшифровать характеристику теплового режима Земли, и оценить его эволюцию в архее и протерозое.

**во-вторых**, изучение коматиит-толеитовых серий освещает вопросы тектонической эволюции зеленокаменных поясов, ярчайших и уникальных образований докембрия.

**в-третьих**, с коматиитовыми сериями связаны крупные месторождения никеля, платины, а освещение вопроса их генезиса может дать новые петрологические критерии прогнозирования и поиска подобных объектов.

## Глава 1, Общая характеристика работы

### Постановка проблемы

Вопросы изучения петрологии коматиит-толеитовых серий и изучение процессов их образования, а также геохимической специфики их мантийных источников в последние годы приобрели особое значение в связи со всесторонними исследованиями ранних этапов геологического развития Земли и исследованиями по эволюции и гетерогенности состава верхней мантии во времени и пространстве.

Актуальность изучения петрологии архейских коматиит-толеитовых серий Карелии обусловлена так же тем, что данный регион признан стратотипическим для нижнего докембрия России. Петрохимические исследования образований коматиит-толеитовых серий могут внести новые данные для решения проблемы эволюции архейской литосферы.

### Задачи исследования

Основной целью данной работы явилось комплексное изучение геологического строения и петрологии коматиит-толеитовых серий

Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии на примере Койкарской, Семченской, Совдозерской и Паласельгинской структур.

Основные задачи исследования заключаются в следующем:

1. Изучение стратиграфических разрезов коматиит-толеитовых серий Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса на примере Койкарско-Семченской, Совдозерской и Паласельгинской структур.
2. Изучение структурных и фациальных особенностей пород серий.
3. Петрографическое изучение вулканитов и их комагматов.
4. Выяснение особенностей химического состава пород серий.
5. Реконструкция условий образования коматиит-толеитовых серий с применением математических методов моделирования их генезиса и составов мантийных источников расплавов.

#### Научная новизна

Впервые для коматиит-толеитовых серий Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии получена корректная модель их образования, описаны процессы частичного плавления и фракционирования высокомагнезиальных расплавов, а также получены новые данные по геохимическому составу источников их расплавов.

Кроме этого, рассмотрены ликвационные процессы в вариолитовых лавах пироксенитовых коматиитов и изучена природа образования расслоенных лавовых потоков.

#### Практическая ценность

1. Собраны новые геологические данные по стратификации коматиит-толеитовых серий.
2. Получены новые геохимические характеристики коматиит-толеитовых образований рассматриваемых локальных структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии.
3. Показана роль процессов дифференциации в ходе фракционирования и ликвации в становлении лавовых потоков.
4. Получены модели образования коматиит-толеитовых серий в локальных структурах.

#### Защищаемые положения

1. Вулканиты коматиит-толеитовых серий Койкарской, Семченской, Совдозерской, Паласельгинской структур Ведлозерско-Сегозерского

зеленокаменного пояса локализованы в нижних частях стратиграфических разрезов, где они слагают мощные стратифицированные толщи. Палеофациальный анализ коматиит-толеитовых серий позволяет выделять различные структурно-текстурные разновидности пород. Строение конкретных разрезов отражает динамику вулканического процесса, а их хроностратиграфическое сопоставление - эволюцию эндогенных режимов.

2. Процессы фракционной кристаллизации и отчасти ликвации (*in situ*) играют определяющую роль в формировании расслоенных лавовых потоков коматиитов.

3. Коматииты Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса относятся к Al-недеплетированному (*Йшлгарнскому*) типу и образованы при 40-55% степенях парциального плавления мантийного лерцолита, при давлении 25-35 кбар. Петрогеохимические особенности комагматичных толеитов наиболее корректно соотносятся с моделью их образования в ходе фракционной дифференциации глубинных расплавов, отвечающих по составу перидотитовым и пироксенитовым коматиитам.

4. Петрогенезис перидотитовых коматиитов различных структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса свидетельствует об их генерации из единого мантийного резервуара, который по ряду геохимических характеристик (содержанию малых и редкоземельных элементов) значительно отличается от мантийных источников перидотитовых коматиитов Восточной Финляндии.

### Фактический материал

В основу диссертации положено изучение геологических разрезов и площадей развития образований коматиит-толеитовых серий Койкарской, Совдозерской, Паласельгинской и Семченской структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии в период с 1986 по 1995 годы.

Работа выполнена в Санкт-Петербургском Университете на кафедре петрографии геологического факультета с одновременным выполнением в Институте Геологии КНЦ РАН темы по проекту: "Состав и строение архейской верхней мантии Балтийского Щита...". Полевые исследования проводились в составе полевых отрядов Института Геологии Карельского Научного Центра РАН при выполнении тематических работ по опорным разрезам верхнеархейских комплексов.

В это же время автору удалось провести исследования коматиитов раннего архея на Водлозерском блоке (Восточная Карелия), лопийских коматиитов Хизоварской структуры (Северная Карелия), Костомукши (Западная Карелия), Ура-Губы (Кольский полуостров) и посетить с геологической экскурсией коматиитовые разрезы зеленокаменных поясов Кухмо, Иломанси, Суомуссалми, и структур Сатасваара и Мокельма в Финляндии.

