

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХРОНОЛОГИИ ДОКЕМБРИЯ

Не прѣвах рукописи

ЗИНГЕР Татьяна Филипповна

УДК 552.11+551.71/72 (470.22)

РОЛЬ ПРОЦЕССОВ УЛЬТРАМЕТАМОРФИЗМА В ПЕГМАТИТООБРАЗОВАНИИ
(НА ПРИМЕРЕ БЕЛОМОРСКОГО МЕТАКОМПЛЕКСА)

специальность 04.00.08 - петрография, вулканология

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Ленинград - 1990

Работа выполнена в Лаборатории петрологии магматических и метаморфических процессов Института геологии и геохронологии АН СССР.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
М.Е.Сялье

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
А.Н.Козаков,
кандидат геолого-минералогических наук
А.Г.Бушев.

Ведущая организация: Институт геологии Карельского ФАН СССР,
Петрозаводск.

Защита состоится " 21 " ноября 1990 г. в 11 час. 00 мин.
на заседании специализированного совета Д 003.72.01 при
Институте геологии и геохронологии АН СССР по адресу:
199034, Ленинград, наб. Макарова, д.2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГГД АН СССР.

Автореферат размещен " 10 " ^{октябрь} ~~сентябрь~~ 1990 года.

159873К

Ученый секретарь
специализированного совета
Д 003.72.01
кандидат геолого-минерало-
гических наук

Крас

Е.И.Кравцова



I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Проблема слодоносных и кермических пегматитов, развитых среди глубоко метаморфизованных комплексов раннего докембрия, является одной из наиболее сложных в петрологии. Если отроение самих пегматитовых жил и их кустов исследовано достаточно полно, то вопрос о формировании их исходных расплавов, а также субстратов, из которых они выплавились, остается изученным явно недостаточно. Вместе с тем, этот вопрос имеет большое значение для понимания всего круга явлений, связанных с пегматитообразованием, и соответственно для разработки геолого-петрологических критериев поисков участков развития пегматитов, в том числе и таких, где жилы еще не вскрыты эрозией. Тем самым этот вопрос имеет и важное практическое значение, особенно для районов, где эти пегматиты являются предметом промышленной эксплуатации.

Цель работы - изучение разновозрастных гренитоидов в Беломорском мегакомплексе и определение их роли в формировании промышленных слодоносных пегматитов.

Задачи исследования. В значительной мере, определялись существующим представлением о пространственно-генетической связи слодоносных пегматитов с локальными минимумами гравитационного поля (Корсаков и др., 1974). Для их решения было необходимо: 1) изучить гренитоиды на площадях, отвечающих локальным гравитационным минимумам, где они вскрыты эрозивным ореолом (участки Вехк-озеро, Пл-озеро, м-е Карельское); 2) выделить разновозрастные группы гренитоидов по разрезам глубоких скважин наиболее крупных месторождений слодоносных пегматитов (Малыновская впадина, Сладозеро) и, прежде всего, структурной скважины № 1594, пробуренной в районе локального минимума поля Δg (м-е Плотина); 3) выявить изотопно-геохимические и возрастные характеристики гренитоидов в локальном минимуме поля Δg (сква. 1594), недифференцированных пегматитов (м-е Плотина) и промышленных пегматитов Чупино-Лоухского слодоносного района.

Фактический материал. В основу работы положены результаты исследований автора, выполнявшихся в соответствии с планом НИР ИГГД АН СССР в разрезе тем: "Геология и петрология

гранитоидного магматизма раннего докембрия и его корообразующая роль" (подтема: "Роль анатексиса в процессах мигматито-, гранито- и пегматитообразования" - научный руководитель доктор геол.-мин.наук, профессор К.А.Шуркин) и "Структурно-метаморфические критерии локализации мусковитовых пегматитов" - научный руководитель доктор геол.-мин.наук М.Е.Салье (1981 и 1986 гг.; № гос.рег. 7603/384 и 01.84.0005148). В полевой период проводилась документация опорных обнажений, площадное картирование отдельных участков м-ба 1:25000 и изучение керн глубоких скважин (более 5000 погонных м). В основе петрологических выводов - результаты изучения более 1000 шлифов, ~1000 оригинальных вылизов, выполненных в ЦХЛ ПГО "Севзапгеология", и изотопно-геохимические исследования гранитоидов и пегматитов. Изотопные исследования проводились в ИГГД АН СССР под руководством доктора геол.-мин.наук И.М.Горохова.

Основные эврические положения. 1. Гранитоиды беломорского мегакомплекса в пределах Чупино-Лоухского района принадлежат к трем структурно-возрастным рядам, отвечающим беломорскому, ребольскому и свекофеннскому циклам; 2. Формирование промышленных керамических и мусковитовых пегматитов беломорского мегакомплекса связано с заключительными этапами развития свекофеннского цикла. Они входят в состав единого структурно-возрастного, сингенетического ряда анатектических гранитоидов этого времени, образование которых протекало в условиях квазитермостатированной системы гранитообразования; 3. Гранитоиды ребольского эндогенного цикла могли быть исходным субстратом анатектических расплавов родоначальных для промышленных пегматитов беломорского мегакомплекса.

Научная новизна. Впервые показано, что расплавы, образующие промышленные пегматиты, возникали в результате частичной ремобилизации раннеребольских гранитоидов, слагающих глубокие сечения исследованных гравитационных минимумов. Установленная в процессе исследований гетерогенность изотопного состава пегматитов может быть объяснена взаимодействием расплавов с веществом вмещающих "глиноземистых" гнейсов. Установлено, что квазитермостатические условия при образовании сингенетических анатектических гранитоидов свекофеннского цикла обусловили в конце его формирование в чупинской толще оу-

щественно плаггиоклазовых слюдоносных пегматитовых жил. Доказано, что беломорский, ребольский и свекофенвокий циклы закончивались аллохтонными ультраметатежными гранитоидами, удаленными от мест зарождения расплавов.

