

ВОРОНЕЖСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ.ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

ГОРЬКОВЕЦ Валентин Яковлевич

**ГЕОЛОГИЯ ЖЕЛЕЗИСТО-КРЕМНИСТЫХ ФОРМАЦИЙ
И ЭВОЛЮЦИЯ ЖЕЛЕЗОНАКОПЛЕНИЯ В РАННЕМ
ДОКЕМБРИИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА**

**Специальность: 04.00.11 - геология, поиски и
разведка рудных и нерудных месторождений,
металлогения**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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

ВОРОНЕЖ 1992

Работа выполнена в Институте геологии Карельского научно-исследовательского центра Российской Академии наук

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Н.А.ПЛАКСЕНКО (ВГУ)

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Л.И.ФИЛАТОВА (МГУ)

доктор геолого-минералогических наук,
профессор В.М.КРАВЧЕНКО (ДГИ)

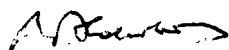
Ведущее предприятие: Институт геологии и геохронологии докембрия АН России

Защита состоится " 18 " мая 1992 год
в 12 час. на заседании специализированного совета Д.063.48.0
по защите диссертации на соискание ученой степени доктор
наук при Воронежском государственном университете по
адресу: г.Воронеж, 394693, Университетская пл. 1, ВГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного университета.

Автореферат разослан " 17 " апреля 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор геолого-минералогических наук



Г.В.Холмова

ВВЕДЕНИЕ

Проблема образования докембрийских железисто-кремнистых формаций продолжает оставаться актуальной. Интерес к железистым кварцитам объясняется не только значением железистых пород как источника железных руд, но и тем особым положением, которое они занимают в геологической истории Земли.

Железисто-кремнистые образования известны на всех материках и являются обязательной составной частью метаморфических комплексов. Эти метаморфизованные своеобразные породы, представлявшие собой, как считает большинство исследователей, железисто-кремнистые осадки, преобразованные метаморфизмом в магнетитовые кварциты и сланцы, впервые появились в архее, максимально развиты в протерозое и к концу протерозоя практически исчезли, что вероятно обусловлено строго определенными физико-химическими, палеогеографическими и палеотектоническими параметрами, существовавшими в докембрии и не повторившимися в более поздние эпохи.

Железистые кварциты, имеющие широкое распространение в докембрии, в пределах древнейших щитов в разнообразных геологических формациях имеют много общих, повторяющихся черт в своем составе и строении. Но на протяжении всего докембрия состав железисто-кремнистых образований и вмещающих их формаций эволюционно изменялись.

Актуальность проблемы связана с необходимостью оценки железорудных районов восточной части Балтийского щита на легкообогащаемые высококачественные железные руды, пригодные для металлургического производства. Актуальность изучения железисто-кремнистых формаций Карельского региона обусловлена слабой разработанностью теоретических представлений о процессах рудообразования, связанных с седиментацией раннедокембрийских архейских осадочных и осадочно-вулканогенных концентраций железа и их преобразования при метаморфических процессах. При этом, территория Балтийского щита может послужить одним из полигонов, где имеется возможность установления эволюции железорудообразования в докембрии с раннего архея до протерозоя включительно.

Цель работы - установление эволюции железорудообразования,

выявление закономерностей развития высокометаморфизованных комплексов докембрия Балтийского щита на основе изучения строения месторождений, состава железисто-кремнистых и вмещающих пород, определения условий концентрации железа при седиментогенезе и метаморфизме, дальнейшее развитие теории рудообразования и совершенствование методов поиска железных руд.

Основные задачи исследований

1. Детальное изучение геологического строения железорудных месторождений и состава железных руд различных формационных типов, выявление связи процессов рудообразования с этапами развития рудоносных формаций.

2. Разработка структурно-геохронологической шкалы для позднеархейских (лопийских) комплексов и привязка к ней седиментационных, метаморфических, метасоматических, магматических и рудогенных процессов с целью установления условий развития железисто-кремнистых формаций.

3. Выявление, расчленение и корреляция железисто-кремнистых раннедокембрийских формаций, установление их характерных черт, определение условий формирования и метаморфических преобразований в них; установление различий между позднеархейскими и протерозойскими железисто-кремнистыми формациями.

4. Установление палеогеографических, физико-химических и геодинамических условий формирования железисто-кремнистых формаций с целью определения эволюции железнакопления в докембрии Балтийского щита.

Методика исследований. В основу исследований взят комплексный анализ состава и строения различных в генетическом отношении и разновозрастных рудоносных железисто-кремнистых формаций. Этот анализ включает реконструкцию первичного состава осадочных и вулканогенных пород, геодинамические и палеогеографические условия их формирования; оценку физико-химических условий рудообразования и метаморфизма; палеогеографических и палеовулканологических реконструкций древнейших вулканогенно-осадочных толщ на основе металлогенического, фациального и формационного анализа.

Фактический материал. В основу диссертации положены результаты многолетних тематических исследований автора Восточной части Балтийского щита в процессе исследований по пла-

нам НИР, утвержденным ГКНТ СМ СССР, в которых автор являлся ответственным исполнителем и руководителем разделов тем по изучению стратиграфии, металлогении и железнакопления в раннедокембрийских комплексах. Для сопоставления и обобщения использованы материалы исследований, собранные автором на некоторых месторождениях и рудопроявлениях зеленокаменных поясов Финляндии, проводимых по программе научно-технического Советско-Финляндского сотрудничества в области геологии, а также железорудных месторождений Кольского полуострова, КМА и УКЦ по комплексной межотраслевой проблеме по изучению железорудных формаций докембрия Европейской части СССР.

Научная значимость и новизна работы

Научная значимость данных исследований заключается в проведении комплексного формационного анализа железорудных лопийских комплексов Карелии, установлении закономерной связи железнакопления с осадочными и вулканогенными процессами и метаморфическими преобразованиями; установления физико-химических, палеогеографических и геодинамических параметров железнакопления в позднем архее Балтийского щита; выявления связи эндогенных геодинамических режимов и железнакопления в докембрии БЩ, установлении эволюции железнакопления в раннем докембрии Балтийского щита.

В работе впервые проведено детальное изучение условий залегания и состав руд и вмещающих пород, выделены генетические типы руд, установлены физико-химические параметры процессов рудообразования и показана связь со вмещающими толщами; составлены крупномасштабные геологические карты железорудных районов и среднемасштабная металлогеническая карта на железо Карелии, составлен сводный стратотипический разрез лопийских (позднеархейских) образований восточной части Балтийского щита; детально охарактеризованы рудоносные железисто-кремнистые формации и установлена их полигенность; реконструирована первичная природа пород формаций; проведено сопоставление разновозрастных железисто-кремнистых формаций Балтийского щита.

Практическая ценность диссертации определяется тем, что в работе разработаны научные основы прогнозирования железных руд в районах развития высокометаморфизованных докембрийских комплексов Балтийского щита, используемые в практике работы

поисково-съемочных, геологоразведочных и горнорудных предприятий (Карельская комплексная поисково-съемочная экспедиция ПГО "Севзалгеология", Костомукшский ГОК).

Внедрение результатов исследований в практику также осуществлялось при проведении хозяйственных работ и работ по договорам о сотрудничестве с Карельской ПСЭ и Тематической экспедицией ПГО "Севзалгеология" и Костомукшским ГОКом.

Результаты исследований автора вошли в геологические отчеты, карты производственных организаций, излагались в рекомендациях, докладывались на НТС экспедиций и объединений, нашли отражение в листах геологических карт дочетвертичных образований, научным редактором которых является автор.

Апробация работ. По теме диссертации опубликовано более шестидесяти работ, в том числе 10 монографий. Результаты исследований изложены в 14 научно-исследовательских и 8 производственных и хозяйственных отчетах.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на советско-финляндском симпозиуме "Стратиграфическое положение и геохронология докембрийских кремнисто-железистых формаций Балтийского щита (Петрозаводск, 1973); I Всесоюзном совещании по металлогении докембрия (Ленинград, 1975); Всесоюзном совещании по проблемам железорудного сырья Сибири и Дальнего Востока (Якутск, 1976); Всесоюзном литологическом совещании (Апатиты, 1977); III Всесоюзном палеовулканическом симпозиуме (Новосибирск, 1977); Всесоюзном семинаре "Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносности" (Фрунзе, 1978); II Всесоюзном совещании по металлогении докембрия (Иркутск, 1981); 27 Международном геологическом конгрессе (Москва, 1984); V Всесоюзном совещании по метаморфогенному рудообразованию (Ужгород, 1986); IV Региональном Петрографическом совещании (Петрозаводск, 1987); Рабочем совещании - дискуссии по реконструкции первичной природы метаморфических пород (Ленинград, 1988); XII Всесоюзном металлогеническом совещании (Киев, 1990); Всесоюзном литологическом совещании (Славское, 1990); II Всесоюзном совещании по стратиграфии архея и протерозоя (Уфа, 1990); Советско-финляндском симпозиуме "Типы и эпохи развития зеленокаменных поясов и их металлогения" (Костомукша, 1991); Советско-финляндском симпози-

уме по проблемам корреляции докембрия (Апатиты, 1991). В 1991-1995 годах результаты исследований обсуждались в отчетах на ежегодных межведомственных совещаниях по проблеме ЖФЛ.