При проведении специализированных петрологических исследований коматиит-толеитовых серий использовались методы палеовулканологических реконструкций, основанные на изучении структурно-текстурных особенностей пород, определении их первичной природы и фациальной принадлежности, с последующим применением петрографического и петрохимического методов изучения.

В период полевых исследований в изучаемых структурах было проведено детальное геологическое картирование наиболее важных площадей развития коматиитов и толеитов с составлением детальных геологических планов масштаба 1:1000, 1:10 000, составлено значительное число частных послынных колонок, особенно при прослеживании отдельных лавовых пачек или маркирующих потоков по простиранию, с последующим обобщением и составлением стратиграфических колонок по локальным структурам, внесены уточнения и дополнения в стратиграфические разрезы верхнеархейских (лопийских) свит (толщ).

Проведено детальное геохимическое изучение как всего изучаемого разреза коматиит-толеитовых серий, так и наиболее ярких его литотипов-вариолитов, коматиитов со спинифекс структурами, дифференцированных потоков коматиитов. Кроме этого обработано 600 шлифов коллекции автора, 400 химических анализов, из которых 200 оригинальных силикатных и 160 рентген-спектральных анализов выполненных в аналитических лабораториях Института Геологии Карельского Научного Центра и использовано 25 анализов на REE.

Петрохимические расчеты, обработка геохимических и петрохимических данных, расчет моделей плавления и фракционирования проводился на персональном компьютере IBM486 в оригинальных программах, написанных автором для пакетов EXEL 5.0, FOXPRO и при использовании геологического пакета разработанного в Ньюфаундленском Университете по процессам моделирования NEWPET 89-92.

### Апробация работы

Основные положения работы докладывались на совещаниях молодых ученых в г. Апатиты в феврале 1994 г, в апреле 1995г. в Санкт-Петербурге на международном симпозиуме посвященном 150 летию со дня рождения А.А.Иностранцева, на совещании молодых ученых в г.Петрозаводске в ноябре 1994г, так же были представлены на 21 Геологическом совещании в Швеции в январе 1994г, и на 8 Международной конференции по Геохронологии, космохронологии и изотопной геологии в США в июне 1994г.

Основные положения диссертации опубликованы в 11 статьях и тезисах, 3 находится в печати.

### Объем и структура работы

Работа общим объемом 208 страниц, состоит из введения и пяти глав, выводов и списка литературы включающего 108 наименований.

### Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю диссертационной работы доктору геолого-минералогических наук, профессору Н.Ф.Шинкареву.

В процессе работы автор пользовался советами и рекомендациями доктора геолого-минералогических наук С.И.Рыбакова, кандидатов геолого-минералогических наук А.Б.Вревского, А.Б.Котова, В.В.Иваникова, а так же благодарит Ph.D. E. Luukkonen, M.Sc. H.Lukkarinen за помощь в изучении коматиитов Восточной и Северной Финляндии.

### Глава 2. Геологическое строение Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. Разделы 2.1-2.4.

Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс расположен в Центральной Карелии, протягивается в субмеридиональном направлении от оз.Ведлозеро до оз.Сегозеро на расстояние около 300 км. Этот пояс сопоставим с архейскими зеленокаменными поясами древних щитов мира, такими как Кухмо-Суомуссалми, Тулос-Иломанси в Восточной Финляндии, в строении которых значительную роль играют средние и кислые вулканиты наряду с коматиит-толеитовыми комплексами.

По геофизическим данным Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс приурочен к Хаутаваарско-Койкарской мобильно-проницаемой зоне, разделяющей Карельский мегаблок на 2 сегмента: Центрально-Карельский и Онежский. Рассматриваемые в работе

коматиит-толеитовые серии имеют возраст от 2900 до 3100 млн.лет. (Геология Карелии,1987)

Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс включает ряд структур: Хаутаваарскую, Койкарскую, Паласельгинскую, Семченскую, Совдозерскую и ряд других, причем стратотипическим разрезом является разрез Хаутаваарской структуры, состоящий из пяти свит общей мощностью 4500-5000 м. (Серноколчеданные...1978) Среди них выделяются: /снизу вверх/

-**Виетукшлампинская свита** мощностью 2500-2700м. Формирует нижнюю часть разреза лопия, состоит из лав и туфов андезитов и осадочной пачки, представленной туфопесчаниками, графитистыми сланцами, туффитами.

-**Лоухиваарская свита** мощностью 600-1500м /аналог питкилампинской свиты в Койкарской структуре / сложена породами коматиит-толеитовой серии с прослоями осадков и туфов.

-**Калаярвинская свита** представлена терригенными, хемогенно-осадочными и кислыми вулканическими породами. С этой свитой связаны серноколчеданные месторождения. В составе свиты туфопесчаники, углеродистые сланцы, кварциты, серноколчеданные руды, кислые туфы и туффиты. Мощность свиты 500-900м.