Практическая ценность заключается в обосновании парагенетической связи слюдоносных пегматитов с гравитационными минимумами поля Δg в м-бе I:50000 и генетической связи с проявленными в них свекофенскими ультраметатежными процессами. В размещении пегматитов определяющую роль играют региональные разломы, глубина заложения которых > 1 км.

Полученные результаты могут быть использованы как методическая основа для проведения крупномасштабных поисковых работ на закрытых территориях.

Апробация и реализация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на III Региональном петрографическом соещании (г.Днепропетровск, 1979), на Всесоюзном соещании "Физико-химическое моделирование в геохимии и петрологии" (г.Иркутск, 1980), на III Всесоюзном пегматитовом соещании (г.Иркутск, 1982), на Ленинградском изотопном семинаре (ноябрь, 1983) и реализованы при составлении прогнозной карты на "слюду-мусковит чупинской толщи м-бе I:50000" и прогнозных карт ряда месторождений м-бе I:10000 (Отчет о результатах работ по геологическому доизучению..., 1986ф).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, объемом 162 стр. машинописного текста, содержит 90 рисунков, 25 таблиц, библиография 139 наименований.

В главах 1, 2 приведен обзор результатов исследования мигматито-, гранито- и пегматитообразования СЗ Беломорья, рассмотрены основные черты геологического строения беломорского метаконтакса и охарактеризованы принципы реконструкции последовательности гранитообразования, используемые при определении последовательности перечисленных процессов в областях о полициклическим развитием. В главе 3 дана геологическая характеристика и последовательность мигматито- и гранитообразования исследованных участков. Главе 4 посвящена петрохимиче-

ской характеристике мигматитов и гранитоидов различных структурно-возрастных групп, выделяемых на поверхности и по разрезам скважин. В главе 5 на основе анализа петрохимических данных, изучения расплавных и газовой-жидких включений, а также по результатам изотопного исследования Rb-Sr системы в породах гравитационного минимума и промышленных пегматитовых жилах обсуждаются петрогенетические связи гранито- и пегматитообразования и формулируется ультраметавязный критерий локализации пегматитов.

Исследования на различных этапах выполнялись совместно с В.Н.Корсаковым, К.В.Лобновым, А.Б.Котовым, И.М.Гороховым, Э.П.Кутявиным, Л.М.Саморуковой, В.Н.Подковыровым. В ходе многочисленных обсуждений и товарищеских обменов мнениями автор получил полезные советы и замечания от В.Л.Дуке, Г.М.Арутюнова, Н.Д.Мялова, А.А.Ярмака, Е.П.Чуйкиной. Большую помощь в оформлении иллюстраций автору оказал Е.В.Антоненко.

Всем коллегам, способствовавшим выполнению исследований, автор искренне благодарен.

Особую благодарность автор выражает научным руководителям доктору геол.-мин.наук, профессору К.А.Шуркину и доктору геол. мин.наук М.Е.Салье за постоянное внимание к работе и ее поддержке.

П. ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. ГРАНИТОИДЫ БЕЛОМОРСКОГО МЕГАКОМПЛЕКСА В ПРЕДЕЛАХ ЧУПИННО-ЛОУХСКОГО РАЙОНА ПРИНАДЛЕЖАТ К ТРЕМ СТРУКТУРНО-ВОЗРАСТНЫМ РЯДАМ, ОТВЕЧАЮЩИМ БЕЛОМОРСКОМУ, РЕБОЛЬСКОМУ И СВЕКОФЕННСКОМУ ЦИКЛАМ (Главы 3, 4). Геологической основой для выделения разновозрастных гранитоидов послужили результаты изучения обнажений на опорных участках Вехк-озеро, Юл-озеро, Малиноварвского пегматитового узла, м-й Кяреельское, Плотина, Слюдозеро. На этих участках по взаимоотношениям мигматитов и гранитоидов со структурными формами были выделены структурно-возрастные ряды гранитоидов беломорского, ребольского и свекофеннского циклов и составлены частные шкалы последовательности мигматито- и гранитособразования (Глава 3). Для сопоставления разновозрастных мигматитов и гранитоидов в опорных обнажениях и участках, а также для выявления последовательности их форми-

ровения в Чупино-Лоухском пегматитовом районе, использовались результаты площадного картирования, проведенного ИГГД АН СССР совместно с Северной экспедицией ПГО "Севзапгеология" в 80-х годах при разработке темы "Структурно-метаморфические критерии локализации слюдоносных пегматитов". Эти исследования позволили разделить образования селецкого и свекофеннского циклов, что послужило принципиальной основой для выделения собственно свекофенских ультраметагенных процессов. Важными дополнительными критериями разграничения разновозрастных эндогенных циклов стали и выявленные в процессе исследования структурно-возрастные ряды гранитоидов беломорского мегакомплекса.

Мигматиты и граниты беломорского цикла устанавливаются с трудом, так как эти образования присутствуют в виде редких фрагментов среди преобладающих мигматитов и гранитоидов ребольского цикла. К наиболее ранним образованиям беломорского цикла принадлежит кварц-плагиоклазовая лейкосома Im_1 и Im_2 , которая была встречена в чупинской толще только в тонко-мелкозернистых гранат-биотитовых гнейсах, сохранившихся в виде линз и прослоев среди среднезернистых мигматизированных гранат-биотитовых и дистен-гранат-биотитовых гнейсов. В участках развития лейкосомы Im_1 и Im_2 наблюдаются постепенные переходы по простиранию от мелкозернистой Im_1 к крупнозернистой лейкосоме Im_2 . Обычно присутствуют самостоятельные жильные обособления Im_2 , пересекающие полосчатость Im_1 , что может быть следствием частичного дифференциального вытексиса. Последнее подтверждается и результатами анализа составов на основе 4^X-компонентной диаграммы $Ab-An-Or-Qu$ (H_2O) (Кравцова, 1976). Анатектическим гранитоидам соответствуют только лейкосомы микроклин-плагиоклазовых гнейсов, которые по составу близки к возможным инициальным расплавам в системе $Ab-An-Or-Qu$. Выявлена зависимость состава лейкосом от состава исходных пород.

