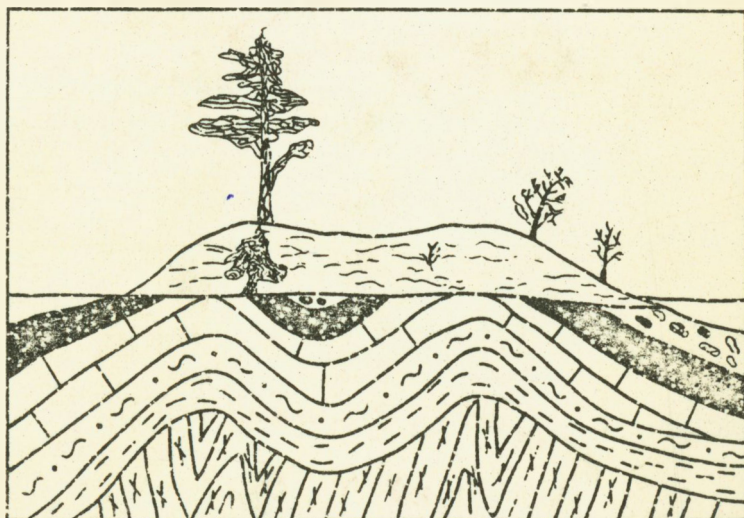




В.Т. САФРОНОВ

УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ ДОКЕМБРИЯ  
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА  
И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ



МОСКВА 1991

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В.Т.САФРОНОВ

УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ ДОКЕМБРИЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ  
БАЛТИЙСКОГО ШИТА И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Ответственный редактор  
доктор геол.-минер. наук Св.А.Сидоренко

МОСКВА 1991

Углеродсодержащие породы докембрия восточной части  
Балтийского щита и условия их формирования / В.Т.Сафро-  
нов. М.: ГИИ АН СССР, 1991. 216 с.

В работе приводятся результаты исследования углеродсодержащих пород двух стратиграфических уровней нижнего протерозоя (кейвского и ледиковикского). Анализируются особенности распределения углеродистого вещества и ряда элементов (Fe, Al, Ca, Ce, Co, Mo и др.) в различных типах осадочно-метаморфических пород. С помощью комплекса методов (геохимических и петрохимических диаграмм, литохимических пересчетов, анализа индикаторных отношений, литологических особенностей пород) реконструируется исходный состав и условия формирования углеродсодержащих отложений.

Книга рассчитана на геологов, изучающих ранние этапы геологической истории Земли.

Библ. 143 назв. Ил. 61. Табл. 31. Приложений IV.

Углерод - один из важнейших химических элементов земной коры. Его значение в ней несоразмерно велико по сравнению с количеством его атомов в ней находящихся.

В.И.Вернадский, 1983

## Введение

Изучение литогенеза ранних этапов геологической истории Земли имеет большое научное и практическое значение, на что неоднократно обращал внимание акад. А.В.Сидоренко. Это объясняется прежде всего тем, что на докембрий приходится 85% всего геологического времени развития Земли и огромной практической значимостью докембрийских образований, с которыми связаны крупнейшие, имеющие мировое значение, месторождения железа, марганца, свинца, хрома, платиноидов, урана, никеля, кианита, графита, асбеста и многих других полезных ископаемых.

С этих позиций особое положение, среди осадочно-метаморфических отложений докембрия, занимают углеродсодержащие породы, пачки, формации, которые накапливались в течении всего докембрия, то есть в течении 3.2-3.5 млрд. лет и с которыми связаны такие промышленно важные полезные ископаемые, как золото, уран, медь, свинец, цинк, графит, шунгит и другие. Этим, прежде всего, объясняется важность изучения углеродсодержащих пород докембрия. Кроме того, необходимость изучения углеродсодержащих отложений обуславливается и прямой связью этих пород с проблемой формирования первых горючих ископаемых Земли и проблемой эволюции органического мира в истории Земли.

Таким образом, разностороннее изучение докембрийских углеродсодержащих пород, пачек, свит, а также самого углеродистого вещества, имеет большое научное и практическое значение и является одной из важных проблем в изучении осадочной геологии докембрия.

Углеродсодержащие породы встречаются во всех осадочно-метаморфических комплексах докембрия восточной части Балтийского щита, начиная с архейских разрезов кольско-беломорского комплекса. Геологическое строение районов развития углеродсодержащих пород, пачек, свит и описание самих пород приведено в работах А.М.Ахмедова, Н.Л. Балабонова, Н.Б.Бекасовой, А.П.Белолипецкого, П.А.Борисова, И.В. Белькова, Н.А.Волотовской, Л.П.Галдобинной, А.И.Голубева, О.В.Горбачева, Г.Л.Горощенко, Н.Ф.Демидова, А.И.Ивлиева, К.О.Кратца, Н.И.

Московченко, В.Э.Негруцы, В.А.Мележика, А.А.Предовского, С.И. Турченко, Св.А. Сидоренко, В.А.Соколова, П.В.Соколова, С.О.Фирсовой, Л.Я.Харитоновна, Г.В.Шатского и многих других.

Целью работы являлось выяснение закономерностей и масштаба накопления углеродсодержащих отложений и их геохимических особенностей на примере нижнепротерозойских комплексов северо-восточной части Балтийского щита. В задачи исследования входило: а) охарактеризовать геологическое положение углеродсодержащих свит и выявить минералого-петрографические особенности углеродсодержащих пород, б) изучить характер распределения малых элементов в исследуемых толщах в зависимости от условий их формирования, в) восстановить первичный минеральный состав углеродсодержащих свит с целью выяснения палеогеографических условий их формирования, г) на основе полученных данных провести сравнительный анализ уровней накопления и геохимических особенностей углеродсодержащих литолого-стратиграфических комплексов.

Геологические данные для выполнения настоящей работы были собраны автором в процессе полевых исследований в период работы в Лаборатории литологии осадочно-метаморфических толщ докембрия и в Лаборатории литологии и геохимии органического вещества докембрия Геологического института АН СССР. При лабораторных исследованиях было изучено под микроскопом около 600 прозрачных и полированных шлифов, обработаны данные 200 силикатных анализов пород, из которых 130 были пересчитаны на вероятный исходный минеральный состав на ЭВМ-ЕС в Лаборатории математических методов ГИН АН СССР, использованы данные 190 количественных спектральных анализов пород и монофракций минералов. Кроме того, для серии наиболее типичных образцов были проведены термические и битуминологические исследования выделенного углеродистого вещества.

Силикатные и количественные спектральные анализы были выполнены главным образом в химико-аналитической лаборатории Геологического института АН СССР под руководством Э.В.Пушкиной, Д.Я.Чопорова, И.Ю.Дубченко. Термический анализ углеродистого вещества проводился в Лаборатории физических методов ГИН АН СССР Т.В.Далматовым и в Лаборатории физико-минералогических исследований ЦНИГРИ Е.В.Гусевой. Основная часть битуминологических исследований была выполнена в РГУ (Ростов-на-Дону), там же, по методу Э.Дегенса и Дж.Ройтера /38/, были выделены аминокислоты, идентификацию и количественное определение которых осуществлялись с помощью автоматического анали-

затора (модель ААА-88I). Изотопные определения углерода и кислорода в карбонатных породах свит хирвинаволок и соваярви были выполнены в Лаборатории изотопной геологии ИЛС АН СССР под руководством Ю.А. Борщевского на приборе Вариан-МАТ-250.

Существенную помощь автору в процессе работы консультациями и советами оказали Св.А.Сидоренко, О.В.Горбачев, О.М.Розен, С.О.Фирсова, Г.Л.Горощенко, А.Г.Зайцев, Н.А.Созинов, О.И.Лунева, Г.В.Шатский, А.И.Ивлиев, А.М.Заседателев, А.С.Корякин. Всем названным товарищам автор выражает свою глубокую признательность.

С чувством большой благодарности автор отмечает поддержку и помощь инициатора исследований акад. А.В.Сидоренко.

## Глава I. Основные черты геологического строения районов развития углеродсодержащих пород

В структурном плане изученные районы работ относятся к двум синклинориям (Кукасозерско-Тикшозерскому, Куоляярвинскому) Северо-Карельской синклиналильной зоны и Кейвскому синклинорию, расположенному в центральной части Кольского полуострова.

### I. Северо-Карельская синклиналильная зона

Северо-Карельская синклиналильная зона, расположенная на северной и северо-восточной окраинах Карельского пояса карелид, следует параллельно юго-западной и западной границам северной части Беломорского массива и прослеживается полосой длиной до 250 км от пос. Куоляярви (на юго-западе Кольского полуострова) на юг до оз. Панаярви (Северная Карелия) (рис. I). Затем зона поворачивает на восток, образуя выпуклую к северу дугу, проходящую через озеро Кукасозеро и Чел-озеро и далее на юго-восток через гору Ирinya Варака и озеро Тикш-озеро до западного берега озера Кереть (гора Хизовара). На западе данная зона продолжается на территории Финляндии / 50 /.

В восточной части Балтийского щита в пределах этой подзоны выделяются три района распространения сложно складчатых нижнепротерозойских супракристалльных образований (западный, центральный и юго-восточный), разобщенные полями гранитоидов архея и нижнего протерозоя / 50 /.

#### A. Кукасозерско-Тикшозерский синклинорий

Центральный и юго-восточный районы расположены в пределах Кукасозерско-Тикшозерского синклинория, который прослеживается в виде дуги на протяжении около 100 км — от Невг-озера на западе через Кукасозеро, гору Ирinya Варака и восточный берег Тикшозера до озера Керетьское (район горы Хизовара) на востоке (см. рис. I).

В пределах данного синклинория выделяются две узкие синклинали Кукасозерская и Ириногорская и разделяющая их Кукияярвинская антиклиналь. Исследования были проведены в пределах Кукасозерской

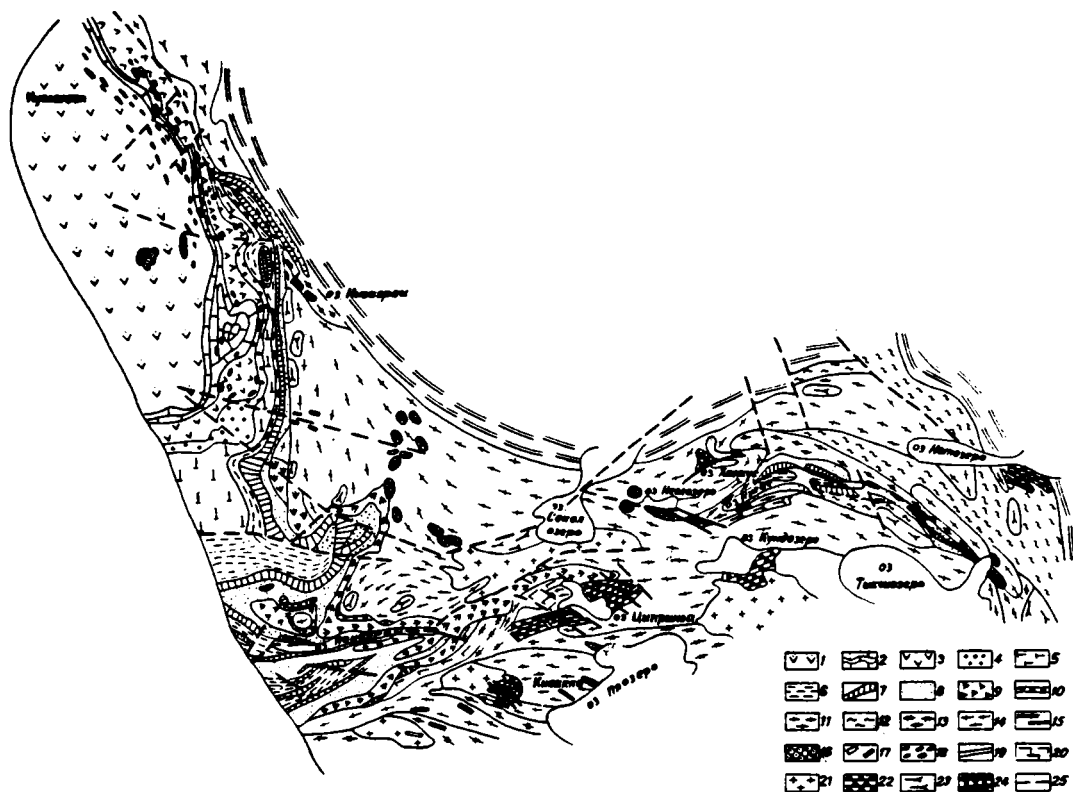


Рис. 1. Схема геологического строения Северо-Карельской зоны / 54 /.