Структура и объем работы. Текстовая часть диссертации состоит из введения, семи глав, заключения, содержит 544 страниц машинописного текста, 38 таблиц и 103 рисунка. Список использованной литературы включает 430 наименований.

Работа выполнена в Институте геологии Карельского научного центра Российской академии наук.

Процесс многолетних исследований, постановка темы и работа над ней складывалась под влиянием идей, основу которых составили труды Я.Н.Белевцева, П.М.Горяинова, В.М.Григорьева, А.А.Глаголева, А.А.Дроздовской, В.И.Казанского, К.О.Кратца, Г.И.Калыева, В.М.Кравченко, Н.А.Корнилова, Е.М.Лазько, С.Б.Мябач-Жученко, В.Е.Милановского, Ю.П.Мельника, В.З.Негруппы, Н.А.Плаксенко, Л.И.Салона, Н.П.Семененко, А.А.Сиворонова, Н.М.Страхова, Л.И.Филатовой, Л.Н.Формозовой, В.Е.Ханжа, Л.Я.Харлом, И.Н.Шеголева, Н.П.Шербака, а также труды Р.М.Гаррелса, А.М.Гудчина, Т.Пирайнена, А.Ф.Трендалла, Р.Фрича, У.Т.Хемланга и многих других. Большое значение для исследований имели консультации и беседы, а также методическая помощь со стороны ученых научно-исследовательских институтов и сотрудников производственных организаций, занимающихся изучением геологии, металлогении железисто-кремнистых формаций.

Автор признателен В.М.Григорьеву, И.К.Коваль, С.И.Рыбакову, А.П.Светову, Л.П.Свириденко, К.И.Хейсканену за советы и замечания, которые оказались очень полезными, что способствовало улучшению работы.

Глубокую признательность автор выражает ближайшим коллегам М.Б.Раевской, Е.Ф.Белоусову, В.Н.Кожевникову, О.И.Володичеву, Л.С.Головановой, Ю.И.Лазареву, К.А.Ининой, чье участие в выполнении в различные годы совместных исследований во многом способствовали завершению работы.

Автор благодарен за помощь в оформлении работы И.А.Власовой, Г.И.Ильиной, О.Л.Кожевниковой, И.А.Пахомовой, Н.Е.Мурзаевой.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1.3 раннем докембрии Балтийского щита установлены три возрастных уровня формирования стратифицированных вулканогенно-осадочных и осадочных метаморфизованных железисто-кремнистых формаций: верхнеархейский (3,2-2,7 млрд. лет); и два уровня в нижнем протерозое - ладновийский (раннекаральский) - 2,1-2,0 млрд. лет и сваяофенинский (позднекаральский) 1,9-1,7 млрд. лет.

История исследования докембрийских железисто-кремнистых формаций на Балтийском щите, посвященная различным аспектам железноснакопления, насчитывает несколько десятилетий.

Вопрос о положении железисто-кремнистых формаций в стратиграфической шкале докембрия на Балтийском щите, их метаморфическое преобразование и геотектонические позиции нашли развитие в работах отечественных и зарубежных геологов: М.А. Гиндровой; К.О. Крайца, В.М. Чернова; Л.Я. Харитонова, В.И. Лазарева, М.М. Степняра, К.А. Ивниной, О.И. Володичева, М.С. Точилина, П.М. Горинюкова, А. Лайски, Ю. Пааннола, У. Латвалахти, Н. Магнуссона, Р. Фрича и многих других.

Огромный вклад в решение многих фундаментальных вопросов геологии железисто-кремнистых образований, их генетической и формационной классификации сделали отечественные геологи. Причем, среди исследователей 60-70 годов (Чернов, В.М., Крайц К.О., Степняр М.М. и др.) преобладали представления об одном, нижнепротерозойском уровне развития на Балтийском щите железисто-кремнистых формаций, генезис которых определялся как вулканогенно-осадочный.

В результате работ, проведенных исследователями в Карельском и Кольском регионах, а также зарубежной части Балтийского щита получен новый фактический материал, который на основании комплексных исследований, включающих литологические, структурные наблюдения, геофизические, петрохимические, радиологические данные, минералогические исследования, формационный и литологический анализы пород железисто-кремнистых формаций позволил по новому подойти к стратиграфическому расчленению железорудных комплексов, определению первичной при-

роды образований, структурной позиции железорудных комплексов и решения многих других геологических вопросов.

С учетом изложенного к настоящему времени геологический материал в совокупности с радиологическими данными из равнинной долинной Балтийского щита выделены три структурно-формационных комплекса: саамский (беломорский) (> 3300 млн. лет); лопийский ($3300-2600 \pm 100$ млн. лет); карельский ($2600 \pm 100 - 1650 \pm 100$ млн. лет) (стратиграфия докембрия Карельской АССР, 1984; Геология Карелии, 1987 и др.). Для каждого из выделенных комплексов характерны специфический тектоно-магматический режим, формационный состав и металлогенетические особенности.

В составе выделенных комплексов железисто-кремнистые формации развиты неравномерно: в составе саамского комплекса железисто-кремнистые образования выявлены не были; лопийский структурно-формационный комплекс содержит основные запасы железных руд (железисто-кремнистые формации) на Балтийском щите; железисто-кремнистые образования карельского (железотранспортного) комплекса, развитие преимущественно в зарубежной части щита, располагаются на двух стратиграфических уровнях - лопийском ($2100-2000$ млн. лет) и свекофелъском ($1900-1700$ млн. лет).

Железисто-кремнистые формации в составе лопийского структурно-формационного комплекса развиты исключительно в восточной части Балтийского щита, располагаясь в виде изолированных локальных структур (зеленокаменных поясов) в пределах Западно-Карельской структурно-формационной зоны Карельского региона, Восточно-Финляндской зоны Финляндии и Кольско-Норвежском блоке Кольского полуострова.

Стратиграфическое положение железорудных вулканогенно-осадочных образований позднего архея (лопия) определяется тем, что они располагаются выше отложений саамского комплекса и с угловым несогласием перекрываются образованиями карельского комплекса.

В качестве стратиграфического для позднего архея восточной части Балтийского щита Решением РМСК по Северо-Западу СССР (Петрозаводск, 1982) принят разрез лопийского комплекса Костомукшского железорудного района, имеющий трехчленное деление.

Нижняя часть разреза лопия Карелии представлена образова-

Нижние изокзерской толщи, сложена грубыми терригенными отложениями аркозового типа, превращенными процессами метаморфизма в разнообразные гранатосодержащие слюдястые гнейсы, реже конгломератами.

Средняя часть разреза лопия, имеющая широкое развитие в Карелии, представлена осадочно-вулканогенными и вулканогенными комплексами контокоской серии подразделяемой на три свиты: ниемиярвинскую, шурловаарскую и рувинваарскую.

Одним из главных стратиграфических реперов, свидетельствующих о значительном перерыве, смене палеотектонического режима в лопии, имеющим большое генетическое значение и послужившим основой для разделения лопийских образований на ранне- и позднелопийские, является архейская метаморфизованная плащадная кора химического выветривания (Горьковец, Раевская, 1953, 1956, 1961; Светова, 1939) и базальные полимиктовые конгломераты, выделенные в ряде лопийских структур, перекрывающие кору выветривания.

Верхняя часть разреза позднелопийских супракrustальных толщ железорудных районов Карелии сложена существенно метатерригенными и хемогенно-осадочными железорудными образованиями гимольской серии, которые подразделяются на четыре свиты (снизу вверх): сундозерскую, мекозерскую, костомукшскую и сурлампинскую.

Суммарная мощность супракrustальных лопийских комплексов превышает 6 тыс.м.

Породы лопийского комплекса прорываются интрузивными телами габбро-диабазогранитовой, гипербазитовой формации, мигматизируется и прорывается гранитами мигматит-гранитовой формации (Геология Карелии, 1987),

Структурный план лопия восточной части Балтийского щита представлен сочетанием изометричных или овально-вытянутых купольно-блоковых структур, сложенных тоналито-гнейсами и мигматитами и окаймляющих их сложно ориентированных (амебообразных, серповидных и т.д.) или линейновытянутых сопряженных или разорванных синклинальных структур, сложенных вулканогенно-осадочными супракrustальными лопийскими толщами.

Структурные наблюдения свидетельствуют о неоднократных и различной интенсивности деформациях лопийских супракrustаль-

ных толщ.

В результате ребольского этапа тектонических движений лопийские толщи испытали не менее трех фаз складчатых формаций (Лазарев, 1971).

Наиболее широко в регионе распространены изоклинальные складки первой (F_1) наиболее интенсивной фазы складчатости, сформировавшейся в результате гранитоидного диапиризма, который приподнимал и раздвигал супракрустальные породы лопия, создавая структуры окаймленных куполов.

Складки F_2 и F_3 фаз складчатости, менее интенсивные и имеющие неравномерное развитие, могут быть связаны с диапирозом подъемом поздних микроклиновых гранитов (F_2) или приурочены к сбросо-сдвиговым зонам (F_3).

Метаморфизм пород лопийского комплекса, был неоднократным, крайне сложным и неравномерным (Володичев, Голованова, 1989).

Метаморфизм, проявившийся автономно в породах нижозерской толщи и контоксской серии в период лоухского этапа складчатости, являлся более однородным и соответствовал условиям амфиболитовой — эпидот-амфиболитовой фаций.