Процессы гранитообразования беломорского цикла завершались кристаллизацией плагиоклаз-микроклиновых гранитоидов $I\delta_1$, которые на диаграмме $Ab-An-Or-Qu$ имеют энхикотектический состав, характерный для позднегранитоидных формаций раннедокембрийских эндогенных циклов. Ранее Л. М. Саморуковой в

гранитах $\text{I}\delta_{\text{I}}$ были обнаружены включения раскристаллизованного расплава в кварце, с температурой гомогенизации ($T_{\text{гом.}} = 760^{\circ}\text{C}$). Это превышает температуру метаморфизма (T_{M}), соответствующую уровню становления гранитоидов, и позволяет рассматривать их как эллохтонные образования, значительно удаленные от уровня генерации исходного расплава. Следует подчеркнуть, что в беломорском цикле устанавливается направленный ряд ультраметаморфических образований с формированием в начале плагиоклазовых гранитоидов, в конце цикла - плагиоклаз-микроклиновых перемещенных гранитов и связанных с ними пегматитов.

Мигматиты и граниты ребольского цикла. К ребольскому циклу относится главная масса гранитоидов и мигматитов исследованных участков. С его ранней стадией связано внедрение интрузий плагиогранитов и гранодиоритов $\text{P}\delta_{\text{I(0)}}$, $\text{P}\delta_{\text{I}}$, широко развитых на площади Мелиноварвского пегматитового узла (участок Шатков бор), а также на месторождении Керельском и участке Вехк-озеро, где они расположены в районе гравитационного минимума. Обычно $\text{P}\delta_{\text{I}}$, $\text{P}\delta_{\text{I}}$ образуют поля, состоящие из ряда отдельных, полностью согласных и гармоничных со складчатыми структурами рамы, пластинчатых и линзовидных тел. Вследствие неоднократного наложения интенсивных деформаций и связанных с ними метаморфических преобразований эти гранитоиды повсеместно превращены в гранитсодержащие гнейсогранодиориты и гнейсоплагиограниты. По химическому составу они отвечают высокощелочным гранитам и гранодиоритам. На проекциях "гранитного" тетраэдра составы исследованных пород образуют компактное изометрическое поле в плагиоклазовом объеме. Петрохимические и геологические данные указывают на то, что рассматриваемая группа пород принадлежит к формации интрузивных (ортомагметогенных) раннеоскладчатых плагиогранитов.

Рассматриваемые гранитоиды часто выступают в качестве субстрата для мигматитов главной стадии мигматитообразования ребольского цикла (Pm_{I} , $\text{Pm}_{\text{I}+2}$), соответствующих формированию складчатых структур $\text{PF}_{\text{I}+1}$ и $\text{PF}_{\text{I}+2}$. Сжатые и изоклинные складки $\text{PF}_{\text{I}+2}$ являются главными складчатыми структурами всех исследованных участков. Минеральный и химический состав лейкосом, так же как и в мигматитах беломорского цикла, зависит от состава исходного субстрата. В ребольском цикле в качестве

анатектических могут рассматриваться только кварц-плаггиоклазовые лейкосомы биотитовых гнейсов, составы которых на проекциях "гранитного" тетраэдра располагаются вблизи котектической поверхности "плаггиоклаз-кварц". В этих лейкосоме обнаружены реликты магматических структур и включения раскристаллизованного водонасыщенного расплава, $T_{\text{гом.}} = 700-710^{\circ}\text{C}$. При изучении гранат-биотитовых и дистен-гранат-биотитовых гнейсов чупинской толщи ни в одном из случаев тренд изменения составов в паре мезосомы \rightarrow лейкосомы на проекциях тетраэдра не соответствовал анатектическому процессу. Лейкосомы данных гнейсов обогащены кварцем, в связи с чем на классификационной диаграмме $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ точки их составов часто располагаются за пределами области составов магматических пород, а на диаграмме Ab-An-Or-Qz тяготеют к кварцевому и плаггиоклазовому объемам системы.

В конце ребольского цикла произошло формирование плаггиоклаз-микроклиновых гранитов, эплитов ПХ₂₋₃, имеющих состав субщелочных гранитоидов и лейкогранитов Na-K серии и пегматитов. Граниты содержат реликты магматических структур и расплавы, кристаллофлюидные включения с $T_{\text{гом.}} = 760-780^{\circ}\text{C}$ и так же, как граниты беломорского цикла, являются перемещенными, относительно глубинными источниками расплавов. Изменение составов при переходе от рассмотренных выше лейкосом ПХ₁₋₂ к гранитам ПХ₂₋₃ в системе Ab-An-Or-Qz полностью соответствует тренду магматической кристаллизации из плаггиоклазового объема. Такую же направленность имеет изменение состава при переходе от ПХ₁ к ПХ₂. Учитывая геологическое положение гранитоидов, завершающих ребольский цикл, можно предполагать, что образование эплотонных и субэплотонных гранитов ПХ₂ является следствием дифференциации анатектических расплавов, возникших в кульминационную стадию ультраметаморфизма ребольского времени. Образование эплотонных гранитов ПХ₃ связано с дифференциацией тех же анатектических расплавов в более глубоких сечениях зоны ультраметаморфизма. Таким образом, интрузивные равнесплавленные гранитоиды, лейкосомы ПХ₁₋₂, а также поздние интрузивные плаггиоклаз-микроклиновые эплотонные граниты и пегматиты образуют полный ряд гранитоидов ребольского эндогенного цикла.