Нижний протерозой. Суйсарий: 1 - диабазы, 2 - туфопесчаники, туфосланцы, карбонаты; верхний ятулий: 3 - плагиопорфириты, 4 - конгломераты, песчаники, 5 - диабазы, 6 - кварцито-песчаники, доломиты, актинолит-карбонатные, графитистые, серицит-хлоритовые сланцы, туфосланцы (свиты хирвинаволок, соваярви); нижний ятулий: 7 - диабазы, 8 - кварцито-песчаники, слюдясто-кварцевые сланцы, аркозы, конгломераты, сумий-сариолий: 9 - диабазы, кварцевые порфиры, 10 - конгломераты, 11 - сланцы, вулканические брекчии (кукасозерская свита), 12 - гнейсы, сланцы, амфиболиты (ириногорская свита). Архей: 13 - гранодиорито-гнейсы, 14 - гранито-гнейсы, мигматиты, 15 - беломорский комплекс (гнейсы, мигматиты). Интрузивные образования: 16 - интрузии карбонатитов девона, Интрузии нижнего протерозоя: 17 - долериты, 18 - гипербазиты, 19 - габбро-диабазы, 20 - габбро, 21 - граниты, 22 - габбро-нориты; архея: 23 - мигматит-граниты, 24 - гипербазиты, 25 - тектонические нарушения.



синклинали и в юго-восточном окончании Ириногорской синклинали. В пределах последней обнажаются наиболее древние образования Северо-Карельской зоны.

а. Ириногорская синклиналь, расположенная параллельно Кукасозерской, находится между Кукиярвинской антиклиналью на юго-западе и Беломорским массивом архея на северо-востоке. Она прослеживается почти по всей длине Кукасозерско-Тикшозерского синклинория. Ширина синклинали достигает 8-10 км. Исследования были проведены в юго-восточной части Ириногорской синклинали, в районе г. Хизовара.

Участок горы Хизовара, охватывающий площадь распространения гнейсов, сланцев и амфиболитов хизоварской свиты (рис. 2), представляет тектонический блок, зажатый среди кристаллических образований архея и несколько опущенный относительно последних / 50 /. Породы, слагающие его, образуют замок крупной синклинали, на западе постепенно переходящий в антиклиналь того же порядка / I2 /. Вся серия пород моноκлинально падает в южном направлении под углами 50-70°.

Н.А.Волотовская / I2, 29 /, подробно изучавшая строение хизоварской свиты, в сводном разрезе выделяет шесть последовательных пачек.

I. Темнозеленые сланцеватые амфиболиты, перемежающиеся с мелкими (мощностью 0,2-0,5 м) пропластками биотитового гнейса.

II. Крупнозернистые порфиробластические амфиболиты, расчлененные на два горизонта пластом биотитовых и биотит-амфиболовых гнейсов. Западнее оз. Верхнее Керетьское (в западной части района) в основании пачки наблюдается переходная зона к подстилающим сланцеватым амфиболитам в виде переслаивания двух типов амфиболитов мощностью 0,5-9 м. Мощность пачки от 1100-1200 м в западной части района за счет постепенного выклинивания порфиробластических амфиболитов сокращается до 300 м в восточной части.

III. Переслаивание мусковитовых, двуслюдяных, кианитовых, ставролит-гранатовых и других сланцев и гнейсов. (Приложение I). Мощность пропластков колеблется от нескольких сантиметров до десятков, даже сотен метров. В пределах отдельных пластов наблюдаются переходы сланцев и гнейсов одного типа в сланцы и гнейсы другого типа или же типичных гнейсов в бесполовошатовые сланцы.

В разрезе III пачки можно выделить ряд подпачек (Ша-г) (рис.

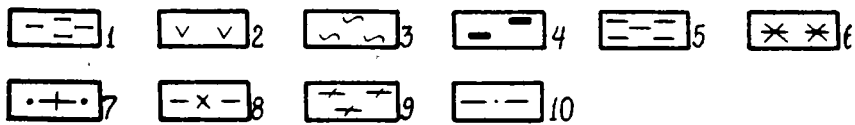
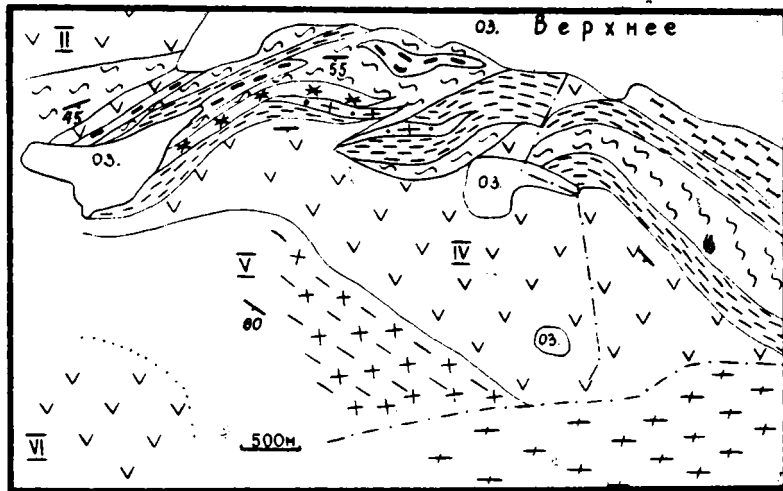


Рис. 2. Схематическая геологическая карта района оз. Верхнее / Н.А.Волотовская, 1945 г. /.

I - биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы II пачки, 2 - крупнозернистые порфиробластические амфиболиты, 3 - мусковитовые, гранат-мусковитовые сланцы, 4 - гранат-биотит-кианитовые гнейсы с графитом, 5 - биотитовые, двуслюдяные гнейсы, 6 - кианитовые сланцы, 7 - гранат-ставролитовые сланцы, 8 - лейкократовые биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы, 9 - породы беломорской серии, 10 - линии тектонических нарушений.  
 II, IV, V, VI - обозначение пачек свиты.

3, 4). Подпачка Ша начинается гранат-мусковитовыми сланцами, далее идут гранатовые амфиболиты и кончаются гранат-биотит-кианитовыми гнейсами. Подпачка Шб, также, начинается гранат-мусковитовыми, мусковитовыми сланцами, выше по разрезу - биотитовые гнейсы и линзообразные тела гранат-биотит-кианитовых гнейсов. Лежащая выше подпачка Шв представляет собой толщу гранат-мусковитовых, мусковитовых сланцев. И заканчивает разрез - подпачка Шг, состоящая из биотит-амфибол-кианитовых гнейсов, кианитовых, кианит-кварцевых, гранат-ставролитовых сланцев, гранат-биотитовых гнейсов. В этой же подпачке наблюдаются и фукситовые (кианит-ставролит-мусковитовые) сланцы. В разрезе этой пачки отмечаются элементы ритмичности: I и II ритм (подпачка Ша, б) начинают мусковитовые сланцы, а верх ритма слагают гранат-биотит-кианитовые гнейсы. В III ритм, вероятно, можно включить подпачки Шв и Шг, тогда он также начинается мусковитовыми сланцами, как и два предыдущих, а заканчивается биотитовыми гнейсами.

Все углеродсодержащие породы свиты приурочены к III пачке и представлены двумя петрографическими разностями - кианит-кварцевыми сланцами и гранат-биотит-кианитовыми гнейсами. Залегают как сланцы, так и гнейсы в виде линзообразных тел, причем размеры тел варьируют в широких пределах. Наиболее мощными являются линзы гранат-биотит-кианитовых гнейсов (см. рис. 2). В пределах пачки наблюдается три таких линзы. Две, наиболее мощные, линзы Северная и Восточная, представляют собой один из продуктивных горизонтов кианитового месторождения Хизовара / I2 /. Мощность третьей линзы графитсодержащих гнейсов составляет не более 30 м и прослеживается на расстоянии 80-100 м. Мощность данной пачки составляет 350-800 м.

IV. Порфиробластические амфиболиты, переслаивающиеся с мелкими пропластками биотитового гнейса. Мощность пачки от 150 до 600-700 м.

У. Светлые, серовато-желтые, биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы, отличающиеся своим однородным, лейкократовым характером и отсутствием высокоглиноземистых минералов - кианита, ставролита.

VI. Венчают установленный разрез крупнозернистые порфиробластические амфиболиты.

Суммарная мощность толщи определяется в 2,5-3,5 км.

Гнейсы и сланцы данной свиты представляют собой первично-

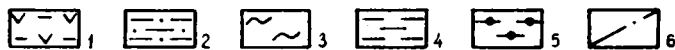
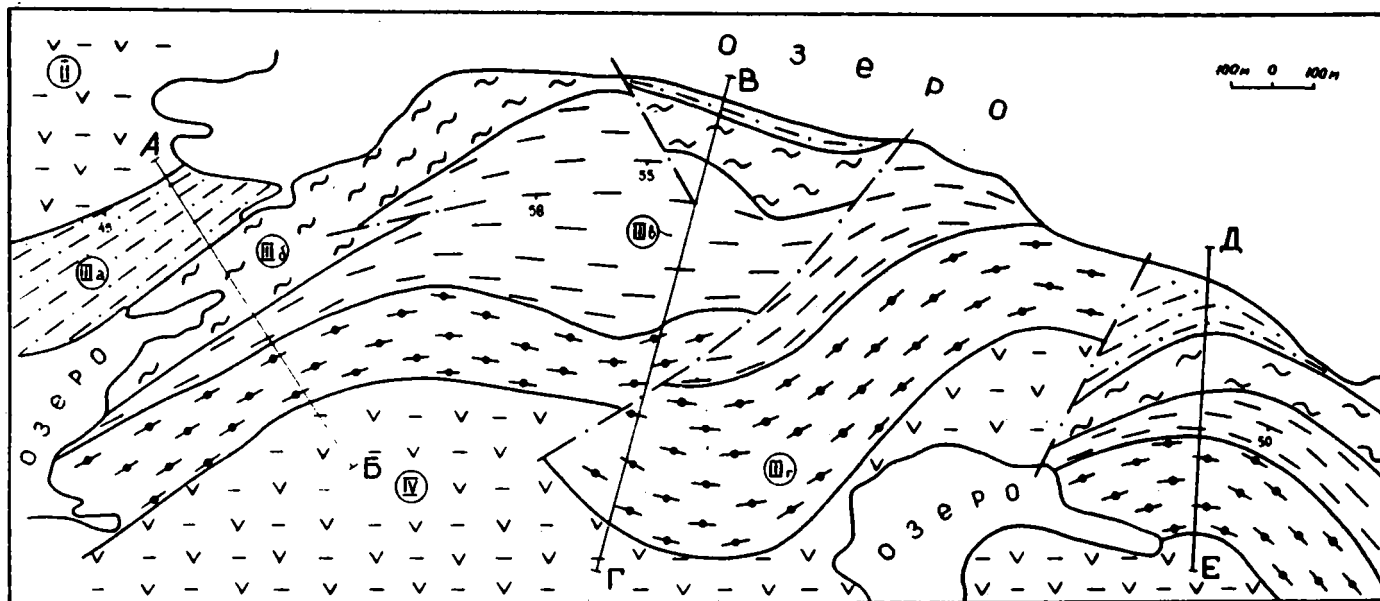


Рис. 3. Схематическая геологическая карта III пачки свиты. Составлена с использованием материалов Н.А.Волотовской. Подписи к условным обозначениям на стр. 12.

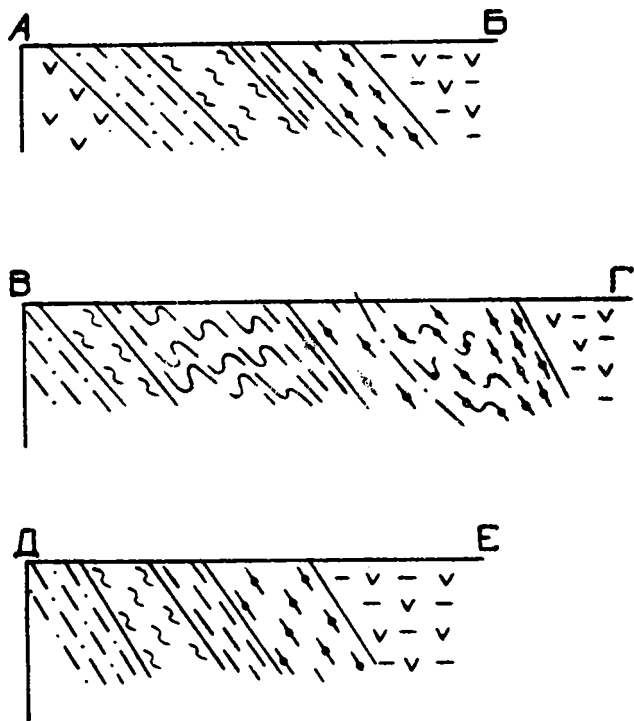


Рис. 4. Разрезы Ш пачки свиты хизовара.