Более сложным, неоднократным и неравномерным является зональный метаморфизм пород гимольской серии, обусловленный проявлением ребольского этапа тектогенеза, условия которого менялись от зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций до амфиболитовой фации с увеличением его интенсивности от осевых, ядерных частей к фланговым, периферийным частям структур.

Карельский комплекс, относимый по возрасту к нижнему протерозою, резко несогласно перекрывает разновозрастные комплексы архея и неравномерно развит на Балтийском щите. Лопийская подвижная область, завершившая свое развитие стадий стабилизации территории на рубеже 2700-2600 млн. лет представляла собой кратонизированный участок Земной коры (протоплатформа). Формированию карельского комплекса предшествовала значительная по времени денудация и выравнивание лопийских комплексов и блоков гранито-гнейсового фундамента.

На основании геологических и радиогеохронологических данных образования нижнего протерозоя (карелия) расчленяются на ряд стратиграфических подразделений — надгоризонтных (снизу вверх): сумийский, сарилийский, ятулийский, людиловский,

калевийский, свекофенянский, вепсийский.

Железисто-кремнистые образования (железистые кварциты) нижнего протерозоя отмечаются в составе лодиковийского и свекофенянского надгоризонтов, развитых преимущественно в зарубежной части Балтийского щита. В пределах Карельского региона с карельским комплексом нижнего протерозоя связаны лишь кластогенные магнетит-песчаниковые толщи янгозерского горизонта (сегозерская серия) и кластогенные образования гематит (магнетит)-карбонатно-песчаникового состава туломозерского горизонта (онежская серия) ятулия, сформировавшихся в платформенный этап при разрушении и выветривании железорудных толщ подстилающих лопийских комплексов.

Железисто-кремнистые марганецсодержащие образования в составе лодиковийского надгоризонта отмечаются в центральной и северной Финляндии и приурочены к протерозойскому сланцевому поясу Кайнуу и зеленокаменному поясу Киттиля Финской Лапландии (Laaajoki, 1975, 1988; Paakkola, Gehör, 1988 и т.д.).

В структурном отношении сланцевый пояс Кайнуу, располагающийся на гранитогнейсовом докарельском основании, представляет собой синклинорий, протяженностью 200 км. Стратиграфический разрез карельского комплекса Кайнуу (Laaajoki, Saikkonen, 1977; Laajoki, ets, 1988); включает (снизу вверх): сумийские основные вулканиды и метаосадки сариолия; ятулийские кварциты; офиолиты Ёрмуа (Kontinen, 1986); метаосадочные образования "морского ятулия", включающие магнетитовые кварциты, перекрываемые метапелитами калевия, на которые, в свою очередь, несогласно налегают красноцветные косослоистые песчаники свиты иляла Северного Приладожья.

Метаморфизм пород и руд лодиковийского комплекса пояса Кайнуу по минеральным парагенезисам соответствует амфиболитовой фации.

Вулканогенно-осадочные комплексы Центральной Лапландии нижнего протерозоя представлены преимущественно двумя возрастными стратиграфическими единицами: лаппонием, коррелируемым (Laaajoki, 1988) с комплексом Кайнуу Центральной Финляндии и вышележащей формацией ораниеми, сложенной кварцитами и конгломератами. К верхней части лаппония приурочен зеленокаменный комплекс Киттиля, сложенный основными, ультраосновными и

средними по составу эффузивами, с которыми ассоциируют железисто-кремнистые образования (Paakkola, Gehör, 1988).

Условия регионального метаморфизма пород соответствуют в основном зеленосланцевой фации.

Свекофенский структурно-формационный комплекс, представленный вулканогенно-осадочными супракrustальными толщами, включающими марганец- и фосфорсодержащие железисто-кремнистые образования, относится к позднему карелию (1,9-1,7 млрд. лет), формирует Южно-Свекофенский и Ладожско-Ботнический подвижные пояса, рассматриваемые исследователями (Симонен, 1980; Гейер, 1967; Латвалаhti, 1979 и др.) как эпикратонная геосинклиналь.

В составе свекофенского комплекса Южной Финляндии, Центральной и Северной Швеции исследователи (Симонен, 1980; Маттуссон, 1970; Мякеля, 1983; Фрич, 1980, 1982 и т.д.) выделяют ряд возрастных групп пород, среди которых нижние части разреза представлены зеленокаменными базальтоидными толщами и кислыми вулканогенно-осадочными образованиями риолитового и риодацитового состава (лептиты); завершают разрез свекофенский осадочные толщи конгломератов, граувакк, филлитовидных слюдястых сланцев по метаосадкам флишевого типа.

Супракrustальные образования свекофенские несогласно перекрываются песчаниками и конгломератами серий Вакко, Хауккалаки, Риссаваара, Куусиваара, Варгфорс и конгломератами Эльвесторп Швеции.

Железисто-кремнистые образования свекофенского комплекса приурочены к нижней части разреза, ассоциируют с кислыми существенно пирокластическими вулканитами риодацитового состава.

Метаморфизм вулканогенно-осадочных образований отвечает амфиболитовой фации низких давлений.

2. В позднеархейском комплексе Балтийского щита выделяется следующий естественный эволюционный ряд формаций: коматит-базальтовая и толеитовая с рудопроявлениями железа; риолит-дацитовая железисто-кремнистая; терригенная (флишевая) железисто-кремнистая.

Выделение геологических формаций проведено на основе принципов, которые сложились в результате работ Н.С.Шатского (1965), Н.П.Хераскова (1952, 1967). Под формацией понимается естественные ассоциации горных пород, парагенетически связанные друг с другом, группирующиеся в закономерные ряды и возникающие в определенных геологических условиях на различных этапах развития региона. Смена формаций по Н.П.Хераскову представляется как отражение изменений тектонического режима данной территории и литологическое выражение определенных его этапов.

Наименование формаций дано с использованием кайнотипной терминологии по главным составляющим членам формации с учетом "снятия" метаморфизма. Причем, при определении названий формаций учитывается объем железисто-кремнистых пород в составе формаций: при наличии железисто-кремнистых образований в составе формаций более 3-5% в название формаций введен термин "железисто-кремнистая"; менее этого - название "железисто-кремнистая" опускается.

В составе супракрустальных лопийских образований Западной Карелии, включающих железисто-кремнистые осадки, выделяется эволюционный ряд геологических формаций: нижняя терригенная (аркозовая); коматит-базальтовая; толеитовая; дацит-риолитовая железисто-кремнистая; терригенная (флишевая) железисто-кремнистая.

В составе формаций, за исключением нижней терригенной (аркозовой), присутствуют железистые кварциты, но степень рудоносности формаций неодинакова.

Породные ассоциации коматит-базальтовой и толеитовой формаций широко развиты в лопийских (позднеархейских) структурах восточной части Балтийского щита.

Доминирующими членами данной формации являются толеито-

вые базальты, образующие довольно монотонные толщи с резким преобладанием лавовых фаций. Вторым по значимости членом формации являются породы коматитовой серии - перидотитовые, пироксенитовые коматиты и коматитовые базальты, составляющие в отдельных структурах до 10% объема формации.

Второстепенными членами коматит-базальтовой и толентово-формаций являются метаморфизованные железисто-кремнистые осадки (магнетитовые и силикатные сульфидсодержащие кварциты) и глиноземистые углеродсодержащие осадки (сланцевые сланцы), составляющие до 0,2% объема формации.

Главными членами риолит-дацитовой железисто-кремнистой формации, развитой на этом уровне лишь в Костомукшской структуре, являются существенно пирокластическая толща риодацитового состава, а также железисто-кремнистые осадки, составляющие до 10-12% объема формации, превращенные процессами метаморфизма в магнетитовые сульфидсодержащие сланцы и кварциты. Менее развиты глинистые углеродсодержащие осадки, преобразованные в углеродсодержащие сланцы, составляющие до 1-2% объема формации.

Среди магнетитовых кварцитов формации, представляющих собой яснослоистые породы и магнетитовых сланцев - не слоистых или нечеткослоистых, по содержанию магнетита и соотношению окисного и закисного железа выделяются кварциты окисно-закисного рудного, окисно-закисного малорудного и закисно-силикатного безрудного типов. По минеральному составу магнетитовые кварциты относятся к грюнерит-, биотит- и актинолит-содержащим разновидностям, магнетитовые сланцы - к биотит- и роговообманковым разновидностям.

Исследования главного рудного минерала магнетитовых сланцев и кварцитов (Раевская, Стебновская, 1988, 1990) формации показало, что он формирует три генерации. Причем, магнетит наиболее распространенной второй генерации представлен двумя морфоструктурными разновидностями - собственно магнетитом и мушкетовитом.

Терригенная (флишевая) железисто-кремнистая формация в пределах Западно-Карельской и Восточно-Финляндской зон Балтийского щита пользуется наиболее широким распространением и венчает

разрезы лопийского структурно-формационного комплекса. Доминирующими членами формации являются метаморфизованные терригенные осадочные породы, представленные слоистыми и ритмично-слоистыми слюдистыми сланцами, углеродсодержащими филлитовидными сланцами, конгломератами, гравелитами, метаграувакками, а также метаморфизованные хомогенные железисто-кремнистые осадки (магнетитовые кварциты), составляющие до 30% объема формации.