По геологическому положению к завершающим ребольский цикл субавтохтонным и аллохтонным гранитоидам ПХ^(м)₂₋₃ близки метасоматические гранитоиды ПХ₂₋₃. Они образуют постепенные переходы к вмещающим породам и содержат унаследованные структурные элементы рвы. На диаграмме $Ab-An-Or-qu$ точки составов этих гранитов располагаются неслучайно, что подтверждает их метасоматическое происхождение. Процессы метасоматоза несколько запаздывали по отношению к магматическим гранитам и, возможно, связаны с растворами, выделявшимися при их кристаллизации.

Гранитоиды селецкой фазы складчатости, так же как и интенсивные деформации этого времени, проявлены локально на северном и южном флангах Чулино-Лоухского складчатого района и приурочены к зонам тектоно-магматической активизации. Выделены лейкозоны Шм₁, Шм₂, ориентированные параллельно осевым поверхностям (ОП) сжатых субширотных складок ШФ₁ (шарниры по падению крутопадающих ОП) и складок ШФ₂ переменной степени сжатости с субгоризонтальными ОП. Для лейкозоны Шм₁ характерен кварц-плагиоклазовый состав, ортогнейсовый или мелкопегматидная структура, а для Шм₂ и присутствие порфиробласт плагиоклаза. Лейкозоны Шм₁ и особенно Шм₂, вероятно, имеют метасоматическое происхождение. Перемещенные гранат-биотит-микроклин-плагиоклазовые влиты (ШХ), разделяющие ШФ₁ и ШФ₂, как правило, представлены массивными породами с впиточной структурой. На участке г. Полярная установлено, что они пересекают зоны кислотного выщелачивания ребольского цикла. Процессы ультраметаморфизма селецкой фазы завершались образованием мусковит-микроклин-плагиоклазовых пегматитовых жил.

Особенности образования селецких складок, их прерывистое распределение и приуроченность к зонам сдвигов (ШФ₁) и надвигов (ШФ₂), редуцированный характер гранитообразования, выраженный, главным образом, в развитии полевошпатового порфиробластеза, а также Rb/Sr отношения в ранних и поздних селецких гранитоидах, более высокие по сравнению с позднескладчатыми гранитоидами ребольского цикла, позволяют рассматривать гранитоиды селецкой фазы складчатости как возможные образования завершающей стадии ребольского эндогенного цикла.

Мигматиты и граниты свекофенского цикла. В частях рез-

реза беломорского мегакомплекса, вскрытых эрозионным срезом, ультраметабазитные образования этого времени распространены широко, но представлены в незначительных объемах. Свекофенские анатектоиды и метасоматиты наиболее характерны для районов месторождений. От более ранних ультраметабазитных образований они отделены зонами расщелачивания и порфиробластеза, завершающими селецкую фазу складчатости и внедрением раннесвекофенских ультраосновных и основных двек. В обобщенном виде последовательность основных магматических и метаморфических событий приведена в таблице. Характеристика гранитоидов дается при обосновании второго защищаемого положения.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ И МУСКОВИТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ БЕЛОМОРСКОГО МЕГАКОМПЛЕКСА СВЯЗАНО С ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫМИ ЭТАПАМИ РАЗВИТИЯ СВЕКОФЕНСКОГО ЦИКЛА. ОНИ ВХОДЯТ В СОСТАВ ЕДИНОГО СТРУКТУРНО-ВОЗРАСТНОГО, СИНТЕНЕТИЧНОГО РЯДА АНАТЕКТИЧЕСКИХ ГРАНИТОИДОВ ЭТОГО ВРЕМЕНИ, ОБРАЗОВАНИЕ КОТОРЫХ ПРОТЕКАЛО В УСЛОВИЯХ КВАЗИТЕРМОСТАТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ.

К прогрессивной стадии ультраметабазитного гранитообразования свекофенского цикла принадлежит неравномернозернистые лейкосомы $IУм_1$, $IУм_{2-3}$ плаггиогранитного состава, локализованные в трещинах и полостях, связанных с формированием складок $IУФ_1$, $IУФ_2$, $IУФ_3$. Жильный материал $IУм_1$ обычно выполняет трещины скольжения, ориентированные параллельно осевым поверхностям субширотных открытых прямых складок $IУФ_1$, или зоны неэкономерно ориентированной трещиноватости в сводовых частях этих складок. Субширотные складки $IУФ_1$, в отличие от складок $ШФ_1$ селецкой фазы, распространены повсеместно, имеют более открытую форму и преимущественно пологую ориентировку шрифиров. Для лейкосомы $IУм_1$ характерны диффузные взаимоотношения с вмещающими породами, указывающие на тесную вещественную взаимосвязь и автохтонный характер жильного материала.

Жильные гранитоиды $IУм_{2-3}$ выполняют разрывы, связанные с формированием прерывисто проявленных открытых прямых меридиональных складок $IУФ_2$ (лейкосомы $IУм_2$), а также складок $IУФ_3$ зон пластического сдвига с северо-западной крутой ориентировкой ОП и одновременных с ними складок зон надвигов с субгоризонтальными ОП (лейкосомы $IУм_3$). Для жильных гранитоидов $IУм_{2-3}$ обычен автохтонный характер. Лишь где-то они обнаружи-

Таблица

Схема последовательности основных магматических и метаморфических событий в нижнем докембрии Чупино-Лоухского района