-**Кульюнская свита** сложена подушечными и массивными лавами базальтов с прослоями туфового материала. Мощность свиты 600-1200м.

-**Усмйтсаньярвинская свита** представлена пирокластическими образованиями средне-кислого состава, туффитами, углеродистыми сланцами. Мощность свиты 200м.

Детальные работы проводились в *Койкарской, Совдозерской, Паласельгинской, Семченской структурах Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса.*

Разрез Койкарско-Семченской зоны начинается с коматиит-толеитовой серии относимой к Питкилампинской свите /аналог Лоухиваарской в Хаутаваарской структуре/ мощностью 800-2800м. и продолжается кислыми вулканиками и терригенными породами Кивилампинской свиты /аналог Калаярвинской в Хаутаваарской структуре/ мощностью 940м.

Здесь разрез Паласельгинской структуры сложен породами коматиит-толеитовой серии, (Вулканизм...,1981) которые соответствуют Лоухиваарской свите /Хаутаваара/ или Питкилампинской /Койкарская структура/, мощность разреза 1500-1800м

Лопийский разрез Совдозерской структуры начинается с коматиит-толеитовой серии мощностью 900-1000 м. соотносимой с Питкилампинской и Лоухиварской свитами, и наращивается вулканогенно-осадочной толщей представленной кислыми туфами, алевролитами и железистыми, кварцитами мощностью 1000 м. /аналог Калаярвинской свиты/

Породы изучаемых структур изменены в условиях переходных между зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фациями метаморфизма, что позволяет сохраниться всем структурным и текстурным разновидностям лав и туфов.

На основании изучения стратиграфических разрезов коматиит-толеитовых серий Койкарско-Семченской зоны, Паласельгинской и Совдозерской структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии можно сделать следующие выводы:

1. Коматиит-толеитовые серии слагают в изучаемых структурах нижние части разрезов верхнеархейских комплексов. Коматиитовые пачки наблюдаются либо в основании разреза (Койкарская структура), или в средней его части (Совдозерская и Паласельгинская структуры) между толеитовыми толщами.

2. Коматиит-толеитовые серии представлены вулканогенными породами, в которых хорошо сохранившиеся признаки первичной природы пород позволяют проводить фаціальный анализ и палеовулканологические реконструкции.

В фаціальном плане преобладает лавовая фация, пирокластическая фация включает туфы от тонкозернистых до агломератовых, реже туффиты; вулканогенно-осадочные и осадочные породы слагают маломощные пачки в разрезах серий и развиты в большей мере в Совдозерской структуре.

Субвулканические интрузивные фации представлены дайками, согласными силлами, мелкими интрузивными телами габбро и перидотитов.

В Койкарской структуре коматиитовые вулканы формируют палеопостройку центрального типа, в других структурах формирование коматиит-толеитовых серий связывается с трещинными излияниями.

3. Коматиитовые части разрезов в рассматриваемых структурах отличаются дифференцированным составом. В Койкарской и Паласельгинской структурах в составе коматиитовых пачек преобладают пироксенитовые и базальтовые коматииты, в

Совдозерской структуре максимально развиты перидотитовые коматииты.

4. Выделяются породные литотипы и фациальные разновидности характерные для отдельных структур: в Койкарской структуре - это потоки вариолитовых лав пироксенитовых коматиитов, в Совдозерской структуре - своеобразные потоки автобрекчий перидотитовых коматиитов, в Паласельгинской и Койкарской структурах - дифференцированные лавовые потоки перидотитовых и пироксенитовых коматиитов.

5. Мощные толщи толеитов верхних частей разрезов слабо дифференцированы и сложены стратифицированными лавовыми пачками без перерыва залегающими на коматитовых лавах.

6. В Койкарской и Паласельгинской структурах коматиитовые и толеитовые лавы переслаиваются со слоями туфов, реже туффиитов, в Совдозерской структуре в коматиит-толеитовой толще присутствуют горизонты вулканогенно-осадочных и осадочных пород сложенные туфами, граувакками, графитистыми сланцами, тонкослоистыми железисто-кремнистыми осадками, знаменующими перерывы в вулканической деятельности.

7. Стратиграфическая последовательность, наблюдаемая в конкретных разрезах локальных структур, отражает динамику вулканического процесса и эволюцию эндогенных режимов в пределах Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии.

### Глава 3. Метаморфизм коматиит-толеитовых серий Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса

Изучением метаморфизма верхнеархейских образований Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса занимались многие исследователи: Рыбаков С.И. (1980, 1984, 1990), Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А. (1978), Милькевич Р.И., Миллер Ю.В. (1988), Володичев О.И., Король Н.Е. (1994) и др.

Региональный метаморфизм в Койкарско-Семченской зоне, Паласельгинской и Совдозерской структурах связан с главной (реболльской) фазой складчатости и представлен от зеленосланцевой до амфиболитовой фации андалузит-силлиманитового барического типа.

**—Койкарско-Семченская зона:**

Породы коматиит-толеитовой серии Койкарско-Семченской зоны изменены в условиях эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма.