Второстепенными членами формации, развитыми локально в отдельных лопийских структурах, являются эффузивные образования риодацитового и андезит-дацитового составов.

Наибольшим развитием среди основных членов формации пользуются слоистые слюдистые сланцы с псевдоморфозами по высокоглиноземистым минералам. Характерной особенностью слюдистых сланцев является ритмичная слоистость типа градационной, где в ритмах от подошвы к кровле происходит закономерное уменьшение размеров обломочных частиц, а в сложнопосроенных ритмах смена терригенного материала хомогенным. Литологические, петрохимические и геохимические особенности этих пород, ассоциации с железисто-кремнистыми образованиями позволяют диагностировать эти своеобразные породы в архейскую разновидность флиша - железисто-кремнистый флиш (Горьковец, 1977; Горьковец, Раевская, 1977, 1981).

Широким распространением среди членов формации пользуются магнетитовые кварциты рудного окисно-защисного, малорудного окисно-защисного и безрудного защисно-силикатного типов различного минерального состава - рибекит-магнетитовые, биотит-магнетитовые, гринерит-магнетитовые, кроссит-магнетитовые, актинолит-магнетитовые, магнетит-гринерит-биотитовые, гринерит-биотитовые, содержащие сульфидные минералы. Эти разновидности магнетитовых кварцитов различны по текстурным особенностям, парагенезису минералов и содержанию магнетита, что обусловлено в первую очередь составом первичного осадка и характером последующего метаморфизма.

Исследование рудных минералов (Раевская, Стебновская, 1988) показало, что в магнетитовых кварцитах выделяется до четырех генераций магнетита, а в них ряд морфоструктурных разновидностей, среди которых преобладает пластинчатый магне-

тит-мушкетовит.

Иной формационный состав и иную металлогеническую специализацию, отличную от Западно-Карельской структурно-формационной зоны имеют лопийские толщи осконтуривающих зон Южно-, Восточно-, Северо-Карельской и Восточно-Финляндской, подчеркивающие формационную и металлогеническую зональность в лопии Фенно-Карельского блока (Горьковец, Раевская, 1988, 1990).

Формационный состав этих зон определяется перемежаемостью (иногда многократной) различных по составу вулканогенно-осадочных образований от ультрабазитов (коматитов) до риодацитов, крайне незначительным развитием метатерригенных толщ и характерной колчеданной металлогенической специализации (Рыбаков, 1987).

3. Для протерозойского периода в пределах Балтийского щита установлены пространственно и генетически самостоятельные формации: кластогенная железосодержащая (гематитсодержащая) карбонатно-песчаниковая в ятулии; марганец- и фосфорсодержащие железисто-кремнистые формации: черносланцево-карбонатная терригенная и черносланцево-карбонатная базальтовая вулканогенно-осадочная в лядиковии; лептитовая (риолит-дацитовая) железисто-кремнистая, сформировавшаяся в свекофеннский этап.

В составе нижнепротерозойского Карельского комплекса на территории Балтийского щита выделяются эволюционные ряды супракрустальных геологических формаций разобценных во времени и пространстве, в каждом из которых вулканогенно-осадочные или осадочные железисто-кремнистые или железосодержащие формации занимают закономерное, строго определенное положение.

Отложения кластогенной железосодержащей карбонатно-песчаниковой формации по объему соответствующей терригенным образованием ятулийского надгоризонта (терригенная часть янгозерского и туломозерского горизонтов) завершают естественный эволюционный ряд позднеархейских лопийских железисто-кремнистых формаций и пространственно тяготеет к площадям развития этих формаций.

Главными членами кластогенной формации нижней части ятулийского надгоризонта (янгозерский горизонт) наиболее полно представленных в районах Центральной Карелии (Волома, Совдозеро, Янгозеро, Селецкое и т.д.) являются рудные песчаники (естественный шлик) с косоволнистой слоистостью и кварцевые конгломераты, содержащие гальки магнетитовых кварцитов. В рудных песчаниках отмечается мелкораспыленный гематит и магнетит, образовавшийся при разрушении магнетитовых кварцитов гильмольской серии.

В туломозерском горизонте завершающим разрез ятулия главными членами кластогенной формации, развитой в южной Карелии (Туломозеро, М.Янисъярви, Западное Прионежье и т.д.) доминирующими членами формации являются терригенные образования - конгломераты, гравелиты, песчаники, глинистые сланцы и доломиты, к которым приурочены маломощные прослойки, линзы, пятна гематитовых руд. Руды сложены гематитом двух генераций - гематитом и мартитом, в последнем довольно часто присутствуют остаточные зерна магнетита. Наличие среди пород формации следов размыва, знаков ряби, трещин усыхания свидетельствует о прибрежном и аллювиальном генезисе осадков формации.

В составе л ю д и к о в и й с к о - к а л е в и й с к и х супракrustальных образований на территории Финляндии (сланцевый пояс Кайнуу, зеленокаменный пояс Киттиля Финской Лапландии) и северном Приладожье Карелии (сортавальская серия) сформирован эволюционный ряд геологических формаций (снизу вверх): черносланцево-карбонатно-базальтовая и черносланцево-карбонатная марганец- и фосфорсодержащие железисто-кремнистые, терригенная флишевая, кластогенная песчаниковая.

Главными членами черносланцево-карбонатно-базальтовой железисто-кремнистой формации являются базальты толеитовой серии, ультраосновные вулканиты (серпентиниты) и в меньшей степени вулканиты андезитового состава. Вторым главным членом элементарного парагенезиса формации являются метасадочные породы - углеродсодержащие сланцы, карбонатные породы (доломиты), кремни, магнетитовые кварциты. Железисто-кремнистые образования формации представлены окисно-силикатной, силикатно-окисной, карбонатной, сульфидной фациями, приуроче-

ны, преимущественно, к верхней части этой формации и обогащены марганцем и фосфором.

Черносланцевая-карбонатная марганец- и фосфорсодержащая железисто-кремнистая терригенная формация развивается синхронно в поясе Кайнуу с черносланцевой-карбонатно-базальтовой железисто-кремнистой, включающей офиолитовый комплекс Ёрмаа (Kontinen, 1987). Одновозрастность формирования, наличие общих черт строения этих формаций: - парагенетические ассоциации железисто-кремнистых образований с углеродсодержащими сланцами и доломитами, подобие фациальных типов железисто-кремнистых образований и их геохимических особенностей позволяют предполагать, что черносланцевая-карбонатная терригенная железисто-кремнистая формация является удаленной вулканогенно-осадочной формацией.

Доминирующими породными типами терригенной флишевой формации калевийского надгоризонта, несогласно налегающими на подстилающие вулканогенно-осадочные лудиковийские толщи, являются метаморфизованные терригенные песчано-глинистые флишевые осадки, превращенные в слюдястые сланцы, реже отмечаются конгломераты, гравелиты.

Кластогенная песчаниковая формация, несогласно залегающая на калевийских флишевых образованиях представлена красноцветными косослонистыми песчаниками (свита иляла, комплекс ораниеми и др.).

Эволюционный ряд геологических формаций в составе стратифицированных образований свекофенского и вепсйского надгоризонтов, развитых преимущественно в западной части Балтийского щита может быть представлен в следующем виде: лептитовая (риолит-дацитовая) железисто-кремнистая формация; андезит-базальтовая формация; терригенная флишевая формация; кластогенная песчаниковая формация.

Породные ассоциации лептитовой (риолит-дацитовой) железисто-кремнистой формации развиты в многочисленных структурах Южно-Свекофенского (Южная Финляндия, Центральная Швеция) и Ладожско-Ботнического (Северная Швеция) подвижных поясов. Преобладающим петротипом формации являются существенно пирокластические вулка-

ниты риодацитового или "сиенитового" состава. Вторыми главными членами формации являются метаморфизованные осадочные породы - известняки, доломиты, железисто-кремнистые осадки. Железо-рудные осадочные образования формации представлены следующими фациальными разновидностями: железистыми кварцитами окисной фации (гематит-магнетитовые кварциты); карбонатной фации; железо-марганцевыми железными рудами карбонатно-силикатной фации (тип "лангсан"); железо-марганцевыми силикатами силикатно-сульфидной фации (эулизиты).

Месторождения железных руд этого формационного типа относятся к непромышленным.

Главные члены андезит-базальтовой формации, развитой в составе подвижных поясов более локально, представлены базальтами, спилитами, андезитами известково-щелочной серии.

В составе терригенной флишевой формации свекофенского уровня преобладающими членами являются метаморфизованные песчано-глинистые образования флишевого типа, превращенные процессами метаморфизма в ритмично-слоистые слюдистые сланцы, а также метаграуваки. Значительно реже в составе формации отмечаются филлитовидные углеродсодержащие сланцы.

Завершают эволюционный ряд формаций кластогенная песчаниковая формация вепсйского уровня, главными членами которой являются красноцветные и сероцветные песчаники, конгломераты, гравелиты (Вакко, Риссаваара, Кууси-ваара, Хауккалаки, Варгфорс и т.д.).

Таким образом, в составе раннедокембрийских супракрустальных комплексов Балтийского щита развиваются закономерные ряды геологических формаций, в которых железисто-кремнистые формации занимают строго определенное положение: вулканогенно-осадочные железисто-кремнистые формации → терригенная флишевая (железисто-кремнистая, или не содержащая железисто-кремнистых осадков) формация → кластогенная формация. Ряды формаций разобщены во времени и пространственно. Миграция эволюционных рядов формаций во времени на Балтийском щите происходит с востока на запад.

