

На правах рукописи

УДК 551.243:551.72 (470.22)

Травин Вениамин Вениаминович

**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ
СЕВЕРО-КАРЕЛЬСКОЙ СИНКЛИНОРНОЙ ЗОНЫ**

Специальность: 04.00.01 -
общая и региональная геология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва
1996

Работа выполнена в Институте геологии Карельского НЦ РАН

Научный руководитель:

кандидат геолого-минералогических наук,
доцент В.С.Милеев (МГУ)

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук В.Г.Талицкий (МГУ)
кандидат геолого-минералогических наук А.С.Воинов (СПбГУ)

Ведущая организация:

Геологический институт Кольского НЦ РАН

Защита диссертации состоится 17 мая 1996 г.
в 14ч. 30м. на заседании Диссертационного Совета К.053.05.02
по общей и региональной геологии и геотектонике при Москов-
ском Государственном Университете им. М.В.Ломоносова по ад-
ресу: 119899, ГСП, Москва В-234, Воробьевы горы, МГУ, геоло-
гический факультет, аудитория 608.

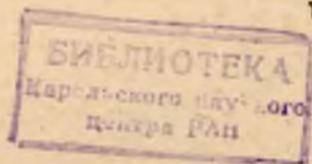
*С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
геологического факультета МГУ, зона "А", 6 этаж.*

Автореферат разослан 16 апреля 1996г.

Ученый секретарь Диссертационного Совета
кандидат геолого-минералогических наук



А. Ф. Читалин



Введение

Актуальность исследований. Северо-Карельская синклиноральная зона (СКСЗ), расположенная на границе традиционно противопоставляемых Карельского и Беломорского мегаблоков (рис. 1), представляет собой один из наиболее изученных объектов российской части Балтийского щита. Однако при этом многие вопросы геологического строения зоны не являются решенными. Это вполне относится к проблеме формирования структуры зоны и связанным с ней вопросам преобразований гранитоидов фундамента, которым посвящена работа.

В работе рассмотрено также формирование кристаллизационной сланцеватости 1-го рода (параллельной слоистости) с b -линейностью (параллельной шарнирам складок), типичной для областей развития метаморфизованных комплексов.

Цель и задачи работы. Целью исследований явилось изучение структурно-вещественных преобразований супра- и инфракомплекса Северо-Карельской синклинорной зоны в раннем протерозое. Основные задачи исследования заключались в следующем:

1. Выявление структурных парагенезов района, объединяющих структурные элементы различного масштаба (от крупных складок до элементов микроструктуры), и анализ динамических условий их образования.

2. Изучение первичной природы и глубины структурно-вещественных преобразований гранитоидов комплекса основания.

3. Установление последовательности раннепротерозойских структурных преобразований супра- и инфракомплекса СКСЗ.

Кроме того в работе была поставлена задача построения теоретической модели формирования структуры супра- и гранитоидных инфракомплексов в условиях продольного сжатия земной коры при повышенном тепловом потоке.

Фактический материал. В основу диссертации положены результаты исследований автора в рамках плановой научной темы лаборатории тектоники и петрологии Института геологии Карельского научного центра "Геологическое строение и развитие земной коры Северной Карелии". В ходе работы по изучению геологического строения СКСЗ автором составлялись геологические схемы, были сделаны зарисовки и фотографии обнажений, замеры более 500 структурных элементов, собрана коллекция образцов.

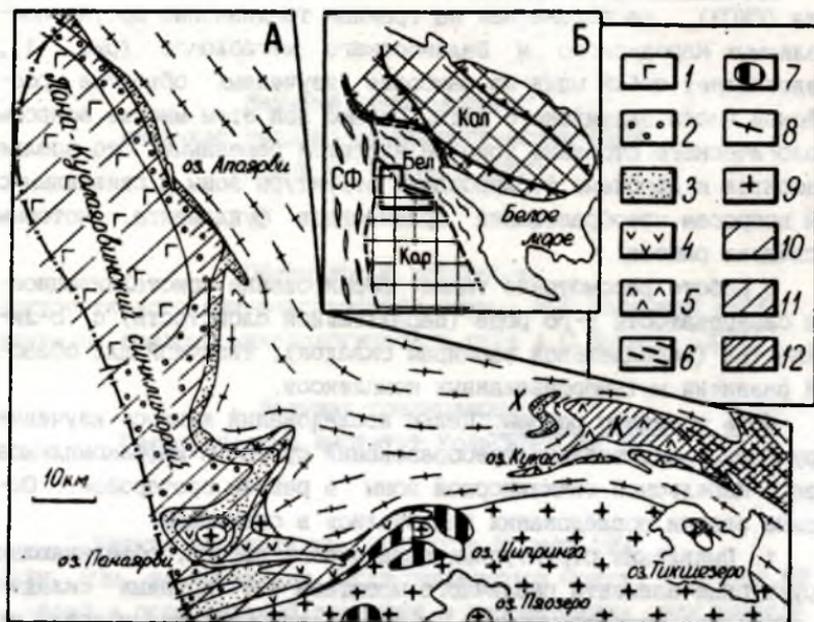


Рис.1. Схема геологического строения района Северо-Карельской синклирной зоны (А) и положение района в структуре северо-восточной части Балтийского щита (Б). Кольско-Карельская область: Кольский (Кол), Веломорский (Вел) и Карельский (Кар) мегаблоки; Свекофеннская область (СФ)

Х - Ханкусьярвинская синклиналь, К - Кукасоверский синклинорий; 1-6 - метаморфизованные осадочно-вулканогенные породы чехла (супраструктура): 1-5 - карельский (PR1) комплекс (калевийский (1), лодиковийский (2), ятулийский (3), сариолийский и сумийский надгоризонты (4), нерасчлененные образования (5)), 6 - лопийский (AR2) комплекс; 7 - тела метабазитов; 8,9 - гранитоиды фундамента (комплекс основания): 8 - гнейсы, 9 - бластокатаклазиты по плутоническим породам; 10-12 - метаморфизм пород чехла: 10 - зеленосланцевой, 11 - эпидот-амфиболитовой, 12 - амфиболитовой фации

Изучено более 2000 шлифов пород и микроструктурная ориентировка минералов в 20 образцах. Использовано 18 микровондовых определений минералов, 30 силикатных анализов, результаты петрофизического изучения образцов. Кроме авторских материалов были привлечены полевые материалы, коллекции образцов и шлифов сотрудииков Института геологии Карельского НЦ РАН.