1. Перидотитовые коматииты: основные вторичные минералы представлены: хлорит-антофиллит-тремолит-карбонат, первичные минералы спинифекс структур замещены тремолитом и антофиллитом с преобладанием первого, хлорит обычно заполняет промежутки между псевдоморфозами спинифекс структур.

2. Туфы коматиитов представлены преимущественно хлорит-тремолитовыми и хлорит-тремолит-антофиллитовыми породами.

3. Пироксенитовые и базальтовые коматииты имеют минеральную ассоциацию представленную: реликтами первичного плагиоклаза (50-70%An)-хлоритом- амфиболом- эпидотом- карбонатом- биотитом. Преобладают спинифекс структуры различных типов. В центральных частях отдельных лавовых тел наблюдаются участки с габбровыми структурами, которые сформированы как таблитчатыми реликтовыми плагиоклазами (An -50-70%), так и метаморфическим альбитом (1-9% An) и олигоклазом (An 14%), амфиболом.

4. Туфы базальтовых и пироксенитовых коматиитов представлены в настоящее время породами с литокластическими, фиброгранобластовыми спутанно-волоконистыми структурами, массивной и слоистой текстурами. Минеральная ассоциация следующая: плагиоклаз (3-13%An)-хлорит-актинолитовая роговая обманка-биотит-эпидот-карбонат.

5. Толеитовые базальты и комагматичные коматиитам габбро имеют близкий минеральный состав: реликтовый магматический плагиоклаз (55-60%An), актинолитовая роговая обманка- актинолит-альбит-эпидот-карбонат- хлорит. Структуры - реликтовые габбровая и толеитовая.

– Паласельгинская структура:

Минеральный состав пород Паласельгинской структуры:

1. Нижние толеиты: роговая обманка- тремолит-актинолит- эпидот-кварц (в виде миндалинов), структуры преобладают гранобластовые, гранонемато-бластовые, реже офитовые.

2. Коматииты: серпентин ( выполняет псевдоморфозы по оливину, причем псевдоморфозы имеют магнетитовую оторочку) -тремолит-хлорит-эпидот, преобладают реликтовые спинифекс структуры оливинового и пироксе-нового типов, реже бластопорфиновые или реликтовые гипокристал-лические структуры.

3. Туфы коматиитов имеют литокластические и тонкозернистые структуры, кластические и тонкослоистые текстуры, в минеральном составе преобладает хлорит-тремолитовый агрегат.

4. Верхние толеиты: роговая обманка -альбит- эпидот- карбонат- кварц, из структур преобладают реликтовые бластоофитовые и толеитовые.

5. Высокомагнезиальное габбро : реликтовый плагиоклаз (40-50%Ап), альбит, актинолит, эпидот, тремолит, хлорит, кварц. Структуры преобладают реликтовые габбровые и гранобластовые.

–Совдозерская структура :

Минеральная ассоциация пород Совдозерской структуры следующая:

1. Нижние толеиты. Основная масса породы представлена на 60-70% амфиболом, на 10-30% плагиоклазом (5-15%Ап), эпидотом, кварцем, на 10-15% хлоритом, биотитом, карбонатом, магнетитом, сфеном. Доминирующее развитие имеют гранобластовые, нематобластовые метаморфические структуры с реликтами бластоофитовых магматических структур.

2. Коматииты: серпентин- тремолит- хлорит- эпидот- магнетит-карбонат, спинифекс структуры замещены: хлорит-актинолитом, или хлорит-актинолит- тремолитовым агрегатом с оконтуриванием зерен мелкокристаллическим магнетитом, кумулятивные структуры представлены псевдоморфозами оливина, выполненными серпентиновым или хлоритовым агрегатом.

3. Туфы коматиитов представлены тонкими пепловыми, реже лапиллиевыми разновидностями. В пепловых туфах видна тонкая слоистость, микроскопически выраженная в чередовании тонких слоев хлоритового и тремолитового состава.

4. Минеральная ассоциация верхних толеитов: голубая роговая обманка, биотит, эпидот, кварц, альбит, тремолит, хлорит, карбонат, магнетит. Структуры реликтовые офитовые.

*Условия характерные для подобных преобразований соответствуют температуре 400-500 градусов и давлению около 3-5 кбар, что в целом несколько ниже P-T условий метаморфизма в подобных разновозрастных комплексах Восточной Финляндии и Северной Карелии, где температуры находились в интервале 490-640 градусов при давлении 5 кбар./ Sorjonen-Ward P., Gruau G./*

На основании сопоставления геохимических составов пород различной степени измененности, для всех изучаемых структур возможно сделать следующие выводы.