I – крупнозернистые порфиробластические амфиболиты II и IV пачек. Ш пачка: 2 – мусковитовые сланцы, гранатовые амфиболиты, гранат-биотит-кианитовые гнейсы (Ш а), 3 – мусковитовые сланцы, биотитовые гнейсы, гранат-биотит-кианитовые гнейсы (Ш б), 4 – мусковитовые, гранат-мусковитовые сланцы (Ш в), 5 – биотит-амфибол-кианитовые, гранат-ставролитовые, кианитовые, кианит-кварцевые сланцы, гранат-биотитовые гнейсы (Ш г), 6 – тектонические нарушения.

осадочные породы (глины, глинистые песчаники, песчаники), в составе которых в результате глубокого метаморфизма широкое развитие получили кианит, гранат, ставролит, биотит (Приложение I).

Менее ясно происхождение амфиболитов. П.А.Борисов, Н.А.Волотовская / I2, 24 / все амфиболиты относят к первично-осадочным, К.О.Кратц / 50 / амфиболиты нижней части разреза считает измененными основными эффузивами, но порфиробластические амфиболиты III пачки многие исследователи считают парапородами / I2, 24, 33 и др. /.

Термодинамические параметры прогрессивного метаморфизма пород свиты ( $P = 7-8$  кбар,  $T = 630-650^{\circ}\text{C}$ ) отвечают амфиболитовой фации метаморфизма / I5 /.

По региональной стратиграфической шкале свита хизовара, по-видимому, может быть отнесена к кейвскому, тикшезерско-кейвскому / 82 и др. / уровню нижнего протерозоя.

б. Кукасозерская синклиналь, расположенная между Кужиярвинской антиклиналью на севере и Северо-Карельским антиклинорием на юге, представляет собой узкий прогиб шириной до 4-6 км, прослеживающийся на протяжении более 70 км / 50 /. Проведенные исследования показали, что преобладающее развитие в ее строении имеют вулканогенно-осадочные толщи кукасозерской свиты, а в осевой части синклинали в пределах оз.Кукас располагается карбонатно-сланцево-параамфиболитовая свита хирвинаволока и вышележащие полимиктовые конгломераты (рис. 5).

Все вулканогенно-осадочные отложения смяты в сжатые, нередко изоклиналильные, складки с падением крыльев под углами  $35-70^{\circ}$ , местами  $80^{\circ}$ , редко наблюдается пологое залегание. Отчетливо выделяются складки шириной 0,5-1 км и менее, ядра которых выполнены породами кварцевой толщи кукасозерской свиты, а также отложениями свиты хирвинаволока, причем в последних отмечается интенсивная мелкая складчатость.

В изучении геологического строения данного района принимали участие В.Н.Нумерова, Ю.С.Неустроев, Н.Д.Демидов, К.О.Кратц, Н.И.Московченко, С.И.Турченко, Ю.Й.Сыстра и др.

Терригенно-вулканогенная кукасозерская свита подразделяется на две толщи: нижнюю вулканогенную (до 1600 м) и верхнюю кварцевую (до 400 м) / 39, 50 /. Вулканогенная толща представлена

амфиболовыми и гранат-амфиболовыми сланцами и мандельштейнами, которые сменяются туфами, туфобрекчиями и содержат маломощные пропластки кварцитов и карбонатных пород. В верхней толще массивные полевошпатовые кварциты сменяются биотит-эпидотовыми кварцитами, хлорит-гранатовыми сланцами и карбонатными породами.

Центральная часть синклинория сложена породами хирвинаволоксской свиты (Приложение III), которая залегает как на Кукасозерской, так и на ириногорской свитах. Породы свиты хирвинаволок в пределах Кукасозерской синклинали встречаются почти исключительно на мысе Хирвинаволок и на расположенных к западу островах Кукасозера (см. рис. 5). В ее составе выделяется пять пачек / 39, 50 /.

1. Пачка параамфиболитов составляет низы описываемой свиты. Наиболее распространенными в ее строении являются темносерые, массивные, крупнозернистые мономинеральные, гранатовые, полевошпатовые амфиболиты с узловатой порфиробластической структурой и мелкозернистые сланцеватые амфиболиты, часто переслаивающиеся между собой. В верхней части пачки среди амфиболитов появляются прослойки и пропластки биотитовых, гранат-биотитовых, амфибол-биотитовых и других сланцев мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров. Максимальная мощность пачки, установленная на мысе Хирвинаволок - 200-250 м.

2. Вторая пачка, пачка переслаивания амфиболитов и сланцев. В частом переслаивании с мощностью прослоев 5-20 см, иногда больше, участвуют кварц-биотитовые, биотит-амфиболовые, гранат-биотит-амфиболовые и другие сланцы, изредка кварциты вместе с амфиболитами, которые встречаются в подстилающей пачке. В таком переслаивании обычно сочетаются два или три, редко больше типов пород. Мощность пачки 100-150 м.

3. Третья пачка. Здесь появляются кристаллические известняки и доломиты, тонко переслаивающиеся с кварц-биотитовыми, биотит-амфиболовыми, гранат-биотит-амфиболовыми и кианит- и ставролит-содержащими сланцами и частично с крупнозернистыми параамфиболитами. В последних порфиробласты амфибола содержат многочисленные вросстки кварца и плеохроичные дворики, что, по-видимому, может указывать на первично осадочное происхождение этих пород. Мощность прослоев различного состава колеблется в пределах 5-20 см, но местами возрастает до 1-1,5 м.

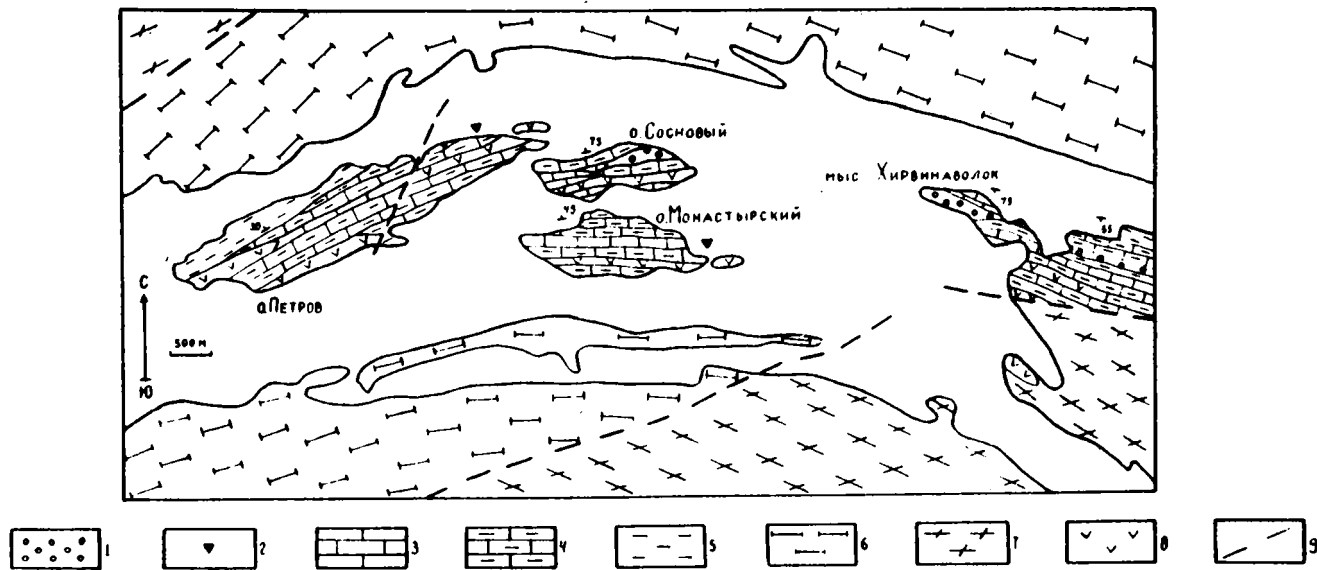


Рис. 5. Схематическая геологическая карта центральной части оз.Кукас. Составлена с использованием материалов К.О.Кратца и Н.Ф.Лемидова.

1 - конгломераты, 2-5 - образования свиты хирвинаволок: 2 - месторождения графитистых пород, 3 - карбонатные породы IV пачки, 4 - переслаивание параамфиболитов, сланцев и карбонатных пород III пачки, 5 - переслаивание сланцев и параамфиболитов (пачки I-II), 6 - нерасчлененные образования кукаозерской свиты, 7 - нерасчлененные гранитизированные образования, 8 - ортоамфиболиты (амфиболитизированные габбро-диабазы), 9 - разрывные нарушения



Кроме того, были обнаружены амфиболиты / 97 /, несущие текстурные признаки покровов вулканитов: в амфиболитах отчетливо сохраняются реликты диабазовой структуры, эндоконтактная фация закладки. В висячем боку тела в породах наблюдается пузырчатая (миндалекаменная) текстура, видны каналы, по которым происходило выделение газов из застывающей лавы. В лежащем боку тела вмещающие карбонатные породы в результате контактового метаморфизма превращены в тремолитовые сланцы.

Характерной чертой этой пачки является ритмичность, чаще дву-членная слоистость, в которой карбонатные породы переслаиваются с различными сланцами или амфиболитами. Но, иногда ритмичность бывает трех-четырёхчленная. Наиболее полный ритм следующий: гранат-биотит-амфиболовый сланец - амфиболит - амфиболит с примесью карбонатного материала (до 15%) - кальцифир / 33 /. В низах этой пачки прослой карбонатных пород, как правило, находятся в резко подчиненном количестве, имеют небольшую мощность и нередко выклиниваются по простиранию. Вверх по разрезу мощность, а также и число их увеличиваются и верхи пачки характеризуются преобладанием карбонатных пород над сланцами и амфиболитами, которые слагают здесь подчиненные по мощности прослой среди карбонатов. Мощность пачки 50-200 м.

4. Четвертая пачка сложена массивными, большей частью средне-зернистыми, кристаллическими доломитами, частью известняками различных оттенков серого цвета - от почти белых до черных, местами розоватых и красных. Наряду с почти чистыми разновидностями мраморов имеются карбонатные породы, содержащие различные, иногда значительные количества кварца, плагиоклаза, амфибола, биотита, серицита, пирита и тонкораспыленного графита, вплоть до образования маломощных и редких пластов сланцев и амфиболитов. Мощность пачки мраморов 50-100 м.

5. Пятая пачка, состоящая из графитистых пород венчает разрез хирвинаволоксской свиты, согласно залегая на черных известняках пачки мраморов. Графитистые породы матово-черные, в большинстве случаев массивные или слабо рассланцованные, состоят из черного непрозрачного углеродистого вещества, на фоне которого выделяются мелкие зерна кварца и пирита. Максимальная видимая мощность пачки графитистых пород 10 м.

Общая мощность изученного разреза хирвинаволоксской свиты из-

меняется от 500 до 700 м / 39, 50 /. Данная свита по региональной стратиграфической шкале относится к лодиковикскому этапу нижнего протерозоя / 30 /.

Термодинамические параметры формирования углеродсодержащих сланцев хивинаволоковской свиты отвечают низко-среднетемпературной фации алмандиновых амфиболитов ( $T = 530-600^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 7-8$  кбар) / 73 /.

## Б. Куолярвинский синклиорий

Куолярвинский синклиорий прослеживается в субмеридиональном направлении на протяжении около 100 км по обе стороны границы с Финляндией. Меньшая, восточная его часть (Соваярвинская синкли-наль) распространена от с.Куолярви на севере до параллели оз.Со-ваярви на юге. Восточная и северо-восточная границы синклиория с архейскими толщами Беломорского массива определяются зоной бласто-милонитов, к которым иногда приурочены интрузии микроклинных гра-нитов протерозоя / 50 /.