4. Источники вещества железисто-кремнистых формаций имеют различную природу: вулканогенно-осадочные формации - коматитит-базальтовая, риолит-дацитовая, лейтитовая железисто-кремнистые - сформировались вблизи вулканических центров; источниками терригенно-осадочных железисто-кремнистых формаций служили продукты докембрийских кор выветривания: терригенная (флшшевая) железисто-кремнистая формация позднеархейского возраста образовалась в пелагической части бассейна, формируя древнейший железисто-кремнистый флшш; марганец- и фосфорсодержащие железисто-кремнистые осадки людиговия сформировались в мелководных условиях на прилегающих к континентальному склону участках, подтверждая аутигенно-минералогическую зональность осадков протерозойского бассейна.

За длительную историю изучения железисто-кремнистых осадков докембрия исследователями были предложены многочисленные гипотезы, объясняющие их происхождение, среди которых наиболее широко распространены терригенно-осадочная (Страхов, 1963; Белевцев, 1976; Плансенко, 1966; James, 1954 и т.д.), вулканогенно-осадочная (Van Hise, Leith, Goodwin, 1962; Ходш, 1968; Чернов и др., 1970, Cloud, 1975 и т.д.), метасоматическая (Михайлов, 1983, 1986 и др.), магматогенная (Гусельников, 1972) и космическая. Наиболее детальные исследования по созданию физико-химической модели формирования полосчатых железисто-кремнистых осадков отражены в работах Ходш Л.Я. (1968), Трендала А. (1972), Холланда Х.Д. (1975), Мельника Ю.П. (1973, 1986), Клауда П. (1975), Юерса В. (Swers, 1980), Дроздовской А.А. (1983, 1984, 1990 и т.д.) и др.

Причем, модели формирования железисто-кремнистых осадков касались, в основном, главного нижнепротерозойского этапа железнанакопления Земли, практически не затрагивая динамику железнорудной седиментации в архейское время.

Детальное изучение геологических разрезов, восстановление первичной природы архейских и протерозойских железнорудных супракрустальных образований Балтийского шита, их литологический и формационный анализ с привлечением данных по экспериментальному воссозданию модельным способом геохимических

процессов формирования железисто-кремнистых осадков (Руби, 1957; Cloud, 1968; Мельник, 1973, 1986; Белевцев, Мельник, 1976; Карпов, 1981; Дроздовская, 1983, 1984, 1990 и т.д.) позволили восстановить основные черты палеофациальных и палеогеографических условий формирования и эволюцию железнакопления в докембрии Балтийского щита.

С базальтовым вулканизмом в архее Балтийского щита связано образование маломощных крайне бедных железом силикатно-магнетитовых кварцитов.

Геохимическим барьером осаждения железисто-кремнистых осадков совместно с базальтоидами мог служить высокий градиент величины pH, возникавший на контакте кислых термальных вод вулканогенного происхождения, насыщенных хлоридными углекислыми, сернистыми и азотистыми соединениями со слабокислыми ($\text{pH}=6,4$) и слабозакисными ($\text{Eh}=-0,26$) водами архейского бассейна, в результате чего происходило осаждение вблизи вулканических очагов в зависимости от колебания PCO_2 в основном карбонатных, сульфидных и, частично, оксидных соединений железа совместно с кремнеземом и глиноземом.

С риолит-дацитово-железисто-кремнистой формацией в архее Балтийского щита связано формирование небольших по мощности (1-15 м) и протяженностью первые километры железисто-кремнистых осадков, ассоциирующих с пирокластическими кислыми вулканами риодацитового состава (рис.1).

Геохимическим барьером осаждения железисто-кремнистых осадков послужил высокий градиент величин pH и Eh, а также температурный градиент на контакте кислых термальных вод ($\text{pH} \leq 4$; $\text{Eh} < -0,2\text{в}$), содержащих в растворенном состоянии высокие (до $n \cdot 10^{-1}$ - $n \cdot 10^0$ г/л) концентрации железа и кремния, с водами бассейна ($\text{pH} \sim 6,5$; $\text{Eh} = -0,2\text{в}$). Колебания PCO_2 , которые взаимосвязаны с предыдущими факторами, привели к совместному осаждению вблизи вулканических центров гидроксидов железа, а также железа в карбонатной и сульфидной форме и коллоидов кремнезема, в результате чего произошло образование практически не слоистых (без дифференциации железистого и кремнистого материала) осадков, преобразованных процессами метаморфизма в магнетитовые сланцы.

С другой стороны циклическое осаждение соединений желе-

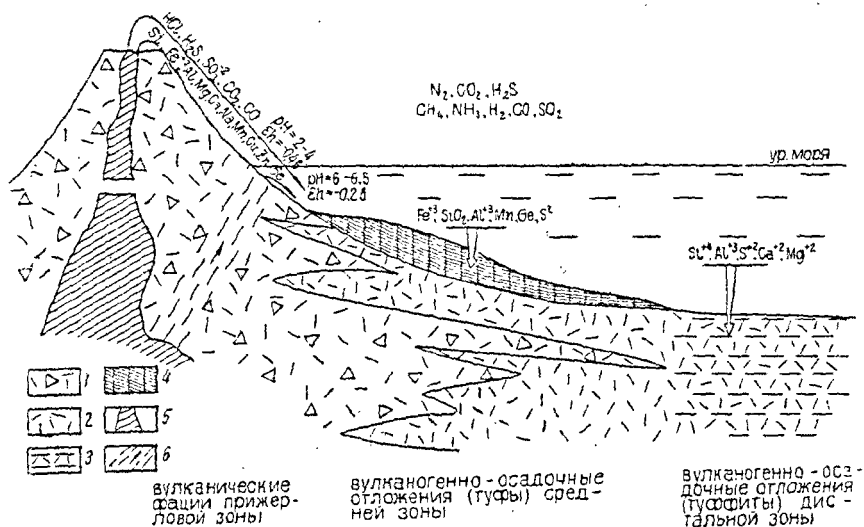


Рис. 1. Модель железнакопления риолит-дацитовый железисто-кремнистой формации, поздний архей, Карельский регион

1-3 - вулканогенно-осадочные фации: 1 - прижерловой, 2 - средней, 3 - дистальной зон; 4 - железисто-кремнистые осадки; 5 - выполнение магматического очага; 6 - зоны термовыводящих каналов.

за, а также кинетические факторы - довольно быстрое осаждение гидроксидов железа на фоне непрерывно идущего процесса более рыхлых сгустков аморфного кремнезема могут объяснить природу полосчатости железисто-кремнистых осадков, формирующихся параллельно с неполосчатыми.

С терригенной (флишевой) железисто-кремнистой формацией позднего архея связано широкое развитие слоистых железисто-кремнистых осадков, преобразованных метаморфизмом в магнетитовые кварциты, образующие пласты до 80 м мощностью и протяженностью десятки километров, ассоциирующих с метатерригенными песчано-глинистыми осадками флишевого типа.

Расчеты, проведенные по выявлению источников железа при формировании железисто-кремнистых осадков показали, что одним из основных среди них явились коры химического выветривания подстилающих комплексов. Приблизительный оценочный подсчет выноса металлического железа из 1 км³ коры химического выветривания составляет до 90 млн. тонн из базальтов и до 5 млн. тонн из кислых пород и гранитоидов. Остаточные продукты разрушения кор выветривания размывались и являлись источником терригенных толщ (рис.2).

В слабовосстановительных ($Eh \approx -0,2$ в) и слабокислых, близких к нейтральным ($pH \approx 6,5$) условиях архейского водного бассейна (Мельник, 1979, 1986; Дроздовская, 1983, 1990) железо в виде устойчивого иона Fe^{2+} мигрировало совместно с кремнеземом также в ионной форме. Условием осаждения железа в форме гидроксидов $Fe(OH)_3$ в позднем архее явилось повышение окислительно-восстановительной обстановки вследствие появления свободного кислорода в гидросфере и атмосфере при диссоциации паров воды (Руби, 1957), появлении в позднем архее фитопланктона (Вологдин, 1963; Тимофеев, 1982 и др.), метаморфизма базальтоидов. Изотопные значения кислорода (Жуков и др., 1983) и минератрафические исследования (Раевская, Стебновская, 1988) подтверждают, что рудные минералы (магнетит, мушкетовит) железистых кварцитов образовались при метаморфизме оксидов железа.