Фазы складчатости, эрозионный цикл (млн. лет)	Основные магматические и метаморфические события
СВЕКОФЕНСКИЙ 2000-1750	Промышленные пегматиты; граниты и мигматиты $I_{Уш1}$ - $I_{Уш2}$; в конце цикла - дистен-кварцевая и мусковит-кварцевая фации кислотного выщелачивания; снижение T-P параметров от 620° до 400° C и от 7 до 5,5 кбар; в начале цикла - фация альмандиновых амфиболов высоких давлений (фациальная серия B_2); дайковый комплекс базитов $I_{УВ}$.
СЕЛЕЦКАЯ 2500-2300	Граниты и мигматиты III_{X} , III_{Y} и III_{Z} ; на поздних стадиях - регрессивный метаморфизм в условиях мусковит-кварцевой фации, на ранних стадиях - фация альмандиновых амфиболов (фациальная серия B_1 , AB); комплекс перцолит-гэброноритов III_{B2} и слоенные интрузии III_{I} .
РЕБОЛЬСКИЙ 2800 - 2600	Граниты и мигматиты $IV_{I(0)}$, IV_{I} , IV_{1-2} , $IV_{2'}$, IV_{2-3} , $IV_{2-3}^{(M)}$, IV_{n+1} , IV_{n+2} ; в конце цикла - регрессивный метаморфизм в условиях дистен-кварцевой фации кислотного выщелачивания и дайковый комплекс базитов IV_{B3} ; в начале цикла - фация альмандиновых амфиболов высоких давлений (фациальная серия B_2) и базиты IV_{B2} ; основные вулканы IV_{I} .
БЕЛОМОРСКИЙ > 3000	Граниты и мигматиты I_{X1} , $I_{ш1}$ и $I_{ш2}$; в конце цикла - регрессивный метаморфизм в условиях дистен-кварцевой фации ($T = 655^{\circ}$ C, $P = 9,5$ кбар); в начале цикла - гренулитовый метаморфизм высоких давлений; безальтоидный магнетизм в эффузивной и, возможно, интрузивной фациях (базиты I_{B1}).

Примечание: таблица составлена по литературным данным (Земляя коре..., 1973; Мигматизация..., 1985; Отчет о результатах..., 1986ф).

вуют признаки субвдохтонного образования. Наиболее крупнозернистые лейкосомы этой возрастной группы с пегматоидной структурой, как правило, размещаются в трещинах отрыва со смещением. Для лейкосомы $IУ_{M3}$, локализованной в трещинах отрыва без смещения и в трещинах скальвания, характерны орто-тектитовая и гипидиоморфнозернистая структуры.

В процессе переходе от ранних стадий к поздним происходит смена вдохтонного гранитообразования влдохтонным. В отдельных обнажениях удается проследить непосредственный переход гранитообразующего вещества от зоны зарождения, в сводовой части субширотной складки $IУ_{F1}$, до места его локализации в трещине отрыва. По химическому составу гранитоиды $IУ_{M1}$ и $IУ_{M3}$ идентичны. Составы гранитоидов располагаются близко к котектической поверхности плагиоклаз-кварц в системе $Ab-An-Or-Qu$. При переходе от вмещающих пород к гранитам $IУ_{M1}$ и $IУ_{M3}$ частные тренды изменения составов соответствуют модели перциального плавления. В гранитоидах часто встречаются расплавленные включения, расположенные в кварце и полевых шпатах. Все это свидетельствует об внетектической природе исследованных лейкосом. Статистический анализ взаимоотношений полевых шпатов и кварца в данных лейкосомах выявил их соответствие модели идеального гранита (методика А.Б.Вистелиуса).

Формирование влдохтонных и влдохтонных гранитоидов является отражением единого внетектического процесса, в ходе которого в связи с тектоническими движениями происходило обособление, в не конечных стадиях и отделение расплавов, давших начало единому сингенетическому ряду гранитоидов $IУ_{M1}-IУ_{M3}$. К этому эволюционному ряду принадлежат и завершающие свекофенский эвдогенный цикл эплиты и пегматиты, в том числе и промышленные, формирование которых также принадлежит к позднему заключительному этапу. Пегматиты пересекают крылья и ОП субширотных и субмеридиональных складок $IУ_{F1}$ и $IУ_{F2}$ и приурочены к зонам пластического сдвига. Формирование пегматитов завершает становление гранитоидов свекофенского цикла. В целом, все рассматриваемые внетектитовые гранитоиды имеют близкий состав, что свидетельствует об их образовании без существенной дифференциации вещества. Единая петрохимическая серия от существенно натриевых пород к существенно калиевым, характерная для рассмотренных выше беломорского и ребольского цик-

лов, здесь отсутствует. Среди гранитоидов $IУш_{1-3}$ не наблюдаются также и составы, близкие к эвтектоидным гранитам.

Близость составов гранитоидов в различных возрастных группах свекофеннского цикла указывает на развитие процесса в условиях квазитермостатирования. Об этом же свидетельствуют и высокие $T_{гом}$ расплавленных и кристалло-флюидных включений, установленные как в наиболее ранних лейкосомах $IУш_1 - 720^{\circ}C$, так и в гранитоидах $IУш_3 - 650-750^{\circ}C$ (Мигматизация..., 1985). Регрессивной ветви эвтектического процесса соответствуют промышленные пегматиты беломорского мегмакомплекса. Однако и в них выявлены расплавленные включения с $T_{гом} = 700^{\circ}C$ (Бакуменко и др., 1981; Косухин и др., 1984), близкой к $T_{гом}$ расплавленных включений в гранитоидах $IУш_1$ и $IУш_3$. Аплиты и пегматиты относятся к явно влохтонным образованиям, возникшим в результате отделения родоначальных расплавов в глубинных частях очагов эвтексиста на стадии их консолидации.

Исследование связей мигматито- и гранитообразования привело к выводу о том, что все эвтектические циклы беломорского мегмакомплекса, включая и свекофеннский, завершились формированием ультраметаморфных влохтонных гранитоидов, кристаллизовавшихся достаточно далеко от места зарождения расплавов. Для подобного перемещения расплавов на значительное расстояние необходимо наличие региональных разломов и зон трещиноватости. Связь слюдоносных пегматитов СЗ Беломорья с разломами неоднократно подчеркивалась теми исследователями, которые выдвигали на первый план в оценке их размещения структурный фактор (Никитин, 1950, 1953; Рыцк, 1959, 1962 и др.). Изучение роли процессов ультраметаморфизма в пегматитообразовании подтверждают эти выводы и показывают, что главную роль в структурной локализации пегматитов играли регионально выраженные разломы. При этом метаморфогенетическая специализация пегматитов зависит от условий регионального метаморфизма (Соколов, 1959, 1970), а формирование жил происходило на регрессивной стадии метаморфизма (Салье, 1983) и ультраметаморфного гранитообразования.