Большая часть площади синклиория сложена основными вулканогенными породами, которые лишь по восточному, северо-восточному и южным краям обрамляются узкой полосой метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород (см. рис. I). Осадочно-вулканогенные толщи интенсивно смяты в складки и осложнены частыми продольными разло-мами, что наряду с плохой обнаженностью затрудняет расшифровку геологического строения этой территории.

Изучением данного региона занимались многие исследователи: Н.А.Волотовская, Г.А.Поротова, К.О.Кратц, О.А.Рийконен, В.И.Шмы-галев, М.А.Гилярова, А.С.Воинов, А.М.Ахмедов, Л.И.Иванова, Л.П. Галдобина, В.А.Мележик, А.А.Басалаев и др.

а. Соваярвинская синклинали разделяется на две подзоны: Куола-ярвинская подзона, в которой и были проведены исследования и Сова-ярвинская. В последней подзоне развиты, главным образом, карбонат-ные породы, а в Куолярвинской - соваярвинская свита представлена осадочно-вулканогенными отложениями (Приложение IV) и разбивается на четыре толщи / 30 / (рис. 6).

В основании разреза I толщи лежит пласт базальных образований, представленный конгломератами, гравелитами и песчаниками с карбо-

натным цементом, доломитами с обломками кварца и плагиоклаза и слюдами кварц-биотитового сланца.

Выше лежат кварц-альбит-хлоритовые сланцы и углеродсодержащие биотит-кварцевые сланцы. Углеродистое вещество в последних распределено неравномерно в виде небольших скоплений, пятен. Породы имеют нематогранобластовую структуру.

Средняя часть толщи сложена углеродистыми породами, доломитами, лавами основного состава, лидитоподобными породами и альбит-хлорит-кварцевыми и биотит-кварцевыми сланцами, часто с углеродистым веществом. Углеродистые породы слагают слой мощностью от 1,5 до 10 м и имеют четкие границы с вмещающими породами. Содержание углерода в этих породах по нашим данным достигает 25-32%, а по другим данным / 30 / даже - 40%.

Доломиты, редко известняки, залегают в виде слоев мощностью до 1-3 м, изредка наблюдается переслаивание доломитов и углеродистой породы с мощностью слоев 1-1,5 м. Доломиты представлены серыми невяснослоистыми средне-крупнозернистыми разностями. Слоистость подчеркивается присутствием слюдок и линзочек биотит-кварцевого и альбит-кварц-хлоритового состава. Известняки на этом стратиграфическом уровне встречаются редко и имеют мелкозернистое строение.

Лидитоподобные породы (кварциты?) отмечаются в виде единичных слоев мощностью 1-3 м и сложены тонкокристаллическим кварцем с примесью слюды и углеродистого вещества.

Выше по разрезу биотит-кварцевые сланцы, иногда углеродсодержащие, переслаиваются с кварц-биотитовыми сланцами, в которых присутствует амфибол. Мощность этой толщи 170-180 м.

II толща начинается эпидот-биотит-амфибол-кварцевыми и биотит-кварцевыми сланцами, содержащими кристаллы магнетита до 0,3-0,5 см и мелкие линзочки кварц-кальцитового и полевошпат-амфиболового состава. Мощность этих сланцев - 70-80 м.

Выше залегают эпидот-биотит-кварцевые сланцы с амфиболом и кристаллами магнетита, которые переслаиваются с тонкокристаллическими кварц-биотитовыми сланцами. Вверх по разрезу увеличивается количество слоев с карбонатным материалом. В этой части разреза залегают пласт, сложенный кварц-цоизит-амфиболовыми, карбонат-амфибол-биотит-кварцевыми, кварц-биотитовыми породами с реликтами карбоната. В породах наблюдается мелкая горизонтальная и линзо-

| Свита                 | Толщина       | КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД  |
|-----------------------|---------------|---|
| С О В А Р Я Н С К А Я | IV, до 1100 м | Бiotит-кварцевые сланцы, частью углеродсодержащие   |
|                       |               | Карбонатно-кремнистые породы, частью кремнистые доломиты  |
|                       |               | Бiotит-кварцевые сланцы   |
|                       |               | Карбонатные породы  |
| Р Я Р В И             | III, до 250 м | Базальты  |
|                       |               | Измененные туфогенные породы  |
|                       |               | Базальты<br>Конгломераты, гравелиты, песчаники частью доломиты  |
|                       |               | Базальты<br>Измененные туфогенные породы<br>Гранитные конгломераты, полевшпат-кварцевые песчаники с примесью туфогенного материала  |
| С О В А Р Я Н С К А Я | II, 200-220 м | Измененные туфогенные породы с прослоями доломитов и кремнистых пород   |
|                       |               | Измененные основные породы<br>Измененные туфогенные породы<br>Магнетитсодержащие эфидот-биотит-кварцевые с амфиболом, карбонат-амфибол-биотит-кварцевые сланцы. Измененные основные породы (эфидот-биотит-амфибол-кварцевые и полевшпат-амфиболовые сланцы) |
| С О В А Р Я Н С К А Я | I, 170-180 м  | Углеродсодержащие сланцы  |
|                       |               | Карбонатные породы (известняки, доломиты)   |
|                       |               | Высокуглеродистые породы  |
|                       |               | Базальты<br>Углеродсодержащие сланцы (биотит-кварцевые кварц-хлоритовые амфибол-биотит-кварцевые)<br>Конгломераты, гравелиты, частью доломиты   |

Рис. 6. Литолого-стратиграфическая колонка свиты соваярви.

видно-горизонтальная слоистость.

Верхнюю часть разреза II толщи слагают потоки основных, измененных пород, местами сохранившими реликты диабазовой структуры. Мощность потоков от 5 до 20-30 м. Между потоками лав присутствуют прослой кварц-амфиболовых с полевым шпатом и кварц-биотит-эпидот-амфиболовых сланцев. Они же перекрывают пачку диабазов. Мощность II толщи достигает 200-220 м.

III толща -(конгломерат-лавовая) представлена прослоями конгломератов с галькой гранитов, полевошпат-кварцевых туфогенных песчаников со слоями биотит-кварцевых и биотит-карбонат-кварцевых и с горизонтами лав основного состава. Гальки конгломератов (от 5 до 15 см) представлены, главным образом, обломками гранитов и кварца. Прослой терригенных пород чередуются с потоками базальтов, которые и венчают разрез толщи. Мощность толщи 250 м.

В основании IV толщи залегают конгломераты невидержанной мощности. Выше по разрезу конгломераты сменяются туфами, туф-алевролитами, содержащими небольшое количество карбонатного материала. В редких случаях доломиты образуют маломощные самостоятельные прослой. В ассоциации с туфогенными породами отмечаются прослой туфогенно-кремнистых пород.

Выше залегают многочисленные лавовые потоки измененных базальтов, которые чередуются со слоями туфогенных и хемогенных пород. Вверх по разрезу увеличивается количество кремнисто-карбонатного материала.

Верхнюю часть разреза соваярвинской свиты слагают хемогенно-вулканогенные породы. В нижней части горизонта залегают песчаники с карбонатным цементом и кварц-биотитовые сланцы. Основная часть горизонта сложена карбонатно-кремнистыми породами с подчиненным количеством кремнистых тонкокристаллических доломитов с редкими включениями амфибола, биотита, магнетита и распыленного гематита. И венчают разрез пачки кварц-биотитовые сланцы с микрослоистой текстурой, которая подчеркивается распределением тонкораспыленного углерода. Общая мощность четвертой толщи 1100 м, причем большую часть разреза составляют базальтовые лавы. Образования соваярвинской свиты прорваны серией интрузий габбро-диабазов, перидотитов и жилами красных аплитовидных гранитов.

Общая мощность отложений соваярвинской свиты достигает 1800 м.

В породах соваярвинской свиты первичные песчанисто-карбонатные горизонты имеют выдержанную неясную горизонтальную слоистость. Мощность слоев колеблется от 0,5 до 10-15, редко до 20-30 см. Слои и пласты выдержанны по мощности. Однако, большая часть углеродистых пород имеет невыдержанную мощность слоев и большой набор слоистости - горизонтальная, волнистая и линзовидная до косоволнистой, отражающие накопление содержащих ОВ, осадков в мелководном палеобассейне / 66 /.

Абсолютный возраст данных пород в районе оз.Пухя-ярви - 1700-1770 млн лет / 126 /. Свита соваярви по региональной стратиграфической шкале относится к лудиковикскому этапу нижнего протерозоя / 30 /.

Из вышеприведенного разреза (см. рис. 6) к свите соваярви, по-видимому, следует относить только две нижние толщи (I и II), а вышележащие толщи (III и IV), залегающие с конгломератами в основании, следует относить к куолаярвинской свите.

## 2. Кольско-Кейвская синклиналиальная зона

### А. Кейвский синклинорий

Метаморфизованные отложения раннего докембрия, слагающие одноименный синклинорий, распространены в центральной части Кольского полуострова и слагают Кейвскую возвышенность, простираясь от верховьев р.Поной на северо-западе почти до низовьев этой реки, на расстоянии около 200 км при ширине до 50 км. В стратиграфическом разрезе данного района выделяются нижняя - гнейсовая часть (лебяжинская свита) и верхняя - существенно сланцевая (серия кейв). Наиболее распространены по площади отложения гнейсовой части разреза, а сланцевая часть образует сравнительно узкую (до 10-12 км шириной) полосу, занимающую осевую часть синклинорной структуры (рис. 7).

Кристаллические сланцы рассматриваемой серии впервые были отмечены А.А.Григорьевым, Б.М.Куплетским, О.А.Воробьевой в 1930-32 гг. Позднее здесь проводили исследования П.А.Борисов, П.А.Сokolov, Л.Я.Харитонов, В.В.Носиков, И.В.Бельков, Д.Д.Мирская, Св. А.Сидоренко, В.А.Теняков, О.М.Розен, О.В.Горбачев, В.К.Головенко,

А.П.Белодлипецкий и др.

В настоящее время существует несколько стратиграфических схем расчленения кейвской серии / 5, 28, 68, 126/. В данной работе за основу принята стратиграфическая схема И.В.Белькова / 5 / (рис. 7).

В состав лебяжинской свиты входят гранат-биотитовые и биотитовые гнейсы, характерной особенностью которых является тонко или мелкозернистое строение (0,05-0,1 мм), светлосерая окраска, постоянство состава и структур на всей площади распространения пород. Главными породообразующими минералами гнейсов являются кварц, олигоклаз, микроклин, биотит, а также гранат.

Вопрос о происхождении гнейсов является не вполне ясным, так как одни исследователи предполагают первично-осадочный, существенно аркозовый, состав исходных пород / 5, 126 /, другие пришли к выводу о широком развитии в составе свиты кислых эффузивов (до 98%), превращенных в лептиты / 68 /. Общая мощность отложений лебяжинской свиты 1-5 км.

Кристаллические, преимущественно глиноземистые, сланцы серии кейв (Приложение II), залегающие в ядре Кейвского синклинория, по своему литолого-петрографическому составу, внешнему облику и фациальным особенностям резко отличаются от подстилающих их гранат-биотитовых гнейсов. На характер контакта между гнейсовым и сланцевым комплексами имеются два противоположных взгляда: 1. Согласно залегание кристаллических сланцев и гнейсов / 5, 28, 110 /. 2. Несогласное залегание толщ, с корой выветривания в основании / 31, 68, 72 и др. /. Мы, в данной работе придерживаемся второй точки зрения.

Серия кейв подразделяется на червуртскую и выхчуртскую (пачки А-Г по И.В.Белькову, 1963) и песчовотундровскую (пачки Д-Е) свиты (см. рис. 7).

Пачка А. Мусковит-ставролит-гранатовые сланцы залегают в основании сланцевого комплекса, имеют мощность 5-30 м. Они представлены двумя основными разновидностями: мусковит-гранатовыми сланцами и обычно темными ставролит-гранатовыми сланцами, составляющими верхнюю часть разреза пачки.