Методика исследований. В работе использованы: традиционные приемы геологического картирования, анализ минерального и химического составов галечного материала конгломератов, изучение микроструктур пород, микроструктурный анализ породообразующих минералов, микровондовый анализ, измерение скоростей продольной волны ориентированных образцов, литературные данные. Динамические построения выполнены на основе представлений о неоднородности деформируемой среды. Формирование метаморфических текстур объясняется с позиций теории синдеформационной кристаллизации минералов.

Научная новизна.

1. Впервые формирование структуры Северо-Карельской синклинорной зоны объяснено как результат деформаций геологически неоднородной земной коры в условиях ее продольного сжатия.

2. Предлагаемая в работе модель синметаморфических деформаций земной коры в условиях продольного сжатия объясняет происхождение кристаллизационной сланцеватости 1-го рода с минеральной b-линейностью в слоистых породах и единый структурный план метаморфических текстур супра- и инфракомплекса Северо-Карельской синклинорной зоны.

3. На основании впервые проведенного изучения обломков гранитоидов из конгломератов показана специфика раннепротерозойского эрозийного среза, на котором происходило накопление осадочно-вулканогенных пород Северо-Карельской зоны.

4. Доказано, что развитые в районе гнейсы Беломорского мегаблока представляют собой продукт свекофенских преобразований плутонических пород комплекса основания.

Практическая значимость. Выявленная структурная зональность создает предпосылки детализации региональных металлогенических схем для рассматриваемого района. Модель формирования структурных парагенезов Северо-Карельской синклинорной зоны позволяет выработать структурные критерии поиска полезных ис-

копаемых: проявлений метаморфогенной минерализации, облицовочного строительного камня различных текстур.

Апробация работы. Результаты исследований отражены в 14 публикациях. Основные положения диссертации доложены на геологическом семинаре Института геологии Карельского НЦ РАН, конференциях молодых ученых памяти члена-корреспондента АН СССР К.О.Кратца в 1988 г. (Ленинград), в 1993 и 1995 гг. (Апатиты), симпозиуме "Структурообразование в земной коре и сейсмичность (Москва, 1992) и на Всероссийской Школе "Структурный анализ кристаллических комплексов" (Санкт-Петербург, 1994).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы (145 наименований), общим объемом 137 машинописных страниц, 65 рисунков, трех таблиц.

Благодарности. Автор благодарен коллегам за предоставленные материалы, дискуссии, консультации и помощь, которыми он воспользовался за время работы над диссертацией. Полевые материалы, коллекции шлифов и образцов любезно предоставили сотрудники Института геологии Карельского НЦ РАН. Теоретические вопросы структурообразования были обсуждены с В.Н.Кожевниковым, Ю.И.Лаваревым, Н.И.Щипцовой (ИГ Карел.НЦ), Ю.С.Бискэ (СПбГУ), Ю.В.Миллером (ИГГД), В.Г.Талицким (МГУ), М.Г.Леоновым и С.Ю.Колодяжnym (ГИН), М.Л.Соминым (ИФЗ). При решении вопросов геологии района автор получил консультации В.И.Коросова, М.А.Елисеева, М.М.Лаврова, Л.П.Свириденко, Л.Ф.Вондаря, К.И.Хейсканена, А.И.Голубева, В.С.Куликова (ИГ Карел.НЦ), А.С.Воинова (СПбГУ), Ю.В.Богданова (ВСЕГЕИ), Т.Ф.Негруца (ГИ Кольского НЦ РАН, Апатиты), С.В.Лобач-Жученко (ИГГД). Ультразвуковое определение скоростей в ориентированных образцах пород выполнено сотрудником кафедры геологии месторождений полезных ископаемых МГУ А.В.Волковым, микровондовое определение составов минералов - сотрудницей кафедры петрологии МГУ Е.В.Гусевой. Автор особенно признателен старшему научному сотруднику Института геологии Карел.НЦ РАН В.А.Коншину и научному руководителю, доценту кафедры исторической и региональной геологии МГУ В.С.Милееву за постоянную поддержку и конструктивную критику.

Основные защищаемые положения.

1. Супракрустальные образования Северо-Карельской синкливорной зоны, обрамляемые плутоническими породами (гнейсо-гра-

нитоидами) Карельского мегаблока и гнейсами Беломорского мегаблока, накопленные на едином фундаменте, представленном в эрозионных средах раннего протероя в основном плагиогранитами.

2. Гнейсы и гнейсо-гранитоиды обрамления Северо-Карельской синклинойной зоны представляют собой продукты свекофенских вещественных и структурных преобразований раннекембрийских плутонических пород комплекса основания: на территории Карельского мегаблока они были превращены в бластокатаклиты (гнейсо-гранитоиды), на территории Беломорского - в гнейсы.