1. *Метаморфические процессы не привели к сильному перераспределению элементов и не вносят искажений в направления эволюционных трендов.*

2. *Перераспределение  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  наблюдается только в сильно карбонатизированных образцах, их исключение из выборки уменьшает возможную погрешность.*

3. *Геохимическая характеристика метаморфизованных пород соответствует первичным значениям в вулканитах.*

4. *Пересчет химических анализов на безводный остаток исключает ошибку, возникающую за счет большого содержания воды во вторичных минералах.*

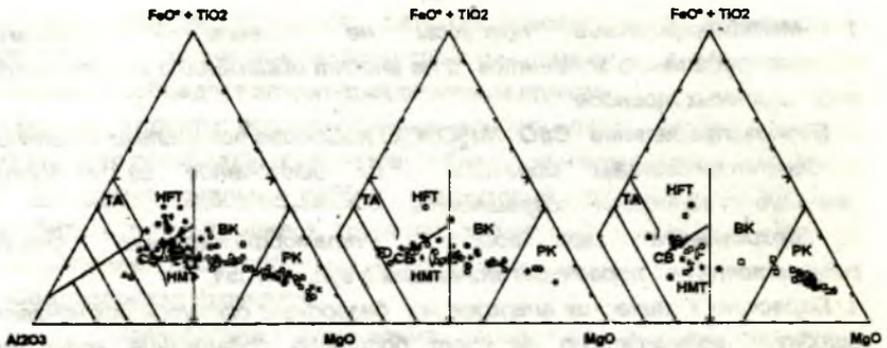
#### Глава 4. Геохимическая характеристика коматиит-толеитовых серий, разделы 4.1-4.4.

Коматииты Койкарской и Паласельгинской структур представлены всеми разновидностями серии: перидотитовыми коматиитами, ( $\text{MgO}$ -30-24%), пироксенитовыми (24-14%), базальтовыми коматиитами (14-9%). Коматииты Совдозерской структуры отвечают по химическому составу перидотитовым и пироксенитовым разновидностям (с четким преобладанием первых) при вариации в содержании магния от 21 до 32%.

Вариации содержания  $\text{TiO}_2$  в породах серий лежат в пределах от 0.12 до 0.55%. Отношение  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  варьирует от 0.35 до 1 (Койкарская структура), 0.44-0.9 (Паласельгинская структура), 0.25-1 (Совдозеро),  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ - 13-22 (Койкары), 13-30 (Паласельга), 18-22 (Совдозеро) и находятся на уровне близком к среднемантийному ( $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3=0.82$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2=20$ ).

*Это позволяет отнести коматииты Водлозерско-Совдозерского зеленокаменного пояса к AL-недеплементированному (Йилгарнскому) типу.*

Для толеитов всех структур характерна геохимическая общность с коматиитовыми вулканитами, что выражается в близких отношениях петрогенных окислов и в наличии единых петрогенетических трендов от перидотитовых коматиитов к толеитам. Рис1-3



Койкарская структура

Паласельгинская

Совдозерская

PK-перidotитовые и пироксенитовые коматииты, BK-базальтовые коматииты, HFT-высокожелезистые толеиты, HMT-высокомагнезиальные толеиты

рис1

рис2

рис3

### Малые и редкоземельные элементы.

Элементы группы железа Cr и Ni имеют максимальные концентрации в кумулятивных зонах дифференцированных лавовых потоков перidotитовых коматиитов, максимальные содержания Cr следующие: 3500г/т (Койкары), 5476г/т (Паласельга), 7000г/т (Совдозеро), для Ni -1750 г/т (Койкары), 1415 г/т (Паласельга), 2131 г/т (Совдозеро), к пироксенитовым коматиитам содержания уменьшаются и совсем падают к толеитам ( до 10-200г/т). Диаграммы парной корреляции Cr-MgO, Ni-MgO, показывают совпадение эволюционных трендов коматиит-толеитовых расплавов с полученными при фракционной кристаллизации  $Ol+Cr_2, Ol+/-Cpx+/-Cr_2$  из перidotитового коматиита.

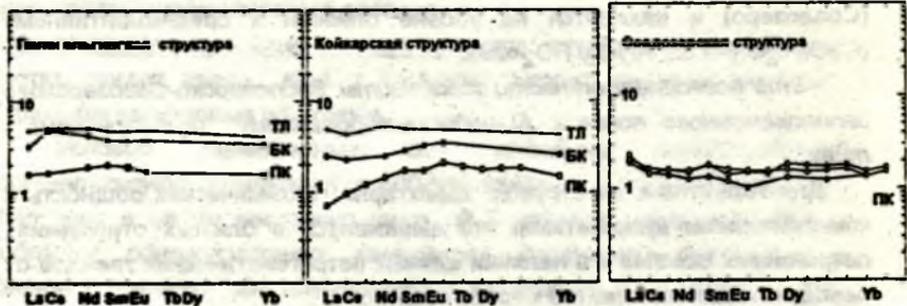


рис 4

рис 5

рис 6

ПК-ПЕРИДОТИТОВЫЕ КОМАТИИТЫ, BK-БАЗАЛЬТОВЫЕ КОМАТИИТЫ, TL-ТОЛЕИТЫ

Эти выводы совпадают с вариациями малых элементов Y, Zr, Sr, Nb, (наблюдается повышение их концентраций при уменьшении магнезиальности расплава). Рассматривая геохимическую специфику коматиитов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, основные различия в них можно выделить на основе топологии REE спектров, которая позволяет разделить их на три отдельные группы:

1. С плоским, хондритовым, распределением REE  $(La/Sm)_n=0.8-1.1$ ,  $(Gd/Yb)_n=0.9-1.2$ ,  $(Ce/Yb)_n=0.9-1.1$ , Рис 4, коматииты Паласельгинской структуры.
2. Со слабым обеднением LREE,  $(La/Sm)_n=0.4-0.7$ ,  $(Gd/Yb)_n=0.89-1.4$ ,  $(Ce/Yb)_n=0.6-0.8$ . Рис 5, коматииты Койкарской структуры.
3. Со слабым обогащением LREE и плоским распределением HREE  $(La/Sm)_n=1.5$ ,  $(Gd/Yb)_n=1.1-1.3$ ,  $(Ce/Yb)_n=0.9-1$ , Рис 6, коматииты Совдозерской структуры.

*Принадлежность всех коматиитов к одному Йшгарнскому типу и при этом разделение на различные REE топологические группы объясняется не только различием условий генезиса, но и геохимической спецификой мантийных источников их расплавов.*

## Глава 5. Петрология коматиит-толеитовых серий Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, разделы 5.1-5.6

*Процессы фракционной кристаллизации и ликвации (in situ), раздел 5.1*

Детальное геологическое и геохимическое изучение разрезов верхнеархейских коматиит-толеитовых серий Центральной Карелии показало, что главными процессами ответственными за эволюцию расплава после излияния на дневную поверхность, являются процессы дифференциации магмы в ходе процессов фракционной кристаллизации и в результате ликвации, причем первый из них более широко распространен.

Процессы дифференциации изучались на примере расслоенных лавовых потоков перидотитовых и пироксенитовых коматиитов Койкарской и Паласельгинской структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии и коматиитов в структуре Сивикковара зеленокаменного пояса Кухмо в Восточной Финляндии.

В данных образованиях выделяется от 2 до 10 зон различного спинифекс (А1-А..) и кумулят (В1-В..) строения. Петрогеохимическое изучение вариаций составов по зонам в потоках позволяет

предположить, что их образование наиболее корректно может объясняться рассчитанной моделью фракционирования расплава в ходе кристаллизации и гравитационной отсадки  $OL+CrT$  в пропорции 0.98-0.02, или 0.97-0.03 из расплава отвечающего по составу перидотитовому коматииту. Образование различных разновидностей спинифекс структур зависит от насыщенности расплава центрами кристаллизации, скорости перемещения фронта кристаллизации и конвекционного движения в потоке.

*Дифференциация в ходе ликвационного разделения четко проявлена в вариолитовых лавах пироксенитовых коматиитов Койкарской структуры.*

Там изучены вариолиты, в которых глобулы отвечают по составу низко-калиевым андезидацитам. Геохимические расчеты показали, что вариолиты в потоках образуются в ходе процесса низкотемпературной метастабильной ликвации, происходящей после излияния лав. Подобный процесс приводит не только к образованию глобул контрастного состава, но и к формированию более крупных форм-линз, пятен в лавовых потоках и подушках.

#### *Источники коматиитовых расплавов, раздел 5.2*

В настоящее время основные знания о составе верхней мантии базируются на различных данных: составе мантийных нодулей, геофизическом глубинном зондировании, сравнении с планетарными хондритами и в последние годы с составами перидотитовых коматиитов, и прочих данных.

Главный такой критерий основан на том, что в примитивной мантии все тугоплавкие элементы должны присутствовать в количествах, соответствующих их содержанию в  $C_1$  (в углистом хондрите, по составу тугоплавких элементов отвечающему составу изученных объектов Солнечной системы).

Анализ отношений содержания  $Ca/Al$ ,  $Al/Sc$ ,  $Al/Yb$  в нодулях и в  $C_1$  показал, что при отличии этих отношений от  $C_1$  более чем на 10% нодули не могут представлять непосредственно мантийный материал. В результате изучения всех имеющихся нодулей и сопоставления их состава с углистым хондритом, получен вывод, что состав шпинелевого лерцолита  $SC_1$  (шпинелевый лерцолит из Сан-Карлас, Аризона, США) соответствует примитивной, недифференцированной мантии и это проявлено также в хондритовом распределении REE и в изотопной  $Sm/Nd$  систематике. Эти результаты хорошо коррелируют с

полученными S.S.Sun данными по составу верхней мантии в архее, основанными на изучении химических составов архейских основных и ультраосновных вулканитов и включений, при моделировании процесса частичного плавления, а также с данными A.W.Hofmann по примитивной мантии.

В дальнейшем, при моделировании процессов частичного плавления в ходе образования перидотитовых коматиитов центральной части Балтийского щита в качестве типоморфного химического состава источников расплавов принимается состав по A.W.Hofmann 1988, как наиболее корректный для моделирования их генезиса. Данный состав принимался за исходный при расчетах генетических моделей для архейских коматиитов Канадского щита, зеленокаменного пояса Абитиби. (S-J.Barnes 1983,1985)

Расчеты показывают, что при образовании коматиитов Центральной Карелии в источниках расплавов основной фазой являлся оливин, с небольшой долей ортопироксена.