Первая разновидность представлена породами сланцеватого облика с мелкими порфиробластами граната. Основная масса

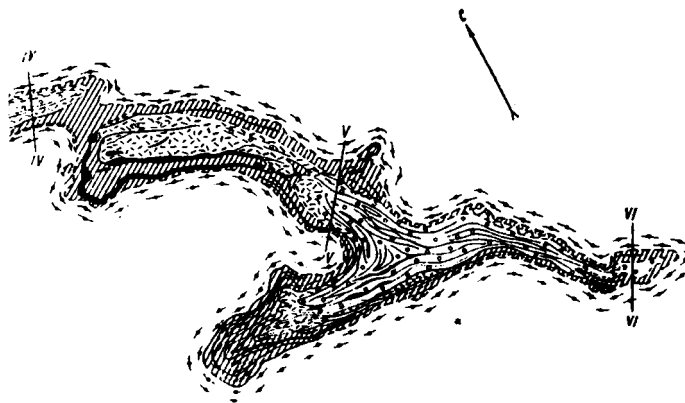
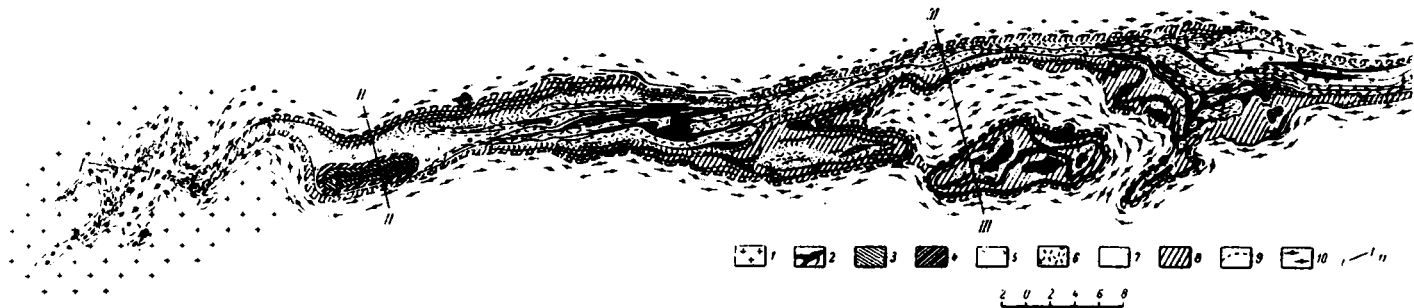


Рис. 7. Схематическая геологическая карта серии кейв / 5 /, а - западная и центральная части структуры, б - восточная.  
 I - щелочные граниты, 2 - метабазиты, 3 - двусланяные сланцы, кварцито-гнейсы пачки X, 4 - доломитизированные песчаники, доломиты пачки Б, 5 - двусланяные ставролит- и гранатсодержащие, мусковит-кварцевые сланцы пачки Д, 6 - порфиробластические плагиоклаз-ставролитовые и плагиоклаз-ставролит-кианитовые сланцы пачки Г, 7 - мусковитовые кварциты пачки В, 8 - кианитовые, ставролит-кианитовые сланцы пачки Б, 9 - слюдяно-гранатовые, ставролит-гранатовые сланцы пачки А, 10 - гнейсы лебяжинской свиты, II - линии разрезов



породы сложена мелкими зернами кварца и небольшим количеством мусковита. Характерна примесь ильменита, рутила и тонко рассеянного углеродистого вещества.

Вторая разновидность сланцев (ставролит-гранатовые) имеет обычно черный цвет, обусловленный присутствием углеродистого вещества. Гранат отчетливо выступает в виде порфиробласт и обычно не содержит углеродистое вещество. Для ставролита этой пачки характерны: сильная запыленность углеродистым веществом и неправильные скелетные формы. Основная масса сланцев состоит, главным образом, из мелких удлиненных субпараллельно ориентированных зерен кварца, сильно запыленных тонкодисперсным углеродом.

В целом сланцы пачки А являются устойчивыми, несмотря на литологическую пестроту, и прослеживаются на всем протяжении червуртской свиты как в северном, так и в южном крыле Кейвского синклинория.

Пачка Б сложена, главным образом, кианитовыми сланцами (см. рис. 7). Обычно это темные углеродсодержащие сланцы, богатые кианитом. По составу и морфологическим типам кианита выделяются параморфические (с параморфозами кианита по хиастолиту) конкреционные, агрегатно-волокнистые (сноповидные, волокнистые, радиально-волокнистые), призматически-зернистые, порфиробластические кианитовые и ставролит-кианитовые сланцы, иногда в сланцах кианит присутствует одновременно в двух или трех различных формах выделения.

Помимо кианитовых сланцев к этой же пачке относятся силлиманитовые и слюдяно-плагноклазовые сланцы с кианитом и ставролитом. Последние особенно широко развиты в восточной части Кейв. Наличие силлиманитовых сланцев на месте кианитовых обусловлено их дополнительным метаморфизмом под воздействием щелочных гранитов.

Самая нижняя часть пачки, мощностью иногда до 5-8 м, сложена переходными филлитоподобными сланцами с редкими выделениями кианита. Выше они переходят в богатые кианитом сланцы нижнего пласта. Переход этот осуществляется через слоистые сланцы, в которых наблюдается чередование кварц-мусковитовых и кианитовых слоев, причем кианитовые слои - темные, вследствие запыленности углеродистым веществом, кварц-мусковитовые - светлые. Слоистые сланцы переходят в богатые кианитом сланцы со средним содержанием кианита около 40% и ставролита 0,1-0,5%.

Мощность нижнего пласта кванитовых сланцев колеблется обычно в пределах от 25 до 80 м. Выше они постепенно обедняются кванитом и, одновременно, обогащаются ставролитом и плагиоклазом, а также мусковитом.

В типичных ставролит-кванитовых сланцах содержание кванита составляет 20-30%, ставролита 3-15%. В Восточных и, местами в Центральных Кейвах развиты другие разновидности этих сланцев, где преобладают плагиоклаз и мусковит, а кванит и ставролит имеют подчиненное значение.

Мощность пласта ставролит-кванитовых (и слюдяно-плагиоклазовых) сланцев находится в пределах 50-250 м. Однако в ряде участков, особенно в южном крыле Кейвского синклиория, среди этого мощного пласта ставролит-кванитовых сланцев, выделяется пласт богатых кванитом сланцев мощностью до 150 м, близких по составу сланцам нижнего пласта.

Мощность пачки Б колеблется в пределах от 25 до 325 м.

Среди многочисленных петрографических разновидностей сланцев пачки Б в северном крыле Кейвского синклиория преимущественно распространены параморфические и конкреционно-параморфические кванитовые и ставролит-кванитовые сланцы. Пачка Б южного крыла представлена в основном сноповидно-волокнистыми и волокнистыми сланцами, среди которых лишь в редких случаях встречаются другие разновидности / 5 /.

Пачка Б, так же как и пачка А ни разу не прерывается на протяжении всей серии. Изменения ее истинной мощности по простиранию предопределяется, преимущественно, изначальными условиями осадко-накопления и непостоянством мощности осадков и лишь в небольшой мере связано с тектоникой.

Пачка В. Мусковитовые кварциты пачки В представляют собой сланцеватые породы, резко выделяющиеся своей светлой окраской и являющиеся маркирующим горизонтом сланцевого комплекса (см. рис. 7). По своему литологическому составу кварциты представляют собой грубозернистые породы, состоящие на 85-90% из кварца и 8-12% - мусковита. От подстилающих и перекрывающих сланцев пачки Б и Г мусковитовые кварциты обычно отделяются прослоями сланцев промежуточного состава. Данные породы непрерывными маломощными полосами обнажаются вдоль северного и южного крыльев синклиория Запад-

ных и Центральных Кейв, в Восточных Кейвах пачка В отсутствует и сланцы пачки Г непосредственно лежат на породах пачки Б.

Истинная мощность мусковитовых кварцитов обычно составляет 60–70 м при колебаниях от 30 до 130 м.

Пачка Г. Стратиграфически выше мусковитовых кварцитов залегают преимущественно плагиоклаз–ставролитовые порфиробластические сланцы (см. рис. 7). Подчиненное значение имеют плагиоклаз–кианит–ставролитовые и кианит–ставролит–слюдистые сланцы. Нормальный стратиграфический контакт пачки Г с нижележащими кварцитами наблюдается в Западных и Центральных Кейвах, в Восточных Кейвах сланцы пачки Г залегают прерывисто, в виде отдельных пятен, лежащих на породах пачки Б.

Характерной особенностью этой пачки является развитие ставролита и кианита в виде крупных (иногда гигантских) порфиробласт и преобладание ставролита над кианитом. В основной массе сланцев преобладает кварц, иногда запыленный углеродистым веществом.

Полная мощность сланцев пачки Г колеблется от 60 до 250 м в Центральных Кейвах, а в Восточных от 0 до 200 м.

Пачка Д представлена существенно слюдяно–кварцевыми сланцами, среди которых выделяются мусковит–кварцевые, мусковит–кварцевые со ставролитом и кианитом, двуслюдяные со ставролитом и гранатом, двуслюдяные порфиробластические разновидности (рис. 8). В восточной части Кейв породы пачки Д залегают на породах пачки Б, а отложения пачек В и Г выпадают из разреза. Иногда среди пород данной пачки наблюдаются линзы конгломератов с галькой кварца, реже кварцитов и слюдяных сланцев. Мощность пачки Д достигает 200–250 м.

Выше лежащие пачки Е и Ж известны только в западной части Центральных Кейв, между возвышенностями хребет Серповидный – Песцовая тундра.

Пачка Е сложена доломитизированными и аркозовыми песчаниками с горизонтом доломитов в нижней части разреза, причем в доломитах В.В.Любцовым были обнаружены структуры строматолитов / 68 /. Мощность пачки Е колеблется от 40 до 100 м.

Пачка Ж отделена от пачки Е крупным пластовым телом основных пород. Толща пачки Ж сложена пестрыми по составу сланцами и гнейсами, среди которых наблюдаются двуслюдяные гнейсы, биотитовые гнейсы с гранатом, кварцито–гнейсы, гранат–ставролит–биотитовые и био-

тит-мусковитовые сланцы. Мощность данной пачки около 70 м. Данные породы перекрываются толщей амфиболитов, развитых по метамандельштейнам и метапорфиритам. Этими метавулканитами заканчивается разрез нижнего протерозоя Кейвского синклинория.

В породах свиты довольно часто удается наблюдать первично-текстурные особенности пород. Чаще всего отмечается параллельная горизонтальная слоистость, причем более грубая в первично-обломочных отложениях. Так, в мусковитовых кварцитах наблюдается косая и градационная слоистость. В кианитовых, ставролит-кианитовых сланцах слоистость связана с чередованием слоев различного минерального состава (кианитовых, кварцевых) или окраски, обусловленной присутствием или отсутствием углеродистого вещества. Мощность отдельных слоев колеблется от нескольких мм до нескольких см.

Кроме слоистости, в сланцах пачки Б наблюдаются и другие признаки, характерные для осадочных отложений — знаки ряби и конкреции (сульфидные и кварц-кианитовые) / 5 /.

Последовательность пород в разрезе свиты кейв имеет определенную направленность, которая выделяется как циклы / IIO / или ритмы / 5 / осадконакопления, которые начинаются грубозернистыми осадками и завершаются тонкими глинистыми или хемогенными осадками. I ритм охватывает пачки А и Б, ритм II — пачки В и Г, III ритм — пачку Д и IV ритм — включает пачки Е и Ж.

Рядом исследователей / 5, 28, 68, 72 / отмечается несогласное трансгрессивное налегание пачки Д на более ранние пачки, присутствие ее в составе конгломератов и возможное образование пород пачки Д за счет продуктов перемыва подстилающих пород или кор выветривания. Кроме того, породы пачки Д-Ж заметно отличаются от пород пачки А-Г, как по петрографическому, так и по химическому составу. Основываясь на этих данных, мы в дальнейшем рассматриваем только породы пачек А-Г, содержащие в своем составе заметные количества углеродистого вещества.

Среди кристаллических сланцев серии кейв значительную роль (30-34% мощности) играют различные по составу ортоамфиболиты, слагающие сильно вытянутые по простиранию сланцев полосы или тела (см. рис. 7).

В строении ядерной части Кейвского синклинория отмечается главная синклиналь и ответвляющиеся от нее синклинали Червурта,

Ягельурта, Малъурта, Верхне-Югоньская. Главная синклиналь на протяжении 150 км имеет ассиметричное строение, обусловленное опрокинутым на юг крутым залеганием северного крыла ( $50-70^{\circ}$ ) и сравнительно пологим падением ( $30-40^{\circ}$ ), к северу южного крыла / 5 /.