3. Складчатые структуры Северо-Карельской синклинойной зоны сформировались в ходе свекофенских симетаморфических деформаций неравномерно прогретой реологически неоднородной земной коры в условиях ее продольного сжатия.

4. Типичные для областей развития кристаллических комплексов сланцеватость 1-го рода с минеральной b-линейностью в слоистых породах и единый структурный план метаморфических текстур супра- и инфракомплекса объясняются синтетектоническим минералообразованием в гетерогенных средах, испытывающих деформации в условиях продольного сжатия земной коры.

Глава 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ГЕОЛОГИИ СЕВЕРО-КАРЕЛЬСКОЙ СИНКЛИНОЙНОЙ ЗОНЫ

В результате длительного (с 1930-х гг.) изучения Северо-Карельской синклинойной зоны сложились общие представления, по которым СКСЗ расположена на границе Карельского и Беломорского мегаблоков Балтийского щита (Шуркин и др., 1962; Кратц, 1963; Харитонов, 1966; Геология., 1974 и др); супракристалльные образования зоны представлены породами верхнего архея и нижнего протероя (Коросов, 1967а,б и др.); древнейшие олигоклазовые граниты и нижнеархейские беломорские гнейсы комплекса основания (соответственно в Карельском и Беломорском мегаблоках) испытали в повднем архее региональную гранитизацию (Лобач-Жученю и др., 1974 и др.). Тектоническая эволюция Карельского и Беломорского мегаблоков и различные вопросы геологии СКСЗ являются ныне предметом дискуссии. Различаются взгляды исследователей и на историю складчатых деформаций зоны. Ус-

ловия формирования складчатой структуры СКСЗ оставались недостаточно изученными.

Глава 2. ОЧЕРК ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РАЙОНА

В пределах рассматриваемого района господствующее распространение имеют глубоко и неравномерно преобразованные в позднеархее и раннем протерозое гранитоидные породы фундамента (инфраструктура, комплекс основания) и залегающие на них метаморфизованные в условиях от зеленосланцевой до амфиболитовой фации осадочно-вулканогенные породы верхнеархейского допийского и нижнепротерозойского карельского комплексов (супракомплекс, чехол), слагающие структуры СКСЗ.

Образования допийского комплекса представлены слоистыми гнейсами и сланцами иринегорской свиты. В объеме карельского комплекса выделяются сумийский, сариолийский, ятулийский, лодиковийский и калевийский (ливвийский) надгоризонты. Сумийско-сариолийские образования в равных структурах различаются: в Пана-Куолаярвинском синклинории они представлены первично элювиально-делювиальными брекчиями, конгломератами и вулканитами преимущественно кислого состава (сумий), песчаниками, конгломератами и лавами основного состава (сариолий); в Кукасоверском синклинории - кварцитами и вулканитами основного состава (сумий), песчаниками и конгломератами (сариолий). Ятулийские породы района - песчаники, вулканиты основного состава, карбонатные породы. В разрезе лодиковия участвуют конгломераты, карбонатные породы, черные сланцы, вулканиты основного состава. Калевийские образования района представлены доломитами, песчаниками и вулканитами основного состава (Коросов и др., 1987а, б и др.).

Докембрийские интрузивные образования, широко распространенные в основном к югу от СКСЗ, представлены комплексами, относимыми к раннему и позднему архею и раннему протерозою (Коншин, 1990, 1994), время образования которых соответствует самской, допийской и карельской тектоно-магматическим эпохам (циклом). Раннеархейские интрузивные образования (таваярвинская группа комплексов) включают комплексы дупироксенсодержащих амфиболитов, габбро-норитов, диоритов и эндербитов. К

позднему архею относятся плагиомикроклиновые граниты койгерского и тикшеверского комплексов и комплекс гранодиоритов, представляющий собой продукты гранитизации пород таваярвинской группы комплексов. К раннему протерозею относятся микроклиновые граниты нуоруненского комплекса, олангский перидотит-габбро-норитовый комплекс, комплексы раннекарельских гранофировых гранитов, поздних гранитов, ультраосновных пород. Гнейсы распространены в основном к северу от СКСЗ. Для плутонических гранитоидов характерны бластокатакластические структуры, для гнейсов - лепидогранобластовые.

Для пород супра- и инфракомплекса отмечается единая метаморфическая зональность с повышением степени метаморфизма в северо-восточном направлении. Докембрийские толщи СКСЗ деформированы однотипно, т.е. участвуют в единой складчатой структуре. Участие в структуре СКСЗ лодиковийских и калевийских пород определяет свекофеннский (ок. 1,8 Ga) ее возраст.

ГЛАВА 3. СТРУКТУРЫ И СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИ СЕВЕРО-КАРЕЛЬСКОЙ СИНКЛИНОРНОЙ ЗОНЫ

В пределах СКСЗ выделяются крупные Пана-Куолаярвинский и Кукасоверский синклинории и Ханкусьярвинская синклинали.

Строение Пана-Куолаярвинского синклинория определяют две различающиеся по структурному стилю ветви: субмеридиональная Куолаярвинская мульда (северная ветвь) и субширотная Панаярвинская (южная). В пределах рассматриваемого района расположена восточная (российская) часть синклинория.

Куолаярвинская мульда прослеживается в север-северо-западном направлении на протяжении около ста километров по обе стороны российско-финляндской границы и имеет ширину до 60 км. Центральная (внутренняя) часть Куолаярвинской мульды сложена калевийскими и верхнелодиковийскими слабометаморфизованными и слабодислоцированными породами. По мере приближения к архейскому основанию интенсивность метаморфизма и складчатости в протерозейских образованиях возрастает. В приконтактной с гнейсами архейского основания зоне шириной 3-4 км (восточный борт Куолаярвинской мульды) метаморфизованные в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фации нижнелодиковийские и

ятудийские породы собраны в складки, опрокинутые на восток.