Питание архейского бассейна терригенным материалом происходило в результате срыва с крутых континентальных склонов осадков дельт в виде мутьевых потоков (турбидитных течений -

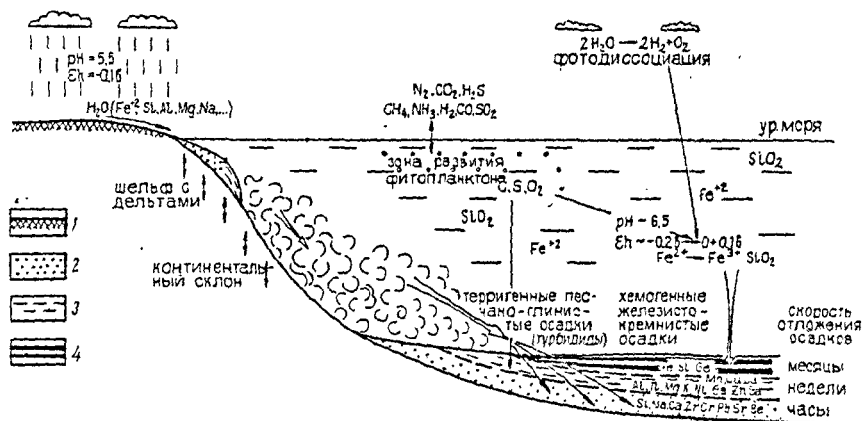


Рис.2. Модель железнакопления терригенной (флишевой) железисто-кремнистой формации, поздний архей, Карельский регион

1 - коры химического выветривания; 2-3 - флишевые осадки существенно песчаного (2) и песчано-глинистого (3) состава; 4 - железисто-кремнистые осадки.

"turbidity currents"). Причиной сброса дельтовых осадков исследователи (Келлер, 1949; Фролов, 1988) считают высокую сейсмичность шельфовых зон. Совместно с постоянно и медленно осаждающимися железисто-кремнистыми фоновыми осадками в результате гравитационных процессов из мутьевых потоков автокинетическим путем в глубоководной обстановке формируется железисто-кремнистый флиш (рис.2).

Кислородная эволюция Земли, прохождение редокс-барьера на рубеже около 2 млрд. лет и появление в атмосфере и гидросфере свободного кислорода обусловили отсутствие возможности железа удерживаться в растворенном состоянии в водах протерозойского бассейна (Дроздовская, 1990). В условиях оксидной и щелочной среды протерозойского бассейна лишь вулканогенные процессы послужили тем дополнительным фактором, который локально менял физико-химические параметры среды для участия железа в эволюционном процессе (базальтовый вулканизм в лудиковии и риолит-дацитовый в свекофении Балтийского щита). В этих условиях совместно с железом началось осаждение более миграционноспособных поливалентных элементов - марганца и фосфора. Железисто-кремнистые марганец- и фосфорсодержащие осадки лудиковийского и свекофенского надгоризонтов формировались в виде маломощных пластов и линз вблизи вулканических центров оксидной, карбонатной и сульфидной фаций. Железисто-кремнистые осадки черносланцево-карбонатной марганец- и фосфорсодержащей терригенной железисто-кремнистой формации лудиковия формировались параллельно в поясе Кайнуу (Ц. Финляндия) с черносланцево-карбонатно-базальтовой марганец- и фосфорсодержащей формацией, что позволяет отнести ее к типу удаленной вулканогенно-осадочной железисто-кремнистой формации.

5. Формирование последовательного ряда железисто-кремнистых формаций в докембрии подчинено эндогенной цикличности геодинамических режимов: к начальным этапам эндогенных циклов - подвижным зонам, геосинклиналям - приурочена концентрация железисто-кремнистых осадков; платформенный геодинамический режим поздних этапов эндогенного цикла определяет рассеивание железистого и кремнистого материала.

Комплексный анализ структурно-геологических, фациально-

литологических, геофизических, металогеогенических исследований позволили проследить эволюцию эндогенных геодинамических режимов в раннем докембрии Балтийского щита, определяющих формирование железисто-кремнистых формаций. В основу концепции геодинамической эволюции в раннем докембрии приняты представления о ритмичном развитии эндогенных процессов ("эндогенных циклах") при формировании земной коры, развиваемые в работах В.В.Белоусова (1973, 1989), В.Е.Милановского (1983), А.С.Молкина, О.Г.Сорохтина (1977, 1987) и т.д.

В раннем докембрии Балтийского щита установлено три временных этапа изменения геодинамических обстановок (эндогенные циклы), зафиксированных на пространственно разобщенных, но геодинамически унаследованных площадях, выявлена повторяемость событий, хотя участки их проявлений и степень выраженности аналогичных событий меняется. Эндогенные циклы в общем виде представляют повторяемость геодинамических режимов по схеме: подвижная область (геосинклиналь) — платформа (рис.3).

Первый, наиболее ранний эндогенный цикл охватывает большой временной интервал (3,3-2,1 млрд.лет) и соответствует лопийскому структурно-формационному комплексу (поздний архей)-нижняя часть карельского комплекса, ятулийский надгоризонт включительно (нижний протерозой, нижний карелий) (рис.3).

Второй эндогенный цикл развит в значительно меньшем интервале времени (2,1-1,9 млрд.лет) и соответствует лодиковскому и калевийскому надгоризонтам нижнего протерозоя нижнего карелия.

Третий эндогенный цикл, охватывающий 1,9-1,7 млрд.лет, соответствует свекофенскому и венсийскому надгоризонтам верхнего карелия.

Первый этап концентрации железа (железисто-кремнистых формаций) на Балтийском щите, приуроченный к первому эндогенному циклу, связан с геодинамическим режимом лопийской подвижной гранит-зеленокаменной области, специфичной для ранних этапов развития земной коры, являющейся предшественницей геосинклинальных режимов более поздних геологических эпох.

Анализ характера геологического распространения лопийских супракrustальных комплексов на Балтийском щите, концентрационной металогеогенической зональности и зональности фациаль-

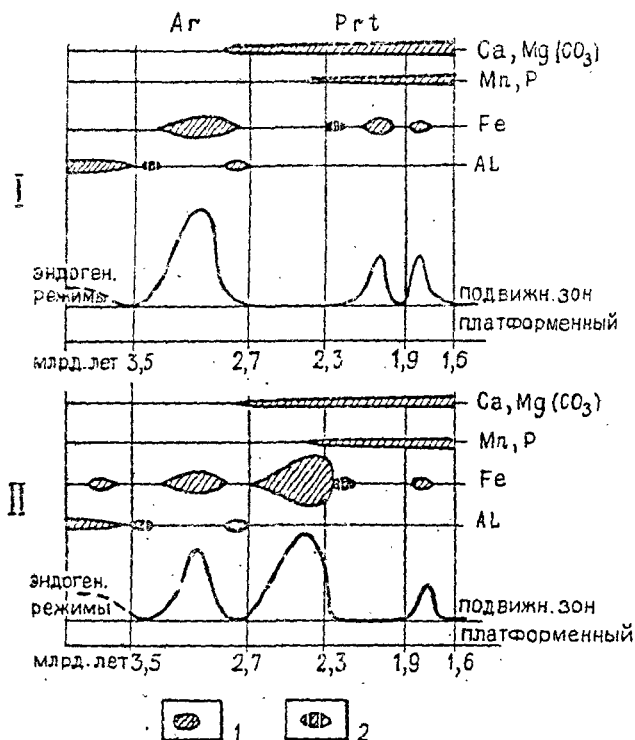


Рис.3. Изменение в геологическом времени уровней образования в земной коре железисто-кремнистых формаций в зависимости от геохимической активности ряда элементов и геодинамических режимов, протекавших в докембрии Балтийского щита (I) и докембрийских щитов мира (УКЩ, ВКЩ, Австралийский, Канадский и т.д.) (II). I - хемогенные осадки; 2 - кластогенные (перетолженные) осадки.

ных и литогенетических типов вулканогенно-осадочных образований, характера внутреннего строения блоков земной коры шита, последовательности эволюции геологических формаций позволит рассматривать динамику развития этих блоков как крупных вулканотектонических структур-нуклеаров, сформировавшихся над мантийными диаширами.

На раннем, сопоставимом с рифтогенным, этапе подвижной области источником железисто-кремнистых осадков служили существенно вулканогенные процессы. Железонакопление контролировалось температурным, Eh и pH градиентами и происходило вблизи вулканических центров. Масштабы железнанакопления незначительны.

На втором, инверсионном этапе оптимальное сочетание физико-химических параметров, допускавших существование Fe^{+2} в растворенной форме в водном бассейне, и активных тектонических процессов, привели к формированию мощных и протяженных пластов железисто-кремнистых осадков, оседавших как фоновые и совместно с остаточными продуктами кор химического выветривания, переносимых в виде суспензий мутьевыми потоками, которые откладывались автоклетчатическим путем в глубоководной части бассейна, формируя архейский железисто-кремнистый флиш.

Лопийская подвижная область на Балтийском шите на рубеже 2700 ± 100 млн. лет завершила свое развитие гранитизацией и стабилизацией территории и представляла собой сочетание кратонизированных сиалических ядер, обладавших максимальными мощностями консолидированной земной коры, и окружающими их межкратонными зонами с характерными относительно меньшими мощностями земной коры, по которым в дальнейшем произошло формирование подвижных поясов.

В пределах лопийских кратонов платформенная активизация в нижнем протерозое привела, во-первых, к заложению глубинных расколов, контролировавших основной и кислый магматизм и, во-вторых, к процессам денудации и выравнивания лопийских комплексов и гранито-гнейсового фундамента. В результате денудации и выветривания формирующимися ятулийскими корами химического выветривания произошло рассеивание железистого материала лопийских железорудных толщ в зрелых породах ятулийского бассейна. С этим временным интервалом (2,4-2,1 млрд. лет) на до-

кембрийских шитах мира (Салоп, 1982; Шеголев, 1985 и т.д.) отмечается грандиозное по масштабам железнакопление, обусловленное сочетанием двух оптимальных для железорудной седиментации факторов - во-первых, гранитным (барьерным) переходным этапом в кислородной эволюции Земли от восстановительного к окислительному (Дроздовская, 1983, 1990) и, во-вторых, активным эндогенным режимом, определяемым как геосинклинальный.