Термодинамические условия метаморфизма пород серии кейв составляют  $T = 510-580^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 4.1-5.4$  кбар / 67 / и по региональной стратиграфической шкале серия кейв относится к нижнему отделу (кейвскому этапу) нижнего протерозоя / 72 и др. /.

х

х

х

В исследованных районах выделяются два временных этапа накопления углеродсодержащих-высокоуглеродистых отложений нижнего протерозоя (кейвский и лодиковикский), причем для каждого этапа характерен свой тип разреза. Для кейвского (свита хизовара и серия кейв) этапа - высокодифференцированные терригенные отложения (гранат-ставролит-кианитовые сланцы, гнейсы и кварцевые сланцы, кварциты). Содержание  $C_{\text{орг}}$  не превышает 2-4%. Для лодиковикского (свиты хирвинаволок и соваярви) этапа характерны менее дифференцированные отложения (со значительным количеством полевых шпатов), присутствие карбонатных, карбонатсодержащих пород и пластов высокоуглеродистых (до 30-41%С) пород.

## Глава II. Литолого-петрографическая характеристика углеродсодержащих пород

Углеродсодержащие метаморфические породы рассмотренных районов характеризуются разнообразием литолого-петрографических типов. Сюда относятся сланцы различного состава, гнейсы, кварциты, доломиты и известняки и весьма редко параамфиболиты.

### I. Породы свиты хизовара

Углеродсодержащие породы свиты (см. Приложение I) представлены, в основном, гранат-биотит-кианитовыми гнейсами и кианит-кварцевыми сланцами.

Макроскопически гранат-биотит-кианитовые гнейсы представляют собой обычно темно-серую породу средне- крупнозернистой структуры, состоящую из кианита (15-30%), кварца (20-40%), биотита (15-25%), плагиоклаза и редких кристаллов граната (до 3-5%).

К и а н и т в гнейсах развит в виде вытянутых или коротко-столбчатых кристаллов, причем размер их меняется от 1-2 мм до первых см в длину и до 1-1,5 см в ширину. Темно-серый цвет кианита объясняется "запыленностью" углеродистым веществом. Кристаллы кианита содержат включения кварца, рутила, рудного минерала, графита, которые иногда располагаются параллельными полосами, очевидно, представляющими реликты первичной слоистости осадков.

Г р а н а т имеет обычно довольно хорошие кристаллографические очертания и почти не содержит посторонних включений.

Б и о т и т коричневого цвета, резко плеохроирующий от светло-желтого до яркокоричневого. В пластинках биотита весьма часты включения минералов, дающих плеохроичные дворники. К трещинам спайности бывает приурочены чешуйки графита, которые при сильной мусковитизации биотита особенно хорошо видны.

П л а г и о к л а з - (обычно олигоклаз, олигоклаз-андезин) довольно часто не имеет двойникового строения, иногда в заметной степени изменен. Количество его в гнейсах редко превышает 10-15%.

К в а р ц - довольно часто развит в виде неправильных или слабо удлинённых зерен. Содержание его колеблется от 15 до 40%. Иногда зерна кварца имеют волнистое погасание.

крупными порфиробластическими кристаллами до 1-1,5 см в длину. Кианит имеет сарый цвет различных оттенков из-за присутствия пигментирующего углеродистого вещества, иногда подчеркивающее первичную слоистость (рис. 8). Часто кристаллы кианита насыщены зернами кварца.

К в а р ц среднезернистый представлен агрегатами зерен часто вытянутыми более или менее параллельно слоистости и содержащими чешуйки графита. Однако, отдельные зерна и агрегаты зерен кварца в порфиробластических сланцах почти полностью лишены углерода, что по-видимому, объясняется процессами автолиза.

П л а г и о к л а з в сланцах редок. Он встречается в виде небольших табличек, иногда с двойниковым строением. В порфиробластической разновидности сланцев плагиоклаз достигает 1-1,5 см в длину и количество его увеличивается до 10-15%. Здесь он представлен андезин-лабрадором, причем химические анализы показывают относительно высокое содержание в этих сланцах  $\text{CaO} = 4,05\%$  против 1,54 в сланцеватой разновидности. Так как карбонатные минералы в составе порфиробластических сланцев отсутствуют высокое содержание  $\text{CaO}$  в них, по-видимому, объясняется высокой основностью плагиоклаза.

Б и о т и т - светлокоричневый, слабо плеохроирующий, в незначительном количестве развивается по кианиту.

С т а в р о л и т - наблюдается в виде небольших порфиробластических кристаллов золотистого цвета с поперечными трещинами спайности. Часто отмечаются сростки двух кристаллов. Плеохроизм от светложелтого до желтого. Для центральных частей некоторых кристаллов характерна запыленность тонкодисперсным углеродистым веществом (рис. 9).

Т у р м а л и н представлен небольшими короткостолбчатыми кристаллами обычно до 0,1 мм длиной. Минерал слабо плеохроирует от светло-зеленого до бесцветного. Часто содержит в своем составе мельчайшие графитовые чешуйки. Иногда турмалин обогащает отдельные слойки (до 1%).

Р у т и л представлен мелкими призматическими кристаллами или неправильными выделениями темно-бурого цвета.

А п а т и т образует неправильные призматические кристаллы или мелкие зерна иногда с углеродистым веществом.

Р у д н ы й м и н е р а л представлен пиритом и пирротинном,

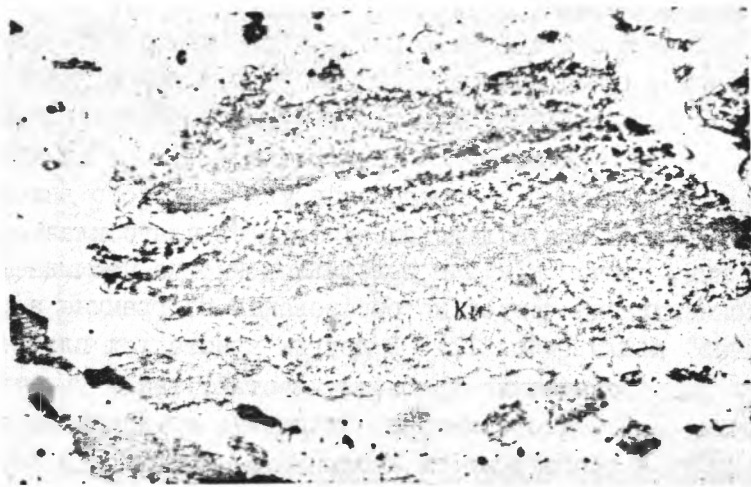


Рис. 8. Слоистое распределение углеродистого вещества в порфиробласте кyanита (Ки). Кyanит-кварцевый сланец. Шлиф X-4/18В, николи II, x 70.

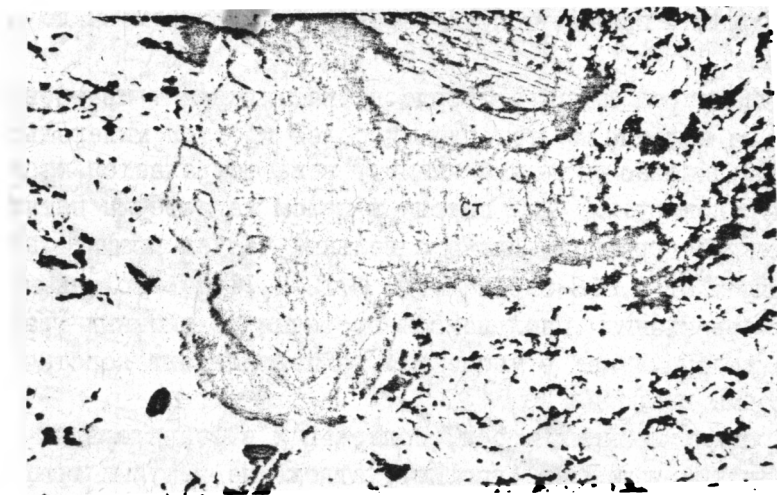


Рис. 9. Запыленность углеродистым веществом центральных частей ставролита (Ст). Углеродистая оторочка (результат отгонки?) около агрегата ставролита. Кyanит-кварцевый сланец. Шлиф X-144/5, николи II, x 70.



последний обычно неправильной формы, в то время как пирит часто имеет четкие кристаллографические формы.

Графитовая минерализация сланцев представлена мельчайшими от 0,008 мм до 0,30 мм в длину чешуйками (рис. 10) и неправильными выделениями, распределенными в породе более или менее равномерно. В порфиробластических сланцах отмечается две особенности в распределении углеродистого вещества:

1) обогащенность отдельных кристаллов плагиоклаза графитистыми чешуйками, причем к краям кристаллов иногда наблюдается возрастающая концентрация чешуек до образования по границе зерен черной непрозрачной каймы (рис. 11). В других кристаллах плагиоклаза наблюдаются как обогащенные графитом участки, так и участки совсем свободные от него, что также, по-видимому, объясняется процессами автолиза. Такая обогащенность наблюдается иногда и в зернах кварца.

2) В порфиробластических сланцах около кристаллов ставролита и кианита встречаются довольно крупные скопления или оторочки углеродистого вещества (см. рис. 9, 11). Центральные части некоторых кристаллов ставролита бывают запылены мельчайшими выделениями углерода.

В сланцах иногда наблюдается ассоциация графитистых чешуек с сульфидами, причем чешуйки графита имеют размеры до 0,08–0,1 мм в длину.

Для другой линзы углеродсодержащих кианит-кварцевых сланцев характерна полосчатая текстура и более простой минеральный состав кварц, радиально-лучистый кианит, реже встречается пирит, графит, весьма редок рутил. Для породы в целом характерны пятнистые скопления чешуек графита. Длина отдельных чешуек графита колеблется в пределах от 0,008–0,010 мм до 0,12–0,16 мм. Вблизи некоторых кристаллов кианита наблюдаются оторочки из длинных графитовых чешуек в то время как в массе кварца преобладают короткопризматические формы графита.

Кроме описанных пород, содержащих в значительных количествах углеродистое вещество (графит), отдельные чешуйки графита встречаются и в других (двусланяных, биотитовых, амфибол-кианитовых) гнейсах и радиально-лучистых кианитовых сланцах. Графитовая минерализация в этих гнейсах и сланцах аналогична графитовой минерализации в вышеописанных породах.

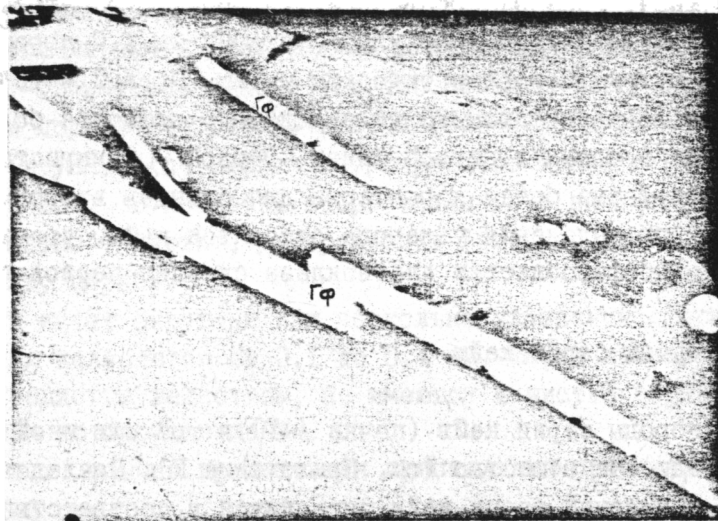


Рис. 10. Чешуйки графита (ГФ) в кварц-кианитовом сланце. Аншлиф, х 460.



Рис. 11. Кайма отгонки (черное) углеродистого вещества около кристаллов кианита (Ки) и плагиоклаза (Пл). Межзерновое и прожилковое распределение углеродистого вещества среди зерен кварца (Кв). Порфиробластический плагиоклаз-кианит-кварцевый сланец. Шлиф X-144/5, николи II, х 70.

Все вышеописанные проявления углеродистого вещества в черных кианит-кварцевых сланцах по классификации Св.А.Сидоренко / IO7 / относятся к двум морфогенетическим типам. Первый – точечная тонкодисперсная форма проявлений углеродистого вещества большей частью наблюдается в сланцах первой линзы. Второй – межкристаллическая, межзерновая форма более характерна для сланцев второй линзы. К этому же типу выделений углерода относятся каймы углеродистого вещества в порфиробластах плагиоклаза сланцев первой линзы.