Панаярвинская веявь на российской территории имеет длину около 50 км. Структура сжатая, имеет синклинорное строение. В бортовых частях структуры слоистые породы круто падают от архейского основания. Структура сложена метаморфизованными в условиях веленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации породами сумийского, сариодийского и ятудийского надгоризонтов.

Кукасоверский синклинорий расположен к восток-северо-востоку от Панаярвинской структуры. Он вытянут в широтном направлении более чем на 30 км, имеет дугообразную, выпуклую к северу, форму. Структура синклинория сжатая, для пород характерно крутое залегание слоистости.

Синклинорий сложен метаморфизованными в условиях амфиболитовой фации породами карельского комплекса в объеме сумийского, сариодийского, ятудийского и лодиковийского надгоризонтов. В строении восточной части синклинория принимают участие верхнеархейские полосчатые гнейсы иринегорской свиты.

Строение Кукасоверского синклинория - резко асимметричное. Южное его крыло представляет собой систему параллельных линейных складок. Северное - сложноскладчатое, в центральной части оно осложнено крупными складками, определяющими нелинейный рисунок северного крыла синклинория.

Наиболее детально изучена структура юго-восточной части Кукасоверского синклинория, особенности строения которой позволили оценить условия и механизм деформаций супра- и инфракомплекса (Травин, 1992а и др.).

Структура юго-восточной части Кукасоверского синклинория. Участок сложен неравномерно мигматизированными гнейсами архейского фундамента и осадочно-вулканогенными образованиями, относимыми к карельскому и лопийскому комплексам. В супракруптальных породах и обрамляющих их породах фундамента развиты агрегатная и минеральная b-линейность.

Площадное распределение текстур и структурных форм подчинено определенной закономерности. В осевой части синклинория в многочисленных обнажениях сланцев и амфиболитов супракомплекса устанавливается четко выраженная минеральная и агрегатная линейность. При переходе от центра структуры к крыльям линейность становится менее выраженной (а часто и вовсе отсутству-

ет), а сланцеватость, наоборот, становится все более четкой.

В породах фундамента по мере удаления от подошвы супра-крупных пород устанавливаются зоны: (1) хорошо проявленной гнейсовидности (конформной подошве чехла), (2) хорошо проявленной β -линейности в ядрах антиклиналей, (3) сочетания линейности, крутопадающей гнейсовидности и пloyчатости скальвания. К юго-западу от этих зон находится поле развития гнейсовидных текстур генерального северо-западного простирания. Причем по мере удаления к юго-западу от Кукасоверского синклинория линейность, параллельная шарнирам складок южного крыла Кукасоверского синклинория, становится все менее проявленной, и уже на удалении 4-5 км гнейсовидность и линейность гнейсов могут занимать иное положение.

Проведенное ультразвуковое изучение V_p гнейсов участка позволило численно оценить их анизотропию. Для линейносланцеватой разновидности гнейса коэффициенты поперечносланцеватой и внутрисланцеватой анизотропии составили 1,29 и 1,23, для плоскосланцеватой - 1,89 и 1,04 соответственно.

Ханкусьярвинская синклинали расположена к западу от центральной части северного крыла Кукасоверского синклинория. Она сложена ятулийскими метапесчаниками с линзовидным горизонтом конгломератов в основании. Структура представляет собой сжатую (или даже изоклинальную) первичную складку, деформированную в складки второй генерации.

Для пород Ханкусьярвинской синклинали был проведен микроструктурный анализ (Травин, 1990а), который показал одновременность высокотемпературного метаморфизма и складчатости, в результате которых сформировались структура синклинали и метаморфические текстуры (сланцеватость и β -линейность) пород.

В метаморфизованных осадочно-вулканогенных породах Северо-Карельской синклинорной зоны развита сланцеватость 1-го рода. В интенсивно метаморфизованных породах проявлена β -линейность. Локально отмечается сланцеватость 2-го рода (секущая слоистость), выраженная низкотемпературным мусковитом и серицитом. Для пород супра- и инфракомплекса характерна конформность метаморфических текстур. Структуры СКЗ осложнены складчатými продольными и постскладчатými равноориентированными равлосами.

Образование структурных форм района происходило в определенной последовательности. На прогрессивной стадии метаморфизма образовались складчатые структуры и метаморфические текстуры, выраженные высокотемпературными минералами (сланцеватость 1-го рода, b-линейность), на регрессивной стадии - продольные разломы и сланцеватость 2-го рода. Соответственно, структурные формы могут быть объединены в структурные парагенезы прогрессивной и регрессивной стадии свекофеннского метаморфизма и постскладчатые (равноориентированные кайновозские (?) разломы). Структурный парагенез прогрессивной стадии метаморфизма, к которому относятся складчатые формы СКЗ, может быть разделен на структурные парагенезы высоко- и низкотемпературного метаморфизма.

Основное внимание в работе уделено вопросам формирования текстур структурного парагенеза высокотемпературного прогрессивного метаморфизма (восточный борт Куолярвинской мульды, Кукасоверский синклиниорий, Ханкусьярвинская синклиналь), к которым относятся: 1) сланцеватость 1-го рода, 2) минеральная и агрегатная b-линейность, 3) гнейсовидность фундамента, конформная подошве чехла.

Формирование элементов структурного парагенеза высокотемпературного метаморфизма объясняется как результат синметаморфических деформаций земной коры с реологически неоднородным слоистым чехлом и гранитоидным фундаментом, испытывающей продольное сжатие. Предлагаемая модель базируется на представлениях о механической неоднородности деформируемой среды и теории синдеформационной кристаллизации минералов (ТСК).