Анализ химических составов существенно олигоклезовых, мусковит-олигоклезовых, мусковит-микроклин-олигоклезовых и олигоклез-микроклиновых пегматитовых жил показал: 1) относительную высокотемпературность расплавов существенно олигоклез-пегматитовых жил (уделенность нормативных точек составов пег-

метитовых жил от линии котектики в системе $Ab-Al-Ot-Qu$;

2) возможность кристаллизации мусковит-олигоклезовых пегматитов из высокотемпературного однородного расплава и изменение составов данного типа жил нежелательными метасоматическими процессами; 3) мусковит-микроклин-олигоклезовые пегматитовые жилы являются также высокотемпературными, но они, вероятно, имели иной, чем олигоклезовые и мусковит-олигоклезовые пегматиты, источник вещества; 4) составы олигоклез-микроклиновых жил соответствуют более низкотемпературным расплавам (системе перестала быть термостатированной) и отражают неравновесность условий кристаллизации и завершение пегматитообразования метасоматическими процессами. Согласно В.В.Гордиенко (1970, 1976, 1979), минералы одной и той же жильной серии имеют "сквозное" фракционирование редких элементов, что, по его мнению, свидетельствует о существовании связи между жильными полостями - и свободном фракционировании микроэлементов в пределах протяженных по вертикали тектонических зон.

Промышленные слюдоносные пегматиты локализованы в породах чупиной толщи. Однако непосредственно вмещающие их "продуктивные высокоглиноземистые гнейсы", очевидно, не могли являться источником пегматитообразующих расплавов, на что указывает анализ пар "мезосома — лейкосома" на диаграмме $Ab-Al-Ot-Qu$. Вывод об отсутствии петрохимических связей составов слюдоносных пегматитов с составами непосредственно вмещающих их гнейсов следует и из особенностей химизма этих пород, свидетельствующих о том, что отношение $Na_2O:K_2O$ в пегматитах резко отличается от такового в расплавах, которые должны были возникать в результате анатексиса дистен-гранат-биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов (Минеев, Салье, 1971).

Особенностью гранитообразования свекофеннского цикла явилось то, что оно происходило в условиях квазистермостатированной системы, при насыщении расплава водно-водородным флюидом. Составы жильных гранитоидов различных возрастных групп близки. Именно поэтому регрессивная стадия данного цикла представлена в чупиной толще существенно плагиоклезовыми пегматитовыми жилами.

Заключительной стадии свекофеннского цикла отвечают процессы метасоматического гранитообразования. Они характерны для зон расщелачивания и разрывов, завершающих свекофеннский

цикл. Метасоматиты пересекают все складчатые структуры и типы мигматитов, в том числе и складки IУФ₃. Они представлены зонами плагноклазового и плагноклаз-микроклинового порфиробластеза (отдельные порфиробласты, цепочки порфиробласт, секущие зоны порфиробластических пород). Процессы метасоматоза несколько опережали формирование зон разрывов, поскольку формирование последних сопровождается расслаблением порфиробластов. Расслабление проявлено иногда и в пегматитовых жилах. Источником вещества для образования порфиробластических мигматитов, по-видимому, послужили растворы, высвобожденные при кристаллизации свекофенских анатектит-гранитов. Их миграция вдоль тектонически ослабленных зон привела к интенсивному развитию плагноклазового и плагноклаз-микроклинового порфиробластеза. Эти процессы широко проявлены в породах скважин исследованных месторождений. Активное развитие калиевого метасоматоза на заключительном этапе ультраметаморфического гранитообразования характерно именно для данного цикла. Первые признаки метасоматоза фиксируются с момента формирования рудоуправляющих субмеридиональных структур. Степень гранитизации и калиевого метасоматоза по разрезам скважин нарастает с глубиной. В глубоких горизонтах всех месторождений обнаружены микроклиновые метасоматиты, которые по характеру развитых в них ассоциаций принадлежат к микроклин-кварцевой фации кислотного выщелачивания в условиях дистен-силлиманитового типа метаморфизма. В этих метасоматитах коэффициент восстановленности флюидов имеет наименьшее значение по сравнению с флюидами всех предшествующих продуктов ультраметаморфизма (Мигматизация..., 1985).

Специфика ультраметаморфизма свекофенского цикла состоит: 1) в формировании в чулинской толще существенно плагноклазовых пегматитовых жил, 2) в совпадении максимальной кислотности растворов с их существенно калиевой специализацией и 3) в максимальной окисленности флюидов. Сочетание перечисленных факторов и определило в этом цикле как интенсивное пегматитообразование, так и формирование в пегматитах мусковита.

3. ГРАНИТОИДЫ РЕБОЛЬСКОГО ЭНДОГЕННОГО ЦИКЛА МОГЛИ БЫТЬ ИСХОДНЫМ СУБСТРАТОМ АНАТЕКТИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ РОДОНАЧАЛЬНЫХ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕГМАТИТОВ БЕЛОМОРСКОГО МЕГАКОМПЛЕКСА.

Для выяснения причин пространственной связи слюдоносных пегматитов с локальными минимумами гравитационного поля были исследованы гранитоиды таких минимумов в районах месторождений Карельское и Плотина. Вблизи Копет-озера месторождения Карельское в коренных выходах амфиболсодержащих биотитовых плагиоклазовых гранитогнейсов, наиболее ранние плоскостные текстуры (в том числе мигматитовая полосчатость) сняты в складки различных этапов деформаций ребольского цикла. Верхняя возрастная граница гранитоидов четко маркируется развитыми в них специфическими складками, которые наблюдаются в зонах пластического сдвига селецкой фазы складчатости. Наиболее поздними (постселецкими) ультраметаморфными образованиями здесь являются крупнозернистые пегматоидные двуполовошпатовые лейкосомы, локализованные вдоль ОП субмеридиональных прямых складок, и ветвящиеся пегматоидные лейкократовые граниты свекофенского эндогенного цикла. От более ранних образований они отделены внедрением двйки сумийских норитов-лерцолитов Копет-озера - начало свекофенского эндогенного цикла. Таким образом, плагиоклазовые гранитогнейсы гравитационного минимума, согласно структурно-геологическим данным, представлены ранне-ребольскими П₅^{I(0)} или, возможно, еще более древними гранитоидами. В них проявлены процессы ремобилизации свекофенского цикла.