## 2. Породы серии кейв

Все породы серии кейв (пачки А-Г) в той или иной мере содержат углеродистое вещество (см. Приложение II). Последовательность описания отложений серии кейв приводится в соответствии с их стратиграфическим положением, принятым в работе И.В.Белькова / 5 /.

Пачка А. В составе пачки выделяются два главных литолого-петрографических типа сланцев: слюдяно-гранатовые и ставролит-гранатовые, причем первые приурочены к низам пачки.

Гранат-мусковит (биотит)-кварцевые сланцы представляют собой породы серого и светло-серого цвета с мелко и среднезернистой слюдяно-кварцевой массой и крупными порфиробластами граната. Цвет сланцев обуславливается присутствием углеродистого вещества (до 0,5-1,0%). Главными минералами сланцев являются кварц (45-60%), мусковит (5-25%), гранат (5-15%), биотит (до 10%). Второстепенные: ставролит, ильменит, рудный (пирротин), рутил, апатит.

К в а р ц . В сланцах, содержащих  $C_{орг}$ , основная часть кварцевых зерен "запылена" углеродистым веществом, часты также включения биотита и ильменита.

С л ю д н (мусковит, биотит) наблюдаются в виде удлиненных пластинок. Биотит плеохроирует от темнобурого до зеленовато-желтого.

Г р а н а т в породе представлен в виде округлых зерен, а также в виде крупных порфиробластических кристаллов (0,2-3 см, иногда до 20-25 см). Для центральных частей зерен характерны многочисленные включения кварца и рудных минералов.

Рутил – обычный аксессуарный минерал сланцев, равномерно распределен в породе. Наиболее крупные выделения (до 1 мм) просвечи-

вают темно-коричневым цветом.

Апатит наблюдается в виде редких мелких (0,1-0,01 мм) зерен.

Ставролит-гранатовые сланцы слагают верхнюю часть пачки А. Основная масса породы состоит из кварца (25-60%), мусковита (до 5-6%) и более крупных (до 2-3 см) порфириобласт граната (5-20%) и ставролита (10-25%). В качестве второстепенных и аксессуарных минералов присутствуют - биотит, углеродистое вещество (до 0,5-1,5%), рутил, ильменит, циркон.

К в а р ц имеет округлые или несколько удлиненные формы зерен, размеры их колеблются от 0,1 до 0,4 мм. Зерна кварца обычно запылены углеродистым веществом, но имеются и чистые зерна, видимо, более позднего происхождения.

Г р а н а т обычно представлен кристаллами правильной формы размером до 1-3 см.

С т а в р о л и т также, как и гранат содержит многочисленные включения других минералов, чаще всего кварца. Довольно часто в ставролите наблюдается слоистое распределение углеродистого вещества. Размер кристаллов ставролита до 1-3 см.

М у с к о в и т и б и о т и т присутствуют в виде удлиненных пластинок до 1-3 мм в длину. Биотит плеохроирует от слабобурого до темнобурого.

Характерной особенностью этих пород является повышенное количество циркона, имеющего признаки осадочного происхождения (округлые окатанные зерна).

Другие аксессуарные минералы - рутил, апатит, ильменит имеют обычные формы выделений.

Пачка Б. Характерными особенностями сланцев пачки Б являются: постоянное присутствие в составе пород углеродистого вещества окрашивающего сланцы в темносерые и черные тона, а также повышенные содержания кианита.

В зоне перехода от нижележащих сланцев пачки А отмечаются филлитовидные кварц-серицитовые сланцы с кианитом, которые, вверх по разрезу, постепенно сменяются черными существенно кианитовыми сланцами.

Кварц-серицитовые сланцы представляют собой тонкослоистую породу, состоящую, главным образом, из кварца и серицита (рис. 12). Второстепенными и аксессуарными минералами являются кианит, рутил,

ильменит, углеродистое вещество (0,5–1%).

К в а р ц выделяется в виде мелких зерен, содержащих углеродистое вещество.

С е р и ц и т представлен мелкими вытянутыми чешуйками, которые часто концентрируются в виде слойков. К этим же слойкам приурочены и редкие кристаллы кианита.

К и а н и т представлен коротко- или длиннопризматическими кристаллами и агрегатами кристаллов, имеющими разнообразную форму: сноповидную, радиально-лучистую, волокнистую. Кианит обычно имеет серый и темносерый цвет из-за присутствия углеродистого вещества.

Р у т и л распределен в породе более или менее равномерно в виде мелких зерен и выделений темнобурого цвета.

И л ь м е н и т встречается в виде пластинок 1–2 мм в поперечнике.

Кианитовые, ставролит-кианитовые сланцы представляют собой породы от светлосерого до черного цвета, в которых на фоне основной мелкозернистой слюдясто-кварцевой массы выделяются кристаллы и агрегаты кристаллов кианита и ставролита.

Цвет данных сланцев находится в зависимости от количества и распределения пигментирующего углеродистого вещества, которое может быть представлено в виде полос, пятен.

Структура сланцев – порфиробластическая, где порфиробластами являются – кианит, ставролит, плагиоклаз. Основная масса породы обычно имеет гранобластическую или лепидобластическую структуру.

Главными минералами кианитовых сланцев являются кианит (30–70%), кварц (40–70%), мусковит (до 20%), второстепенными – ставролит (0–1%), биотит, углеродистое вещество (до 2,5–3%), плагиоклаз. Среди акцессорных минералов отмечаются рутил, циркон, апатит, рудные.

В ставролит-кианитовых сланцах главные минералы – кианит (10–30%), кварц (35–50%), плагиоклаз (2–8%), ставролит (5–15%), мусковит (1–15%). Второстепенные и акцессорные минералы такие же как и в кианитовых сланцах.

К и а н и т в породах образует различные морфологические типы агрегатов. В одних разновидностях сланцев игольчатые выделения кианита находятся в параллельном срастании в виде тонких длинных волокон (рис. 13), в других – игольчатые агрегаты кианита собраны в

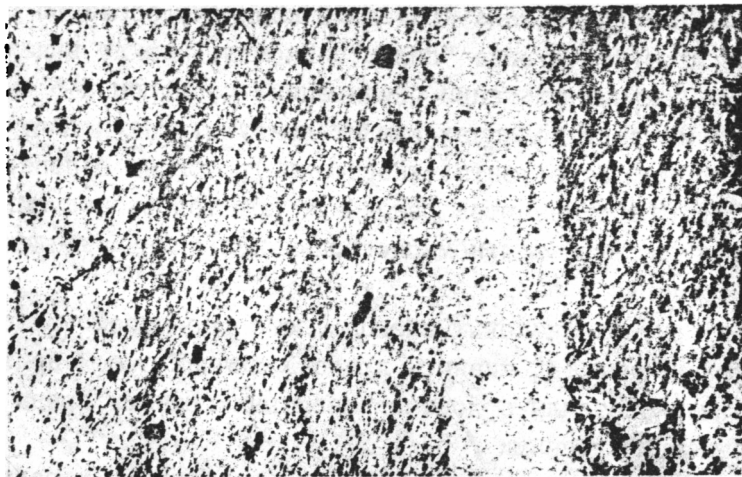


Рис. 12. Первичная слоистость в филлитовидных серицитовых сланцах, подчеркнутая распределением углеродистого вещества. Шлиф СК-15, николи II, x 70.

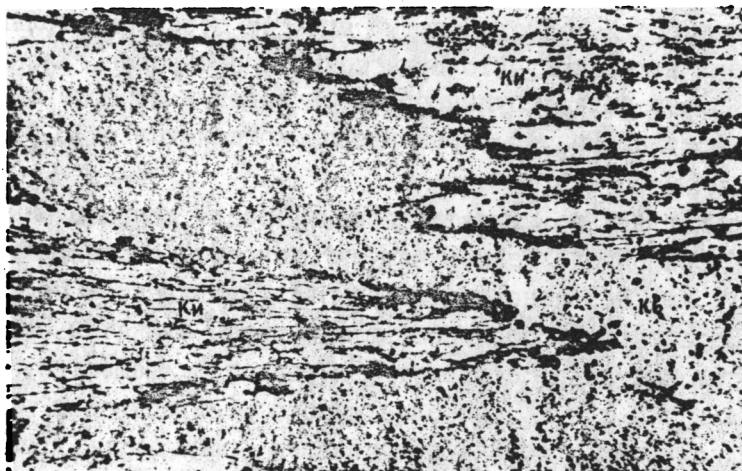


Рис. 13. Формы выделений углеродистого вещества в кристаллах кyanита (Ки) и зернах кварца (Кв). На концах кристаллов кyanита хорошо видны каймы отгонки углеродистого вещества. Шлиф БК-7, николи II, x 70.

пучки или снопы, растущие из одного центра в противоположные стороны (Рис. 14), иногда тонкие кристаллы кианита, образуют радиально-волоконистые агрегаты в виде "солнц". Иногда, кианит выделяется в виде мономинеральных стяжений (конкреций) размером 1-5 см в диаметре. В параморфических сланцах кианит присутствует в виде параморфоз по кристаллам андалузита (хиастолита), причем в поперечных сечениях параморфоз отмечаются различные крестообразные фигуры, связанные с присутствием закономерно ориентированных скоплений углеродистого вещества / 5 /.

В ставролит-кианитовых сланцах довольно широко распространен призматически-зернистый кианит, представляющий собой призматические и таблитчатые кристаллы с хорошо развитыми гранями призм и отсутствующими концевыми гранями / 5 /.

Для зон контакта сланцев с телами метабазитов характерно осветление черных сланцев за счет выноса из них пигментирующего углеродистого вещества, причем в первую очередь осветляется мусковит-кварцевая масса и в меньшей степени кианит.

К в а р ц является главной составной частью кианитовых сланцев. Наблюдаются две генерации кварца. Кварц первой генерации представляет собой тонкозернистый агрегат зерен, настолько насыщен углеродистым веществом, что совершенно непрозрачен. Кварц второй генерации имеет более крупные размеры зерен и не содержит углеродистого вещества. Размер зерен кварца колеблется от 0,05 до 0,5 мм.

М у с к о в и т является вторым, после кварца, минералом основной массы пород. Размер чешуек мусковита составляет в основном 0,1-0,2 мм. Довольно часто мусковит развивается по кристаллам кианита. Характерной особенностью мусковита является его светлая окраска, так как он не содержит углеродистое вещество.

С т а в р о л и т наиболее широко распространен в ставролит-кианитовых сланцах и обычно представлен правильными кристаллами, заключенными в мусковит-кварцевую массу пород. Цвет кристаллов ставролита, в сравнение со ставролитом из пород свиты хизовара, более золотисто-желтый и плеохроизм более сильный от слабо желтого по № до золотисто-желтого по №<sub>2</sub>. Ставролит часто содержит тонкокассеечное углеродистое вещество и включения кварца (см. рис. 15), рутила. Иногда в кристаллах ставролита хорошо проявлена зональ-

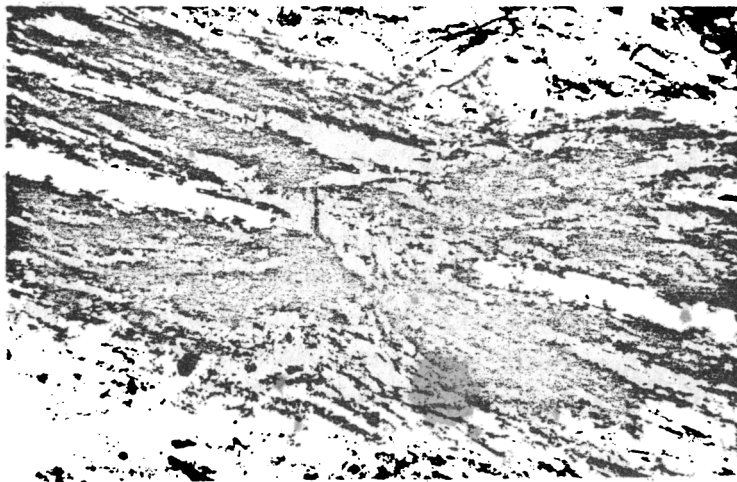


Рис. 14. Распределение углеродистого вещества в сноповидном кристалле кианита. Шлиф БК-22, николи II, x 70.