Образование складок супраструктуры. В условиях продольного сжатия слоистая среда деформируется в складки механизмами продольного изгиба и продольного расплющивания. В работе анализируется динамическая обстановка внутри пластичных слоев (рис. 2). Силы сжатия (генеральное усилие и результаты его разложения на уровне слоев), и обусловленные ими напряжения ориентированы в плоскости, перпендикулярной шарниру складки; направление шарнира является направлением растяжения. Напряжения наибольшего сжатия в пластичном слое ориентировано перпендикулярно к поверхностям повсеместно обжимающих жестких слоев. В условиях высокотемпературного метаморфизма, обуславливающего

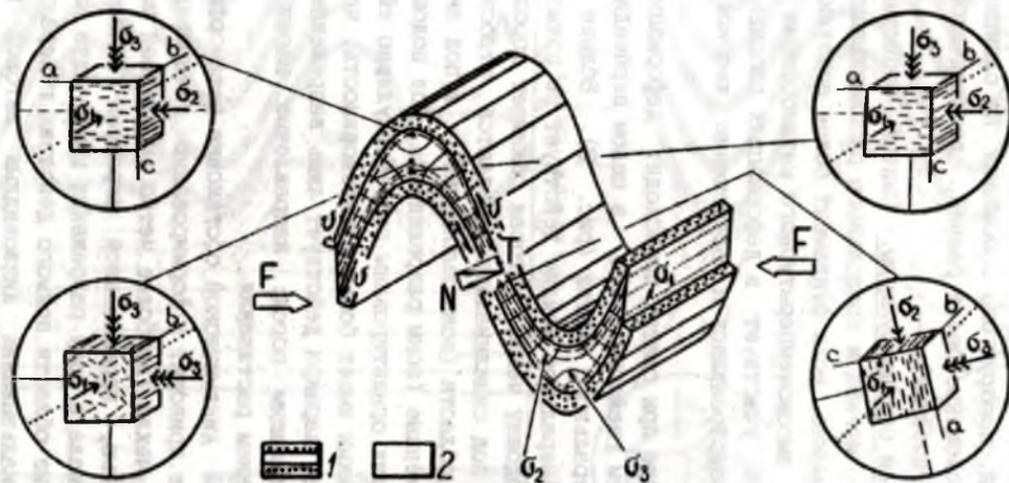


Рис. 2. Схема образования складки в условиях продольного сжатия

1 - компетентные слои, 2 - некомпетентный слой

T и N - напряжения в крыльях складки - результат разложения генеральной силы F на уровне слоя, T вызывает послойное скольжение \mathcal{U} , N приводит к раздавливанию пластичных слоев в крыльях складки. Траектории главных нормальных напряжений: σ_1 - максимального (растяжения), σ_2 - среднего, σ_3 - минимального (сжатия). На врезках-кружках - напряженные состояния в различных точках пластичного слоя и метаморфические текстуры, образующиеся в соответствующих условиях

перекристаллизацию пород, создающиеся текстуры полностью зависят от напряженного состояния внутри слоев. В соответствии с ТСК это приводит к образованию в пластичных слоях сланцеватости 1-го рода и b-линейности.

Из этих построений следует вывод, что *сланцеватость является синхронной со складкой, которую она описывает*. Но сланцеватость эта наследует положение более ранней, доскладчатой стратифицированности (миметическая).

Формирование синхронной инфраструктуры. Смятие слоистых пород в складки продольного изгиба и продольного расплющивания без срыва с фундамента возможно, если фундамент более податлив деформациям (в условиях высокотемпературного метаморфизма - более пластичен), то есть участвует в деформациях пассивно (некомпетентная среда), подстраиваясь к перемещению жесткого (компетентного) чехла.

В пластичном фундаменте при сжатии происходит деформация сплющивания с формированием гнейсовидности, в целом перпендикулярной направлению генерального сжатия (рис. 3). Вблизи с жесткими породами чехла генеральное усилие действует не прямо, а опосредованно, через подошву чехла, которая обжимает породы фундамента; в результате под синклиналями создаются относительно более нагруженные области (зоны выжимания), а под антиклиналями - менее нагруженные (зоны разрежения). Под подошвой чехла напряжения сжатия ориентированы перпендикулярно ей. Силовое поле под синклиналями имеет большую интенсивность, чем под антиклиналями. Вдоль шарнира действует лишь напряжение, обусловленное весом вышележащим пород: направление шарнира складки является направлением растяжения.

Происходящее в такой динамической обстановке метаморфическое минералообразование приводит к формированию гнейсовидности, конформной подошве чехла (наиболее четко выраженной под синклиналями) с линейностью, параллельной шарнирам складок чехла. Перемещение материала в зону разрежения может идти как из зоны выжимания, так и из области прямого действия генерального сжатия путем проскальзывания линзовидных литонов по ослабленным плоскостям формирующейся гнейсовидности с образованием структур скальвания (в структуре юго-восточной части Кукасоверского синклинория это пloyчатость скальвания).