На месторождении Плотина структурной скважиной № 1594, расположенной в центральной части минимума, вскрыты гнейсовидные плагиоклазовые и плагиоклаз-микроклиновые гранитоиды, на долю которых с глубины 400 м и до забоя (900 м) приходится ~ 85% разреза. В них часто встречается линзовидный кварц, ориентированный мусковит, а также наблюдается дистен-микроклиновый пергетезио, характерный для процессов селецкой фазы складчатости. Исследование Rb-Sr системы в вольвых пробах выявило изохрону, соответствующую возрасту 2710 ± 100 млн. лет и первичному отношению $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr} = 0,7034$ (средний квадрат взвешенных отклонений (СКВО) = 0,87). Установливаются высокие Rb-Sr отношения 0,50-2,16, характерные для позднескладчатых гранитов. Возраст 2710 ± 100 млн. лет согласуется со значением 2640 ± 120 млн. лет, полученным ранее Rb-Sr изохронным методом по породе в целом для гранитов ребольского цикла (Горохов и др., 1981), а также с U-Pb возрастом цирконов $2680 \pm$

+40 млн. лет в магматических и метаморфических породах Беломорского мегакомплекса (Тугаринов, Бибикова, 1980), который отражает широкое проявление в СЗ Беломорье процессов ультраметаморфизма и гранитообразования. По петрохимическим особенностям гранитоиды кернв скважины аналогичны ранне- и позднекладчатым гранитоидам ребольского цикла, изученным на поверности.

Итак, структурно-геологические исследования пород в гравитационном минимуме (Копет-озеро), а также петрографическое и изотопно-геохимическое изучение кернв из месторождения Плотина, свидетельствуют о резком преобладании в гравитационных минимумах докембрийского (ребольского) гранитного материала.

Также были исследованы Rb-Sr системы в недифференцированных существенно плагиоклазовых пегматитах месторождения Плотина, в краевых и боковых зонах плагиоклазовых промышленных пегматитов месторождения Карельское (состав этих зон, согласно М.Е.Салье, 1962, идентичен составу недифференцированных существенно плагиоклазовых пегматитов) и в средних пробах мусковит-плагиоклазовых пегматитов месторождения Малиновая вераха. Жилы недифференцированных пегматитов образуют эрохрону с возрастом 1610 ± 370 млн. лет и первичным отношением $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,7111 \pm 0,003$ при СКВО = 2,38. Полученное значение возраста согласуется с уран-торий-свинцовым, рубидий-стронциевым и калий-аргоновым возрастными промышленными пегматитов. На Rb-Sr эволюционной диаграмме, где представлены составы всех анализируемых проб, область, в которой лежат фигуративные точки, может быть ограничена двумя параллельными изохронами сравнения с возрастом 1650 млн. лет, которые определяют интервал первичных отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ пегматитовых расплавов во время кристаллизации. Из этих данных следует, что породы, послужившие источником расплава, 1650 млн. лет назад должны были иметь изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в интервале от 0,709 до 0,717. Следовательно, пегматиты могли образовываться из смеси ребольских гранитоидов и вмещающих их глиноземистых гнейсов. Очевидно, расплавы, возникающие в массивах ребольских гранитоидов по пути миграции, активно реагировали с материалом вмещающих гнейсов (что видно по изменению составов глиноземистых гнейсов на диаграмме $\text{Al}^{\text{IV}}-\text{Al}^{\text{VI}}-\text{O}^{\text{IV}}-\text{Si}$). Взаимодействие с гнейсами приводило к снижению отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и вариациям первичного

изотопного состава стронция как от жилы к жиле, так и в разных частях одной и той же жилы.

В исследованных жилах пегматитов присутствуют цирконы разных морфотипов. Их свинец-свинцовый возраст колеблется от 2570 до 1700 млн. лет. Следовательно, в жилах присутствуют как цирконы, отвечающие возрасту пегматитообразования, так и реликтовые - захваченные из гранитов в процессе их мобилизации. Цирконы с аналогичными свинец-свинцовыми значениями возраста выявлены и в керне окв.1594.

Таким образом, третье защищаемое положение доказывается: 1) пространственной приуроченностью пегматитовых жил к областям развития ребольских гранитоидов; 2) трендами эволюции анатектизации мезозома - лейкозома, свидетельствующими о неанатектической модели образования лейкозома в глиноземистых гнейсах чупинской толщи; 3) изотопно-геохимическими данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы сводятся к следующему:

1. На обширном фактическом материале, собранном преимущественно по эвловым месторождениям мусковитовых пегматитов Чупино-Лохуского района, систематизированы данные о последовательности формирования гранитоидов и лейкозома мигматитов беломорского мегакомплекса. Установлено, что беломорский, ребольский и свекофеннский эндогенные циклы завершились кристаллизацией аллохтонных ультраметаморфных гранитоидов, в том числе свекофеннский цикл и кристаллизацией промышленных пегматитов, температуры кристаллизации которых заметно превышают температуру метаморфизма, соответствующую уровню их становления. Показано, что для продуктивных гнейсов чупинской толщи, вмещающих мусковитовые пегматиты, не характерно анатектическое гранитообразование. Вмещающие пегматиты мигматизированные гнейсы не являются источником расплава жильных тел. Все это в сочетании с данными по скважине 1594 накладывает определенные ограничения на альтернативные представления о структурном контроле промышленных пегматитов, поскольку свидетельствует об удаленности гранитов и пегматитов от уровней генерации расплава. В качестве структурного фактора размещения пегматитов должны рассматриваться только протяженные, регионально выраженные зоны разломов.