Привлечение геохимических данных по перидотитовым коматиитам, (распределению REE и малых элементов) подтверждает то, что гранат не участвует при процессах плавления. Все коматииты изучаемых структур относятся к Al-недеплетированному типу с отношением  $CaO/Al_2O_3 < 1$ . В случае, если отношение  $> 1$ , то это свидетельствует об активном фракционировании граната при высоких давлениях, что отразилось бы на HREE топологии, вызвав деплетированность расплавов по тяжелым редкоземельным элементам, чего нельзя наблюдать в коматиитах рассматриваемых структур.

Расчет по содержанию петрогенных окислов в перидотитовых коматиитах CMAS-параметров в системе предложенной O'Hara для мантийных перидотитов показывает, что перидотитовые коматииты Центральной Карелии генерировались при давлениях не превышающих 30 кбар.

Реститы, которые образовывались после удаления расплава из источника, отвечали дунитам или гарцбургитам.

### *Температуры излияния и зарождения коматиитовых магм, раздел 5.3*

Важной проблемой в понимании геологической истории Земли в архее является эволюция теплового режима. Исследования коматиитов позволяют получить корректные значения температур излияния и магнообразования расплавов. Расчеты максимальных температур излияния коматиитов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса.

дают следующие значения: Койкарская структура-1540-1560 градусов, Паласельгинская 1560-1600 градусов, Совдозерская 1580-1600 градусов.

Данные результаты хорошо коррелируют с полученными для близких по возрасту коматиитов из потока Alexo, Онтарио, Канада и из коматиитов формации Reliance, зеленокаменного пояса Белингве в Зимбабве, имеющими возраст 2.7 млрд.лет. Максимальная температура излияния коматиитов Онтарио составляла 1560 градусов, в зеленокаменном поясе Белингве 1520 градусов. Новые данные по самым молодым коматиитам острова Горгона (возраст 0.155 млрд.лет) дают максимальные значения температуры извержения не превышающие 1400 градусов. (содержание  $MgO=20\%$ ).

Сопоставляя рассчитанные данные по температурам генерации коматиитов мира из близковозрастных структур, можно предполагать, что температуры генерации коматиитов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса составляли примерно 1800 градусов в источнике. Все полученные значения температур свидетельствуют о том, что потенциальная температура архейской мантии на временном этапе 2.7- 3.1 млрд. лет в среднем на 250-300 градусов была выше современной.

#### *Модели образования коматиит-толеитовых серий Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, раздел 5.4*

Расчет моделей образования коматиитов проводился для реальных составов по формулам парциального плавления мантийного пиролита по малым и редкоземельным элементам (Y, Zr, Sr, Nb, Co, Ce, Sm, Eu, Cr, Ni). Предварительно проводилась оценка РТ-условий генерации по соотношению петрогенных элементов в породе и модельных экспериментальных составов. Расчет моделей образования серий осуществлялся по закону фракционирования Рэлея.

На основании полученных данных можно определить условия генерации перидотитовых коматиитов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, которые соответствовали 40-55% парциальному плавлению мантийного перидолита при давлении 25-30 кбар, а образование всей серии пород до толеитов, наиболее корректно соотносится с моделями процесса глубинного фракционирования  $Ol+/-Crx+/-Crt$  в промежуточных резервуарах из первичных расплавов, отвечающих по составу перидотитовым и пироксенитовым коматиитам.

*Локальная гетерогенность верхнемантийных источников  
коматиитовых магм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного  
пояса в архее, раздел 5.5*

Сопоставление геохимического состава источников коматиитовых расплавов Койкарской, Совдозерской, Паласельгинской структур показывает, что в целом на данном участке состав верхней мантии был достаточно однородным, хотя наблюдается локальная гетерогенность по содержанию Cr, Ni, Sr, REE элементов.

Сравнение составов источников коматиитов Карелии, Кольского полуострова и Восточной Финляндии позволяет выделить три типа:

1- деплетированный - 0.4-2.0 хондритовых уровня по содержанию REE- для Кольского полуострова и Северной Карелии.

2- нормальный - 2.0-3.0 хондритовых уровня содержания REE, что отвечает срединемантийным значениям, для коматиитов Восточной и Центральной Карелии.

3- обогащенный - 3.0-5.0 хондритового уровня по содержанию REE- для коматиитов Западной Карелии и Восточной Финляндии.

Выделенные типы источников коматиитовых расплавов частично связаны с возрастными интервалами магматизма следующим образом: нормальный состав источников наблюдается в возрастном интервале 2.9-3.1 млрд лет, деплетированные источники характеризуют верхнюю мантию в интервале 2.9-2.8 млрд лет, и самые обогащенные появляются в 2.8-2.7 млрд лет.

*Рудные формации связанные с основным и ультраосновным  
магматизмом, раздел 5.6*

В изучаемых структурах Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса пока не установлено месторождений металлических полезных ископаемых связанных с ультраосновным-основным магматизмом лопийской эпохи.