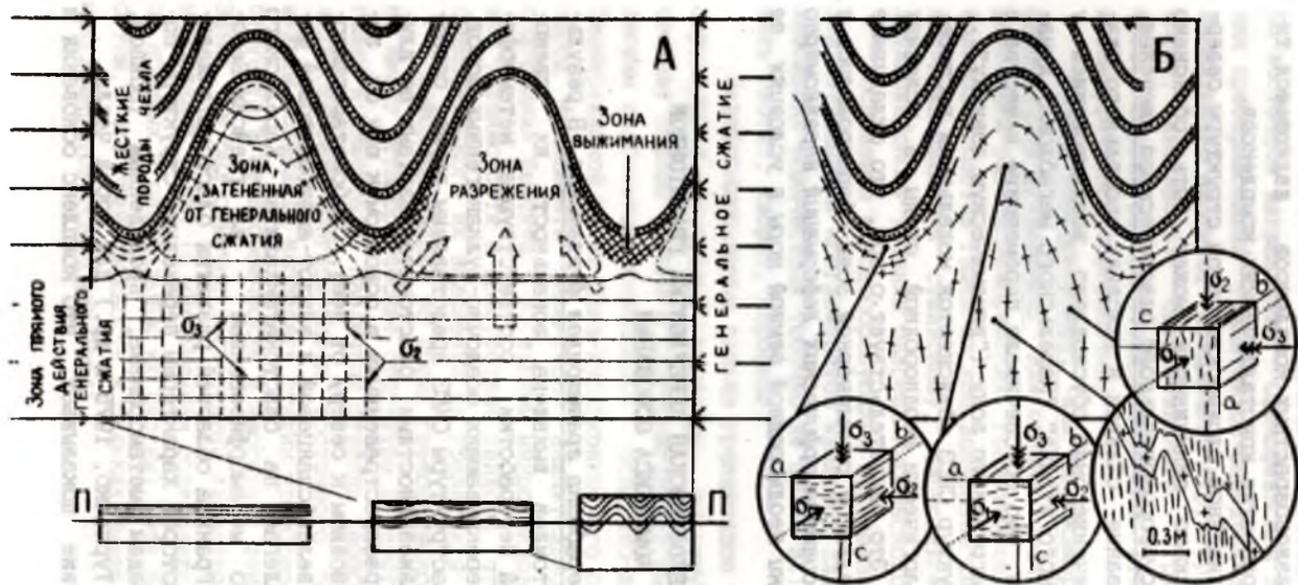


Рис.3. Динамическая обстановка в пластичном фундаменте под подошвой жестких пород чехла, сминающихся в складки (А) и положение формирующейся при этом в фундаменте гнейсовидности (В)

Широкими стрелками показаны направления тектонического транспорта. Внизу слева - стадии деформационного процесса, П-П - первичное положение подошвы жестких слоистых пород. На врезках-кружках - напряженные состояния в различных точках и гнейсовидность, образующаяся в соответствующих условиях; гранитная жила, деформированная в фольки скалывания

Приведенные модельные построения объясняют единство структурных планов разновозрастных комплексов, являющееся типичным для областей развития кристаллических комплексов.

Формирование нелинейной сложноскладчатой структуры северного крыла Кукасоверского синклиория может быть объяснено действием процессов субгоризонтального пластического течения, осложнивших формирование складок в условиях продольного сжатия. Пластическое течение было обусловлено возникновением у краевой части "жесткого штампа" (Карельского мегаблока) динамически различных зон, оно обеспечивало перемещение вещества в относительно менее нагруженную зону ("динамическую ловушку").

Особенности структур СКЗ объясняются модельными построениями деформаций реологически неоднородной среды в условиях продольного сжатия. Это свидетельствует о том, что складчатые структуры Северо-Карельской синклиорной зоны сформировались в ходе свекофенских синметаморфических деформаций неравномерно прогретой реологически неоднородной земной коры в условиях ее продольного сжатия.

Глава 4. СВЕКОФЕНСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ГРАНИТОИДОВ КОМПЛЕКСА ОСНОВАНИЯ

Структурная переработка гранитоидов фундамента. В результате изучения гранитоидов выявлена зональность их свекофенской структурной переработки, соответствующая метаморфической зональности перекрывающих осадочно-вулканогенных пород.

Гранитоиды инфраструктуры СКЗ представлены двумя основными структурными разновидностями: бластокатаклазитами по плутоническим породам (распространенными в основном к югу от зоны) и гнейсами (в основном к северу от нее). Слабометаморфизованные (в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций) породы чехла залегают на бластокатаклазитах Карельского мегаблока, интенсивно метаморфизованные - на гнейсах Беломорского мегаблока. Граница областей развития бластокатаклазитов и гнейсов, для которой характерны переходные структуры пород, конформна изографам метаморфизма, проведенным (Воинов, 1964б; Московченко, Турченко, 1975 и др.) для пород чехла.

Такое соответствие показывает, что комплекс основания и

осадочно-вулканогенный комплекс подчинены единой метаморфической зональности с увеличением степени метаморфизма в северо-восточном направлении. Свекофенский возраст метаморфических преобразований гранитоидов определяется возрастом породообразующего биотита, создающего структурные формы (гнейсовидность, линейность) свекофенского структурного парагенеза СКЗ. Структуры гранитоидов отражают глубину их свекофенской метаморфической переработки.

Гальки конгломератов, как индикатор первичного состава гранитоидов фундамента. Для оценки характера и времени преобразований раннедокембрийских гранитоидов Северной Карелии использован состав галек из конгломератов Северо-Карельской зоны, принадлежащих сумийскому, сариолийскому, ятулийскому и людиковийскому уровням разреза карельского комплекса.

Основными породообразующими минералами гранитоидов из галек изучавшихся конгломератов являются плагиоклаз и кварц. В небольших количествах (обычно не более 5%) могут присутствовать биотит, хлорит, карбонат.

Недеформированные гальки гранитоидов имеют магматические структуры и массивные текстуры; по структуре и минеральному составу породы близки к бластокатаклазитам фундамента, подстилающим слабометаморфизованные осадочно-вулканогенные породы Панаярвинской ветви Пана-Куоляярвинского синклинория. Но для пород фундамента характерно значительно большее (до 20-30%) содержание биотита - по данным микрозондового анализа - меньшей титанистости и присутствие эпидота (что является признаком свекофенского их наложения на гранитоиды фундамента).