Второй, значительно меньший по масштабам концентрации железа (железисто-кремнистых формаций) этап на Балтийском шите приурочен ко второму эндогенному циклу в нижнем протерозое. Эндогенный цикл включает геосинклинальный геодинамический режим, с характерными для рифтогенной стадии базальтоидами, ультрамафитами, офиолитами, карбонатными и железисто-кремнистыми осадками людиковия ("морского ятулия") и на инверсионной стадии флишевыми калевийскими толщами. Завершается геосинклинальный этап гранитизацией и стабилизацией территории и расширением на запад платформенной области, формирующей красноцветные и сероцветные косослоистые песчаники (свита илалы, комплекс ораниеми).

Железисто-кремнистые марганец- и фосфорсодержащие осадки на рифтогенной стадии геосинклинали образуют маломощные пласты и линзы на небольшом удалении от базальтоидных вулканических центров.

Формирование флишевых калевийских толщ на поздней геосинклинальной стадии протерозойского бассейна не сопровождалось накоплением железисто-кремнистых осадков, что объяснимо присутствием в атмосфере и гидросфере этого периода (окислительный этап по А.А.Дроздовской, 1990) свободного кислорода, способствовавшего осаждению гидроксидов железа совместно с терригенными осадками в прибрежной зоне бассейна, а при флишеобразовании рассеивавшегося в песчано-глинистых флишевых осадках.

Косослоистые красноцветные и сероцветные осадки платформенного эндогенного режима содержат железистый материал в рассеянной форме.

Третий этап железнакопления на Балтийском шите связан с третьим эндогенным циклом, включающим свекофенский геосинклинальный геодинамический режим, формирующий межкратонные

геосинклинали Южно-Свекофеннского и Ладокско-Богемского под влиянием понсов и платформенный режим, сформировавшийся после этапа гранитизации (граниты района Дюблон и др.) и стабилизации территории.

Железистые кварциты, содержащие повышенные концентрации марганца и фосфора, образуют многочисленные мажоритные шкаты и линзовидные тела вблизи вулканических центров. Сформировались на рифтогенной стадии свекофеннской геосинклинали и связаны с проявлением кислого вулканизма. Образование песчанско-глинистого флиша на инверсионной стадии свекофенского седиментационного бассейна привело к рассеиванию железистого вещества.

После гранитизации и кратонизации территории на завершающем третий эндогенный цикл платформенном этапе железистый материал также был рассеян в красноцветных и сероцветных косо-слоистых песчаниках, кварцитах и конгломератах серии Бакко, Гиссаваара, Куусиваара, Тауккалаки, Мааттаваара, Паловаара, Эльвестори и т.д., аналогами вепсского надгоризонта Карелии.

Таким образом, причина прерывистого характера железнакопления заключается в закономерной смене геодинамических режимов в последовательном ряду эндогенных циклов, разобщенных пространственно и во времени. Эта закономерность заключается в приуроченности концентрации железа (железисто-кремнистых формаций) к первому этапу таких циклов - режимам подвижных областей, зон (геосинклинальным режимам); условия платформенных эндогенных режимов приводят к рассеиванию железистого и кремнистого вещества (рис.3).

Эволюция железнакопления в докембрии Балтийского щита обусловлена совмещением двух главных закономерностей, во-первых, кислородной эволюции Земли и, во-вторых, эндогенной прикличности геодинамических режимов формирования земной коры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ железнакопления в докембрии Балтийского щита показал, что в пределах щита можно выделить эволюционный ряд стратифицированных генетически самостоятельных железисто-кремнистых и железорудных формаций последовательно сменяющих друг друга во времени, образовавшихся в различных физико-химичес-

ших, палеогеографических и геотектонических условиях, характеризующихся различным формальным составом, ассоциацией с вмещающими порогными комплексами, минеральным и химическим составом железисто-кремнистых пород, их текстурными особенностями, масштабом и продуктивностью железорудного проявления.

В докембрик Балтийского щита выделяется три уровня (эпохи) железорудообразования, охватывающие следующие периоды со значительным возрастом в млрд. лет: 3,3-2,7; 2,1-2,0; 1,9-1,7.

В составе оолитового комплекса нижнего архея Балтийского щита железисто-кремнистые образования неизвестны, но широко распространены высококремнистые оолиты с включениями, сформировавшиеся, вероятно, при седиментации глиноземосодержащих терригенных пород.

Для лопийского комплекса верхнего архея (3,3-2,7 млрд. лет) Балтийского щита характерны: коматит-базальтовая формация с крайне незначительным развитием ($< 0,2\%$) железисто-кремнистых пород, рнолит-дацитовая железисто-кремнистая формация (3,2 млрд. лет) с содержанием в ее составе до 12% железисто-кремнистых пород; терригенная (флиговая) железисто-кремнистая формация (2,9-2,7 млрд. лет) - 30-50% железисто-кремнистых осадков в составе формации.

В пределах позднеархейского Фенно-Карельского палеосвода (кратона) в верхнем лопии отмечается металлогенетическая зональность, обусловленная изменением (зональностью) газового состава гидросферы и атмосферы. В центральной части кратона (Западно-Карельской структурно-формационной зоне, содержащей железисто-кремнистые формации) - газовый состав гидросферы и атмосферы, вероятно, был преимущественно азотно-углекислым с незначительными примесями других восстановительных газов, что допускало миграцию растворенных форм Fe^{2+} . В этих условиях pH вод древнего бассейна, достигавшего $\sim 6-6,5$, контролировалось силикат-карбонатным буфером, P_{CO_2} достигало $0,1-0,15 \cdot 10^5$ Па (Мельник, 1986). В краевой, периферийной части палеосвода (кратона) на участках проявлений средне-кислого вулканизма, поставившими в значительных объемах сернистые соединения, в том числе и сероводород, достигавший 3-7,4% от суммы всех остальных газов (Карпов, 1981), резко ограничивало миграцию железа в связи с образованием сульфидов.

В составе вышнепротерозойского параллельного комплекса отмечаются: для верхнего яруса (2,3-2,2, в пределах Фенно-Карельского кратона развита лишь месторожденная железорудная (гематитовая) песчанико-карбонатная формация с крайне низкой (< 0,2%) продуктивностью и неустойчивостью железорудных толщ для лодовицкого периода нижнего кареля (возраст ~2,1-2,0 млрд. лет) за пределами Фенно-Карельского кратона отмечаются железисто-кремнистые формации марганец- и фосфорсодержащие в ассоциации с терригенными или метабазитовыми толщами, железные руды которых не имеют промышленного значения. Для верхнего кареля (свекофены 1,8-1,7 млрд. лет) характерна марганец-фосфорсодержащая лептитовая железисто-кремнистая формация, железистые кварциты которой ассоциируют с вулканитами риолитового и ридзитового состава (лептитамми), приуроченными к свекофениским подвижным поясам и содержат непромышленные по запасам железо-марганцевые руды.

В перечисленном эволюционном ряду железисто-кремнистых (железородных) стратифицированных формаций во времени происходят определенные изменения признаков формаций, отражающих эволюционные изменения геодинамических, палеогеографических и физико-химических процессов в развитии экзосферы Земли.

Для железисто-кремнистых формаций в докембрии Балтийского щита происходят изменения:

- химического и минерального состава железистых кварцитов: от глиноземисто-железисто-кремнистых до силикатно-железисто-кремнистых и железисто-кремнистых в архее и далее до марганец- и фосфорсодержащих железисто-кремнистых в нижнем протерозое;
- связь железонакпления с вулканизмом вначале снижается до минимума, а затем вновь возрастает;
- степень метаморфизма снижается от амфиболитовой фации для лодийского комплекса в архее до зеленосланцевой в свекофенском (протерозойском) комплексе;
- морфологии железородных тел в архее от мелких линзовидных до выдержанных горизонтов значительной мощности и протяженности, а в протерозое обратная направленность - вновь к линзообразным;
- продуктивность железородных толщ увеличивается к концу

позднего архея и затем вновь снижается в протерозое;

- отмечается миграция железорудного процесса из пелагической, удаленной части древнейших бассейнов в архея в прибрежные зоны в протерозое;

- эволюционная смена геодинамических обстановок, определяющих дискретный характер формирования железисто-кремнистых образований.

Причиной прерывистого характера железнакопления заключается в закономерной смене геодинамических режимов в последовательном ряду эндогенных циклов, проявленных на Балтийском щите в три временных этапа на пространственно разобщенных, но геодинамически унаследованных площадях. Эта закономерность формулируется как приуроченность железорудного процесса к первому этапу таких циклов - геосинклинальным эндогенным режимом (режим подвижных областей, зон), концентрирующим железистое и кремнистое вещество; условия платформенных эндогенных режимов приводят к рассеиванию железистого и кремнистого материала.

Как следствие такой закономерности явилось отсутствие железисто-кремнистых формаций на Балтийском щите в главную эпоху железнакопления на Земле (Салоп, 1982, Щеголев, 1985).