Однако в зеленокаменных поясах Юго-Восточной Карелии выявлены Cr-Ni- оруденение в ультрамафитах и V-Fe-Ti, Fe-V в дифференцированных базальтовых массивах. Наибольший интерес представляет платиновая минерализация, в настоящее время обнаружены локальные, но перспективные ее проявления в коматиит-толеитовых сериях Совдозерской и Паласельгинской структур в связи с сульфидной минерализацией в лавах коматиитов и их туфах. В Койкарской структуре повышенные содержания Pt, Pd, Au выявлены в интрузивных ультраосновных телах, комагматичных коматиитам

*Изучение петрологических аспектов связи никелевого оруденения с условиями генезиса коматиит-толеитовых серий позволяет сделать следующие выводы:*

*1. Наиболее перспективными на проявление Ni оруденения являются коматиитовые магмы, генерируемые в результате двустадийного плавления мантии.*

*2. Гетерогенность верхней мантии может определять локализацию Ni оруденения в областях наиболее деплетированных HREE.*

### **Заключение**

*Изучение лопийских зеленокаменных структур Центральной Карелии позволило получить корректный фактический материал по петрогенезису коматиит-толеитовых серий, составу и локальной гетерогенности мантийных источников расплавов и температурам излияний и магмогенерации расплавов.*

*Сопоставление мантийных источников перидотитовых коматиитов Балтийского щита позволяет классифицировать и привязать ко времени вулканизма их геохимические составы.*

*Выявленные закономерности образования коматиит-толеитовых серий имеют большое прикладное значение при корреляции геологических и петрологических событий, а также при прогнозировании поисков полезных ископаемых.*

### **Список работ автора опубликованных по теме диссертации:**

- 1. Петрология коматиитовых лав Койкарской и Паласельгинской структур Центральной Карелии // Геология и рудогенез докембрия Карелии. Опер. информ. матер. Петрозаводск, 1991г. с. 26-30.*
- 2. Комагматичная коматиитам габбровая ассоциация Койкарской структуры // Геология и магматизм докембрия Карелии. Опер. информ. матер. Петрозаводск, 1993 г. с. 75-79.*
- 3. Особенности ликвационного процесса в образовании архейских вариолитов Койкарской структуры / Центральная Карелия // Вопросы геологии докембрия Карелии, Петрозаводск, 1993г. с. 53-60.*
- 4. Архейские вариолитовые лавы Койкарской структуры / Центральная Карелия // (тез. докл.) Геология Балтийского щита, Апатиты 1993 г. с. 4-5. (7 конференция молодых ученых, 23-25 января 1994г.)*
- 5. Основные петрографические и геохимические черты дифференцированных коматиитовых лав архейского Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса // Вопросы геологии, петрологии и*

минералогии Карелии. Петрозаводск; Карельский научный центр РАН, 1994, с.63-77.

6.Архейские вариолитовые лавы пироксенитовых коматиитов ( на примере Койкарской структуры , Центральная Карелия) // Вопросы геологии, петрологии и минералогии Карелии. Петрозаводск; Карельский научный центр РАН, 1994, с 78-98.

7.Гетерогенность верхней мантии Балтийского щита // Тезисы докладов Международного симпозиума посвященного 150-летию А.А.Иностранцева, Санкт-Петербург, 1994г. с.36. Соавтор А.Б.Вревский.

8.Геохимия архейской верхней мантии Центральной части Балтийского щита (на основании изучения коматиитов )// Проблемы магматической и метаморфической петрологии .Тез.докл. на научных чтениях памяти проф.И.Ф.Трусовой ,6-19 апр. 1995,М.: 1995,с.32.

9.Геологическая экскурсия по Койкарской зеленокаменной структуре// Путеводитель геологических экскурсий по Карелии регионального симпозиума "Благородные металлы и алмазы Севера Европейской части России" и научно-практической конференции "Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов России". Петрозаводск, 1995,с.4-13. Соавторы : С.И.Рыбаков, А.И.Светова.

10.Archean variolitic pyroxenite-komatiite lava.Examples from the Koikary structure, Central Karelia // 21 a Nordisca geologiska Vintermoten,10-13 january,1994, Lulea,Sw.. abstracts of lectures p.210.

11.Geochemical (REE) and isotopic (Nd, O) inhomogeneity of the Late Archean Upper mantle of the Baltic Shield (Evidence from the peridotitic komatiites) // Abstracts of lectures, ICOG-5, Berceley, Ca, USA, 1994, p.344. Соавтор А.Б.Вревский

12.Geochemistry and Petrogenesis of the Upper Archean Komatiite-Tholeiitic Series In The Vedlozero-Segozero Greenstone Belt , Central Karelia./ in print, Abstracts of lectures ,MAEGS-9, St.Petersburg, 4-15 sept.,1995.

13.Fractional Differentiation and Liquefaction ( in situ) in Komatiitic Lavas. / in print, Abstracts of lectures ,MAEGS-9, St.Petersburg, 4-15 sept.,1995.