2. Возникновение расплавов, исходных для промышленных мусковитовых и керамических пегматитов, генетически связано с процессами анатектического гранитообразования в свекофенновском цикле. Специфика условий соответствовавшего ему ультраметаморфизму определялась квазитермостатированием гранитообразующих систем. В итоге на регрессивной ветви анатектического процесса возникли оптимальные условия для длительного существования ультраметаморфических расплавов и формирования мусковит-олигоклязовых и мусковит-микроклин-олигоклязовых пегматитов в чупинской толще. Образованию мусковита способствовала существенно калиевая специализация флюидов, их максимальная окисленность и кислотность. При низкой концентрации калия в растворах возникла ассоциация мусковит-кварцевой фации. Дальнейшее повышение активности калия в растворах приводило к образованию микроклина по мусковиту, а при еще более высокой активности калия происходило замещение кварца микроклином (микроклин-кварцевая фация, по В.А.Глебовицкому и С.А.Бушмину). Последнее постоянно фиксируется в породах глубоких скважин, пробуренных на месторождениях.

3. Источником вещества ультраметаморфических пегматитообразующих расплавов являлись ранне-позднескладчатые гранитоиды ребольского цикла, пространственно приуроченные к минимуму гравитационного поля. Промышленные мусковитовые пегматиты обнаруживают связь с гранитоидами такого типа только в том случае, если в них развиты ультраметаморфические и метасоматические процессы (калиевый метасоматоз, кислотное выщелачивание) свекофенновского цикла.

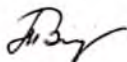
По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Полипегматиты Беломорского комплекса и их генезис. - В кн.: Петрология и корреляция кристаллических комплексов Восточно-Европейской платформы. Тезисы докладов III регионального петрографического совещания (Днепропетровск, сентябрь 1979 г.). Киев, "Наукова Думка", 1979, с.169-170.
2. Беломорский комплекс. - В кн.: Магматические формации раннего докембрия территории СССР. Т.1, М., Недра, 1980, с.222-247. Сопавторы: Ф.П.Митрофанов, К.А.Шуркин.
3. Проверка анатектитовой модели образования пегматитов раз-

- ного вещественного состава. - В кн.: Магматические формации складчатых областей Сибири, проблемы их происхождения, рудоносности и картирования. Тезисы докладов. Новосибирск, 1981, с.33-35. Соввтор: Ф.П.Митрофенов.
4. О петрогенетической связи мигматитов и пегматитов Беломорья. - В кн.: Тез.докладов III Всесоюзного пегматитового совещания, Иркутск, 1982, с.III-II2. Соввторы: К.А.Шуркин, А.Б.Котов, Ф.П.Митрофенов, В.Н.Корсаков.
 5. Петрогенетическая связь мигматитов и пегматитов Беломорья. - В кн.: Геология и генезис пегматитов. Л., 1983, с.145-155. Соввторы: К.А.Шуркин, А.Б.Котов, Ф.П.Митрофенов, В.Н.Корсаков, К.В.Лобанов.
 6. Петрохимическая эволюция ультраметабазных гранитоидных ассоциаций Беломорья. - В кн.: IX семинар по геохимии магматических пород. Москва, 1983. М., Тез.докладов, с.74-75. Соввторы: А.Б.Котов, Ф.П.Митрофенов.
 7. Гранитообразование в геологическом развитии Беломорского мегаблока. - В кн.: Эволюция магматизма в главнейших структурах Земли. Москва, 1983, Тез.докладов. М., 1983, с.79-80. Соввторы: А.Б.Котов, Ф.П.Митрофенов, Л.М.Семорукова.
 8. Основные черты развития беломорского мегакомплекса. - В кн.: Мигматизация и гранитообразование в различных термодинамических режимах. Л., 1985, с.II-18. Соввторы: А.Б.Котов, Ф.П.Митрофенов.
 9. Структурно-вещественная характеристика мигматитов и гранитоидов. Там же, с.18-40. Соввтор: А.Б.Котев.
 10. Петрохимия. Там же, с.48-71. Соввторы: А.Б.Котов, Ф.П.Митрофенов.
 11. Последовательность и характер развития процессов ультраметаморфизма и гранитообразования. - В кн.: Геология и пегматитовосность беломорид. Л., 1985, с.146-161. Соввторы: А.Б.Котов, М.Е.Салье, Л.М.Семорукова.
 12. Некоторые вопросы генезиса мусковитовых пегматитов. Там же, с.218-221. Соввтор: М.Е.Салье.
 13. Поведение рубидия и стронция при формировании ультраметаб-

генных гнейсов Беломорского мегаблока. Геохимия, № 12, 1986, с.1667-1677. Совторы: А.Б.Котов, М.М.Менуйлова, Г.Б.Ферштатер.

14. Структурная сква.1594 на месторождении Плотина. Краткая петрографическая характеристика. - В кн.: Комплексные поисковые критерии слюдяносных пегматитов Беломорья.1988,с.78-84.
15. Характеристика и корреляция процессов метаморфизма пород в границах поля гравитационного минимума. Там же,с.95-100. Совтор: К.А.Шуркин.
16. Изотопно-возрастные исследования пород скважины. Там же. Рубидий-стронциевый метод, с.106-108. Совтор: Э.П.Кутявия. Термозахронный метод, с.108-109. Совтор: Л.В.Сумин.
17. Вещественно-петрогенетическая зональность. Там же, с.113-115. Совтор: К.А.Шуркин.
18. Petrogenesis of anatexite-granites and migmatites.- Geologica Carpathica, 32.5, Bratislava, October 1981, pp.599-604. Совтор: К.А.Шуркин.



Ротп.АНИИ.Земля 171-300 экз.

Подписано к печати 10.06.80

Уч.изд.д.0.9 Бюджетно.