Таким образом, две основные закономерности - кислородная эволюция (Дроздовская, 1990) и эндогенная цикличность геодинамических режимов на Земле определяют эволюцию железнакопления в истории Земли.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Некоторые особенности распределения элементов в докембрийских вулканогенных железисто-кремнистых формациях Карелии // Литология и полезные ископаемые, 1969, № 1. С.65-71.
2. Вулканогенные железисто-кремнистые формации Карелии. - Петрозаводск, 1979. 285 с. (Соввт. В.М.Чернов, К.А.Инина, М.Б.Раевская).
3. Первая находка железистых кварцитов в докембрии Приладожья Карелии // ДАН СССР, 1970, № 2. С.427-430 (Соввт. В.М.Чернов, К.А.Инина, М.Б.Раевская).
4. Главные закономерности распределения химических элементов в вулканогенных железисто-кремнистых формациях Карелии // Проблемы осадочной геологии докембрия, вып.3, М., 1971. С.270-287 (Соввт. В.М.Чернов).
5. К геохимии железистых кварцитов (на примере Костомукшского месторождения Карелии) // Минералогия и геохимия докембрия Карелии. - Л., Наука, 1971. С.118-125.

6. К вопросу о формационном делении вулканитов раннего протерозоя Балтийского щита // Геология, петрология, металлогения кристаллических образований Восточно-Европейской платформы. М., Недра, 1976, т.1. С.151-152 (Соавт. В.М.Чернов).

7. Особенности раннепротерозойского вулканизма Балтийского щита // Вулканизм докембрия. Петрозаводск, 1976. С.16-18 (Соавт. В.И.Робонен, В.М.Чернов, С.И.Рыбаков, В.И.Коросов).

8. Терригенные осадки в формационных рядах раннего докембрия (на примере Карелии) // Терригенные породы раннего докембрия. - Апатиты, 1977. С.64-75 (Соавт. В.А.Соколов, Л.П.Галдобина, К.И.Хейканен).

9. О флишевой природе сланцевых толщ железисто-кремнистых формаций Западной Карелии // Литология и геохимия раннего докембрия. - Апатиты, 1977. С.5-13 (Соавт. М.Б.Раевская).

10. Кислый вулканизм ранних этапов развития Балтийского щита // Палеовулканизм и его продукты. - Петрозаводск, 1977. С.32-39 (Соавт. В.М.Чернов, К.А.Инина, М.Б.Раевская).

11. Типы железисто-кремнистых формаций Балтийского щита и условия их формирования // Состав и генезис железистых кварцитов Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1977. С.85-91 (Соавт. В.М.Чернов).

12. Металлогенетическая специфика раннепротерозойских подвигных поясов Балтийского щита // Закономерности размещения полезных ископаемых. - М., 1978. С.56-62 (Соавт. В.И.Робонен, В.М.Чернов, С.И.Рыбаков, В.И.Коросов).

13. Геохимическая карта юго-восточной части Балтийского щита, масштаб 1:1500000. Редактор А.А.Смыслов. Соавтор карты. 1978.

14. Углеродсодержание породы раннего докембрия Карелии и условия их образования // Проблемы осадочной геологии докембрия. Углеродистые отложения и их рудоносность. - М., Наука, вып.7, кн.1, 1981. С.158-165 (Соавт. С.И.Рыбаков, М.Б.Раевская, А.И.Светова).

15. Геология и металлогения района Костомукшского железорудного месторождения. "Карелия", Петрозаводск, 1981. 143 с (Соавт. М.Б.Раевская, Е.Ф.Белосусов, К.А.Инина).

16. Вулканизм архейских зеленокаменных поясов. Л., Наука, 1981. 152 с (Соавт. С.И.Рыбаков, А.И.Светова, В.С.Куликов и др.).

17. Рудоносность зеленокаменных поясов Западной Карелии // Зеленокаменные пояса древних щитов. М., Наука, 1982. С.148-157. (Соавт. М.Б.Раевская).

18. Связь магматизма Карелии с глубинным строением и проблемы рудоносности // Геология, петрология и корреляция кристаллических комплексов Европейской части СССР. Тр.Ш регионального петрографического совещания. Л., Недра, 1982. С.72-82 (Соавт. А.И.Богачев, Л.П.Свириденко и др.).

19. Черносланцевые формации юго-восточной части Балтийского щита // Осадочная геология глубокометаморфизованных комплексов докембрия. М., Наука, 1982. С.28-41 (Соавт. В.А.Соколов, Л.П.Галдобина, С.И.Рыбаков).

20. Эффузивы ультраосновного состава района Костомукшского железорудного месторождения // Оперативно-информационные материалы (магматизм и металлогения докембрийских образований Карелии). Петрозаводск, 1983. С.34-37 (Соавт. М.Б.Раевская).

21. Условия формирования железорудных толщ Костомукшского месторождения (Западная Карелия) по изотопным исследовани-

ям. - Геологический журнал, № 3, т.43, 1983. С.26-33 (Соавт. Ф.И.Жуков, Л.Т.Савченко и др.).

22. Первая находка архейской коры химического выветривания в Карелии // ДАН СССР, т.272, № 6, 1983. С.1425-1428 (Соавт. М.Б.Раевская).

23. Костомукшский тип разреза // Стратиграфия докембрия Карельской АССР. - Петрозаводск, 1984. С.12-13 (Соавт.М.Б.Раевская).

24. Эволюция докембрийского магматизма. Л., Наука, 1985. 253 с. (Соавт.Л.П.Свириденко, А.П.Светов, А.И.Голубев и др.).

25. Архейский ультраосновной вулканизм Западной Карелии. Изв. ВУЗов "Геология и разведка", № 5, 1986. С.20-28 (Соавт. М.Б.Раевская).

26. Железные руды Карелии (Железисто-кремнистые формации). Петрозаводск, 1986. 55 с (Соавт. М.Б.Раевская).

27. Архейская кора выветривания в районах железорудных месторождений Западной Карелии // Геология рудных месторождений. Т.28, № 2, 1986. С.101-109 (Соавт. М.Б.Раевская).

28. Схема корреляции стратиграфических подразделений железисто-кремнистых формаций докембрия Европейской части СССР // Геологический журнал, т.46, № 2, 1986. С.5-17 (Соавт.Н.П.Шербак, А.Д.Додатков и др.).

29. Железорудные формации. Лопийская металоогеническая эпоха // Геология Карелии. Л., Наука, 1987. С.177-179.

30. Опорные разрезы серий и свит, вмещающих железисто-кремнистые образования. Контокская серия. Гимольская серия // Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Стратиграфия. - Киев, Наукова думка, 1988. С.31-43.

31. Геологическая позиция стратиграфических подразделений отдельных регионов. Карело-Кольский регион // Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Стратиграфия. - Киев, Наукова думка, 1988. С.141-151

32. Корреляционная стратиграфическая схема железисто-кремнистых формаций докембрия Европейской части СССР // Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Стратиграфия. - Киев, Наукова думка, 1988. С.172-180 (Соавт. Н.П.Шербак, М. Н.Корнеев, Е.Н.Крестин).

33. Характеристики тектонической позиции железисто-кремнистых формаций. Карельский регион // Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Тектоника. - Киев, Наукова думка, 1988. С.128-148.

34. Железисто-кремнистые формации восточной части Балтийского щита. Железисто-кремнистые формации Карельского региона // Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Типы формаций. - Киев, Наукова думка, 1988. С.146-164 (Соавт. М.Б.Раевская).

35. Коматиты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита. Л., Наука, 1988. 192 с. (Соавт. В.С.Куликов, М.Б.Раевская, В.В.Куликова и т.д.).

36. Новые данные по геологии железисто-кремнистых формаций Карелии и условия их формирования // Геология и генезис железорудных месторождений раннего докембрия. Апатиты, 1988. С.30-38 (Соавт. М.Б.Раевская).

37. Высокомагнезиальные вулканы лопийских зеленокаменных поясов и карельских рифтогенных структур (сравнительный анализ) // Геология и метаморфизм архейских зеленокаменных

поясов. Петрозаводск, 1988. С.29-40 (Соавт. В.С.Куликов, В.В. Куликова, М.Б.Раевская и др.).

38. Металлогения и перспективы рудоносности зеленокаменных поясов // Зеленокаменные пояса фундамента Восточно-Европейской платформы. Л., Наука, 1988. С.74-81 (Соавт. Е.М.Крестин, С.И.Рыбаков, А.А.Сиворонов и др.).

39. Реконструкция центров ультраосновного вулканизма (район Костомукшского железорудного месторождения) // Геология и метаморфизм архейских зеленокаменных поясов. Петрозаводск, 1988. С.57-67 (Соавт. М.Б.Раевская).

40. Карело-Кольская металлогеническая провинция // Железисто-кремнистые формации докембрия Европейской части СССР. Структуры месторождений и рудных узлов. Киев, Наукова думка. С.81-87.

41. Условия образования позднеархейских железистых кварцитов (Карельский регион) // Геологический журнал, № 6, 1990. С.67-73.

42. Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций Карелии. Л., Наука, 1991. 173 с. (Соавт. М.Б.Раевская), О.И. Володичев, Л.С.Голованова).

43. Железонакопление в архее Западной Карелии // Типы и эпохи развития зеленокаменных поясов и их металлогения. Петрозаводск, 1991. С.25-26 (Соавт. М.Б.Раевская).