Деформированные во время свекофенской складчатости гальки имеют метаморфические структуры и текстуры ("сквозные" для галек и цемента). Различная степень деформированности галек в людиковийских конгломератах восточного борта Куоляярвинской мульды позволила наблюдать стадии преобразования магматических структур в метаморфические и массивных текстур в гнейсовидные. Здесь же был отмечен постепенный характер биотитизации деформированных галек (с уменьшением содержания наложенного биотита от краевых к центральным их частям). Эти факты свидетельствуют о том, что гнейсовидность в гальках имеет возраст деформации конгломератов (свекофенский).

Решетчатый микроклин, типичный для пород фундамента, присутствует в гальках только в конгломератах, претерпевших интенсивный свекофеннский метаморфизм (в условиях не ниже эпидот-амфиболитовой фации) и очевидную микроклинизацию.

Из серии образцов галек гранитоидов нескольких участков были сделаны химические анализы. Все они показали натровую специализацию пород ($K_2O = 0,16-1,98$ масс.%) ($K = K_2O/Na_2O = 0,026-0,495$). Повышенные содержания K_2O ($K_2O = 1,32-1,98$ масс.%) ($0,2 < K < 0,5$) связаны со значительными содержаниями наложенного биотита в сильнодеформированных гальках. По составу изученные гальки соответствуют плагиогранитам и тоналитам.

Таким образом, обломочный гранитоидный материал поступал в рассматриваемые конгломераты в основном с эродировавшихся тел плагиогранитов. Разобшенность выходов конгломератов и их различное стратиграфическое положение говорят о том, что источник обломочного материала имел значительные размеры и однородный характер. По-видимому, обломочный материал конгломератов объективно характеризует раннепротерозойские эрозионные срезы района Северо-Карельской зоны.

Хорошо коррелируемые результаты изучения обломочного материала нижнепротерозойских конгломератов и структур гранитоидов фундамента приводят к следующим выводам.

Супракристалльные образования Северо-Карельской синклинирной зоны, обрамляемые plutonicкими породами (гнейсо-гранитоидами) Карельского мегаблока и гнейсами Беломорского мегаблока, накапливались на едином фундаменте, представленном в эрозионных срезах раннего протерозоя в основном плагиогранитами.

Гнейсы и гнейсо-гранитоиды обрамления Северо-Карельской синклинирной зоны представляют собой продукты свекофеннских вещественных и структурных преобразований раннедокембрийских plutonicких пород комплекса основания: на территории Карельского мегаблока они были превращены в бластокатаклазиты (гнейсо-гранитоиды), на территории Беломорского - в гнейсы.

Глава 5. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СЕВЕРО-КАРЕЛЬСКОЙ СИНКЛИНИРНОЙ ЗОНЫ

С начала протерозоя на эродированной континентальной зем-

ной коре в районе современной Северо-Карельской зоны в условиях рифтогенеза (Негруца Т.Ф., 1981, 1995 и др.) происходило накопление осадочно-вулканогенных толщ и внедрение расслоенных интрузий (сумий-сариолий), сменившееся в постсариолийское время протоплатформенным осадконакоплением, а затем орогенезом (Кратц, 1963; Негруца Т.Ф., 1981; Негруца В.Э., 1984 и др.).

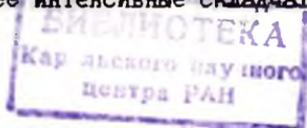
Однотипность деформаций различных стратонов карельского комплекса свидетельствует о том, что интенсивные складчатые деформации, обусловившие формирование складчатой структуры, произошли после накопления осадочно-вулканогенного разреза нижнего протерозоя, то есть на свекофеннском этапе карельской тектоно-магматической эпохи. Конформность толщ карельского и лопийского комплексов отражает значительную интенсивность свекофеннских складчатых деформаций и, вероятно, унаследованность плана позднеархейских деформаций в раннем протерозое. Свекофеннские деформации происходили в условиях продольного сжатия осадочно-вулканогенных пород карельского комплекса. В верхней части земной коры (в чехле) за счет высокой жесткости и слоистой неоднородности (не свойственных более однородному и в условиях метаморфизма - пластичному фундаменту) произошло смятие пород в складки продольного расплющивания. Породы фундамента подстраивались к деформациям чехла. Неравномерность прогрева земной коры обусловила зональность свекофеннского метаморфизма супра- и инфракомплекса. Плутонические породы супракомплекса были превращены в бластокатаклазиты и гнейсы.

В центральной части рассматриваемой территории складчатые деформации продольного сжатия осложнялись процессами субгоризонтального пластического течения вещества, обусловившими сложную морфологию северного борта Кукаозерского синклинория.

Формирование структуры СКСЗ завершилось в фанерозое движении по разноориентированным разрывным нарушениям.

Глава 6. МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ МОБИЛЬНЫХ ЗОН В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЬНОГО СЖАТИЯ

В главе изложены теоретические построения, касающиеся стиля структурообразования в мобильных зонах (линейных зонах, испытавших более интенсивные складчатые деформации, чем сосед-



ние участки земной коры), развивающихся в условиях продольного сжатия земной коры. Доказывается положение, что основными типами структур, формирующихся в таких условиях являются складки продольного расплющивания (изгиба) и складки скальвания. Рассмотрение механизма продольного сжатия слоистых толщ приводит к выводу, что последовательное образование складок продольного расплющивания (изгиба) и складок скальвания является выражением единого деформационного процесса.

Соотношение реологических свойств слоистых чехлов и гранитоидных оснований ограничивает многообразие типов структурообразования мобильных зон, развивающихся в условиях продольного сжатия, четырьмя "крайними" вариантами структурного развития. Слоистые породы чехла, не способные сминаться в складки продольного изгиба, могут расплющиваться совместно с фундаментом, образуя складки скальвания (1), или (если фундамент значительно более жесткий) деформироваться пассивно, подстраиваясь к деформациям верхней части расплющиваемого фундамента (2). Деформации с образованием складок продольного изгиба могут идти двумя путями: (3) в условиях сильного прогрева - с образованием сланцеватости 1-го рода в чехле и конформной ей гнейсовидности фундамента (данный вариант рассматривался в модельных построениях главы 3), и (4) в условиях слабого прогрева - с образованием кливажных вееров в породах чехла и гнейсовидности осевой плоскости в породах фундамента. Эти четыре варианта являются идеализированными, в конкретных природных объектах могут существовать их комбинации и промежуточные формы.

Соседство деформируемых (мобильных) зон и недеформируемых (стабильных) блоков, додеформационное строение которых одинаково, объясняется неравномерностью прогрева земной коры.

Заключение

Выводы, вынесенные в основные защищаемые положения диссертации, представляются важными для анализа эволюции района и Балтийского щита в целом.

Установленное в работе преобладание плагиогранитов в раннепротерозойских эрозионных срезях Северной Карелии является специфичным для Балтийского щита, земная поверхность которого

к началу раннепротерозойского осадконакопления характеризовалась широким развитием микроклиновых гранитов. По-видимому, эта специфика отражает малую глубину раннепротерозойской эрозии района, не вскрывшей фронт позднеархейской гранитивации.

Рассмотрение процессов синтетектонического текстуро- и структурообразования в слоистых породах и гранитоидах фундамента позволило выявить природу давно известного, но не находившего объяснения, структурного единства гнейсов Беломорского мегаблока и метаморфизованных осадочно-вулканогенных пород Северо-Карельской синклирной зоны. Принципиально важно положение о том, что различие распространенных в районе гнейсов Беломорского мегаблока и бластокатаклазированных гранитоидов Карельского мегаблока обусловлено различием интенсивности свекофенских преобразований плутонических пород.

Кристаллизационная сланцеватость 1-го рода с минеральной b-линейностью в слоистых породах и единый структурный план метаморфических текстур супра- и инфракомплекса объясняются синтетектоническим минералообразованием в гетерогенных средах, испытывающих деформации в условиях продольного сжатия земной коры. В связи с типичностью этих структурных элементов для областей развития кристаллических комплексов, данный вывод имеет определенное теоретическое значение.

Публикации по теме диссертации

1. Микроструктурный анализ ятулийских пород Ханкусьярвинской синклинали (Северная Карелия) // Актуальные проблемы геологии, петрологии и геохимии Балтийского щита. Петрозаводск, 1990. С.36-46.
2. Структурообразование мобильных зон (теоретическая модель) // Механизмы структурообразования в литосфере и сейсмичность. Тез. докл. Всесоюз. симпоз. М., 1991. С.196-197.
3. Структурный парагенез синскладчатого высокотемпературного регионального метаморфизма // Геотектоника. 1992. №2. С.22-29.
4. Образование складок продольного изгиба в условиях высокотемпературного регионального метаморфизма // Структурный анализ кристаллических комплексов (Тез. докл. IV Все-

росс. школы, Иркутск, 12-16 мая 1992 г.). Иркутск, 1992. С.24.

5. Динамическая природа зоны четкой линейности района восточного окончания оз.Кукас // Вопросы геологии и магматизма докембрия Карелии. Опер.-информ.материалы за 1991 г. Петрозаводск, 1992. С.21-26.

6. Образование складок в мобильных зонах в условиях продольного сжатия // Геотектоника. 1993. №1. С.33-38.

7. Результаты изучения галек гранитоидов из конгломератов Пана-Куолаярвинского синклинория (Северная Карелия) // Тезисы 7 конференции молодых ученых "Геология Балтийского щита". Апатиты, 1993. С.30-31.

8. О составе и деформациях галек гранитоидов из конгломератов северного берега оз.Кукас (Северная Карелия) // Геология и магматизм докембрия Карелии. Опер.-информ.материалы за 1992г. Петрозаводск, 1993. С.9-12.

9. О гранитоидах фундамента карелид Северной Карелии // Вопросы геологии докембрия Карелии. Петрозаводск, 1993. С.4-24.

10. Структурный парагенез синскладчатого высокотемпературного регионального метаморфизма // Структурные исследования кристаллических образований (теория, практика, методика). Тез. докл. V Всеросс.школы "Структурный анализ кристаллических комплексов" (17-19 мая 1994г.). СПб., 1994. С.47-48.

11. Конгломераты района оз.Апаярви (Северная Карелия) // Вопросы геологии, петрологии и минералогии Карелии. Петрозаводск, 1994. С.32-48.

12. О природе архейских гранитоидов зоны сочленения Карельского и Беломорского блоков Балтийского щита // ДАН. 1995. Т.342. №5. С.658-660.

13. Свекофеннские структурно-вещественные преобразования гранитоидов обрамления Северо-Карельской синклинорной зоны // Геология Балтийского щита и других докембрийских областей России, материалы 9 конференции памяти К.О.Кратца. Апатиты, 1995. С.91-92.

14. Structural Paragenesis in Synfolding High-Temperature Regional Metamorphism // Geotectonics. 1992. Vol. 26. No.2. P.105-110.

В. А. Яковлев