Рис. 15. Зональное распределение углеродистого вещества в кристаллах ставролита (Ст). Сильная запыленность углеродом кристалла кианита (Ки). Шлиф КК-22, николи II, x 70.



ность в распределении включений, которые обычно находятся во внутренних зонах, тогда как внешняя зона свободна от них (см. рис. 15). В отдельных кристаллах удается наблюдать первичное микрослоистое распределение углеродистого вещества, унаследованное от распределения  $C_{орг}$  в осадках (рис. 16, 17).

**Плаггиоклаз** в переменных количествах встречается во всех сланцах в виде овальных, округлых порфиробласт. Размер их колеблется от нескольких мм до 2–3 см в поперечнике. Зерна плагиоклаза часто содержат включения кварца, кианита, ставролита, рутила, углеродистого вещества, причем последнее распределяется как равномерно, так и в виде полос или пятен. Довольно часто плагиоклаз замещается вторичными минералами (серицит и др.). По составу плагиоклаз соответствует олигоклазу, олигоклаз-андезину.

**Ильменит** встречается в виде пластинок размером 0,1–0,5 см иногда замещается рутилом и лейкоксомом.

**Рутил** является главным титансодержащим минералом в собственно кианитовых сланцах, в то время как в ставролитсодержащих сланцах больше развит ильменит. Рутил обычно выделяется в виде кристаллов (до 0,1 мм в длину), иногда коленчатых двойников, неправильных образований. Цвет его темнобурый. Содержание его в кианитовых сланцах достигает 1%.

**Биотит** встречается в виде пластинок темнокоричневого цвета, плеохроирует от буроватого до темнокоричневого. Часто содержит включения углеродистого вещества.

В незначительных количествах в данных сланцах присутствуют циркон, апатит.

Как показали исследования И.В.Белькова / 5 /, в кианитовых сланцах довольно часто присутствуют сульфиды, причем последние сохраняются только с глубины 10–12 м. В приповерхностных участках сульфиды представлены главным образом пиритом, который с глубиной постепенно сменяется пирротином. Содержание сульфидов в кианитовых сланцах составляет от 2–3 до 6–7%. Имеется две главные формы выделений сульфидов: прожилковая и вкрапленная. Среди последней преобладают мелкая (до 0,5 мм) густая вкрапленность и редко отмечаются крупные вкрапленники до 5 мм.

Верхнюю часть разреза пачки Б составляют слюдяно-плагиоклазовые сланцы с кианитом и ставролитом. В данных сланцах в число

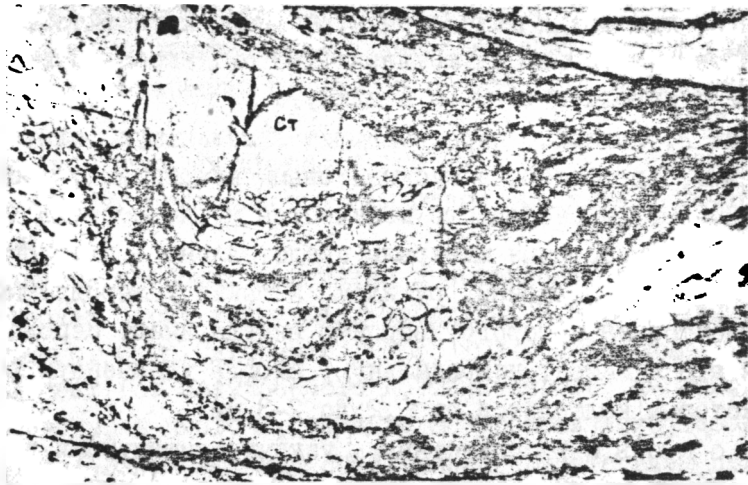


Рис. 16. Первичная микростроистость в кристалле ставролита (Ст). Плойчатый ставролит-кианитовый сланец. Шлиф Ке-4, николи II, x 70.

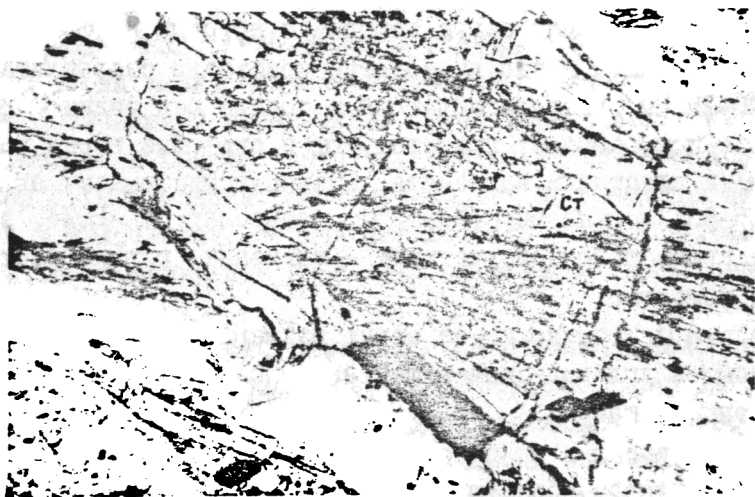


Рис. 17. Первичная микростроистость в кристалле ставролита (Ст). Ставролит-кианит-кварцевый сланец. Шлиф КК-22сл, николи II, x 70.

главных минералов входят, наряду с кварцем (25–50%) и мусковитом (20–55%), также и плагиоклаз (5–20%), а количество кианита и ставролита достигает 10–15%. Эти сланцы представляют собой породы серого цвета, где среди мелкозернистой кварц-мусковитовой массы выделяются темные зерна плагиоклаза (1–3 см), агрегаты и кристаллы кианита и ставролита (1–2 см в длину).

Пачка В, согласно перекрывающая нижележащую, сложена однородными светлыми; светлосерыми мусковитовыми кварцитами, состоящими из кварца (85–99%) и небольшого количества мусковита (до 15%). Второстепенные и акцессорные минералы представлены – плагиоклазом, биотитом, апатитом, цирконом, рутилом, а также углеродистым веществом, из-за присутствия которого кварциты иногда имеют сероватую окраску.

К в а р ц имеет неправильную, иногда удлинённую форму зерен, размер которых колеблется от 0,2 до 2–3 мм.

М у с к о в и т представлен узкими, вытянутыми пластинками, расположенными между зёрнами кварца. Размер пластинок колеблется от 0,05 до 2–4 мм.

Выше лежащие породы пачки Г представлены, в основном, двумя разновидностями сланцев: порфиробластические плагиоклаз-ставролитовые и порфиробластические плагиоклаз-кианит-ставролитовые.

Порфиробластические плагиоклаз-ставролитовые сланцы представляют собой светлые или серые породы, в которых на фоне мелкозернистой основной массы резко выделяются кристаллы ставролита длиной от 1–2 до 20–25 см, располагающегося в породе без видимой ориентировки. В виде порфиробласт присутствуют и округлые зёрна плагиоклаза (до 2 см) и пластинки ильменита. Главными минералами являются: кварц (25–65%), мусковит (25–50%), ставролит (10–20%), плагиоклаз (5–10%). Кроме того присутствуют – ильменит, рутил, биотит, углеродистое вещество.

К в а р ц обычно имеет зёрна размером 0,2–0,5 мм, довольно часто запылен углеродистым веществом, но имеются более крупные зёрна прозрачного кварца.

С т а в р о л и т присутствует в виде хорошо сформированных кристаллов, иногда образующих крестообразные двойники. Плеохроирует ставролит от желтоватого по  $N_p$  до золотисто-желтого по  $N_g$ . В кристаллах ставролита часто наблюдаются вроски кварца, причем как кварц, так и углеродистое вещество концентрируются, главным образом,

в центральных зонах кристаллов.

Плагноклаз присутствует в виде порфиробласт округлой формы и также содержит мелкие ростки кварца, ильменита, мусковита. По составу относится к олигоклазу-андезину.

Порфиробластические плагиоклаз-кианит-ставролитовые сланцы во многом сходны с вышеописанными, отличаясь от них лишь присутствием кианита.

Кианит представлен крупными (до 7-10 см) кристаллами, которые бывают насыщены углеродистым веществом, мелкими включениями кварца, рутила.

Некоторые данные о формах выделения и содержания углеродистого вещества в породах серии кейв уже приводились И.В.Бельковым / 5 /, А.В.Сидоренко, Св.А.Сидоренко / 105, 107 / и другими.

Практически цвет (от светлосерого до темносерого, черного) пород и минералов свиты, а часто и, видимая макроскопически, слоистость пород в значительной степени обусловлено присутствием пигментирующего углеродистого вещества. Наибольшие его концентрации (до 2,5-3,0% C) отмечаются в сланцах пачки Б, а наиболее низкие в кварцитах пачки В.

В исследуемых породах встречаются все морфогенетические типы проявлений углеродистого вещества по классификации Св.А.Сидоренко / 107 /.

1. Точечная тонкодисперсная форма - наиболее распространенная форма углерода в серии кейв. Обычно углеродистое вещество этой формы представлено мельчайшими выделениями (чаще всего первые микроны), располагающимися в породах пятнами, полосами, линзами (см. рис. 12-15). Наибольшая концентрация углеродистого вещества этого типа отмечается в кристаллах, зернах кианита (см. рис. 15), кварца, плагиоклаза, в то время как пластинки мусковита обычно свободны от него.

Данная форма углеродистого вещества, по-видимому, наиболее близка к первичному распределению углерода в осадочных породах, причем слои, обогащенные углеродом, иногда прослеживаются в порфиробластах кианита, ставролита, кварца, плагиоклаза, являющихся более поздними образованиями (см. рис. 14-17). Довольно своеобразное распределение тонкодисперсного углерода в параморфозах кианита по андалузиту (хиастолиту) детально описано И.В.Бельковым / 5 /.

2. Межзерновая, межкристаллическая форма менее развита в породах свиты. Сюда же относятся и выделения углеродистого вещества по спайности минералов, а также формы "отгонки" углерода растущими кристаллами кианита (см. рис. 13), связанные с процессами автолизиса / 107 /.

3. Крупные выделения углеродистого вещества, также как и микротрещинная и трещинная формы, встречаются редко в сланцах серии кейв. Более часто встречаются сочетания различных форм выделения углерода.

Таким образом, анализ сравнения морфогенетических типов распределения углеродистого вещества в отложениях серии кейв и в отложениях свиты хизовара свидетельствуют о том, что в отложениях серии кейв преобладает точечная тонкодисперсная форма распределения углеродистого вещества. Значительно более четко фиксируется форма первично-осадочного распределения органического вещества в породах пачек А-Г. Здесь реже встречаются ясно выраженные кристаллографические формы графита (пластинчатые и агрегаты чешуйчатого графита). Все это свидетельствует о том, что породы серии кейв по сравнению с породами свиты хизовара либо претерпели более низкий уровень метаморфизма, либо тонкодисперсный характер первично-осадочного субстрата (каолинитовые глины, обогащенные тонкорассеянным  $C_{орг}$ ) не благоприятствовал преобразованию  $C_{орг}$  до уровня кристаллов графита, при том же уровне метаморфизма.

### 3. Породы свиты хирвиनावолок

Все изученные нами породы свиты (от кварцитов до амфиболитов и доломитов) содержат в том или ином количестве углеродистое вещество, вплоть до образования черных графитистых пород (см. приложение III).

Кварциты представляют собой темносерые породы с мелкозернистой основной массой и редкими порфиробластическими выделениями амфибола.

Структура пород порфиробластовая, структура основной массы — тонкогранобластовая. Главным минералом этих пород является кварц (85–90%), второстепенными — амфибол (5–15%), биотит (1%), акцессорные — рудный (пирит).

К в а р ц представлен двумя генерациями. Кварц I генерации

имеет размеры 0,03–0,08 мм и обычно содержит тонкодисперсное углеродистое вещество. Кварц II генерации наблюдается в небольших прожилках, линзочках и обычно не запылен углеродом, размеры его зерен колеблются от 0,08 до 0,15 мм. Форма зерен, как правило, изометричная.

**Б и о т и т** представлен в породе в виде небольших пластинок (0,05–0,20 мм), резко плеохроирующих от светлорычного до буровато-рычного.

**А м ф и б о л** представлен двумя разновидностями: обыкновенной роговой обманкой и куммингтонитом.

Роговая обманка имеет бледно-зеленый цвет. Плеохроирует от бледно-зеленого по  $N_z$  до желтовато-зеленоватого по  $N_p$ .  $n_c : N_g = 1,11–1,15$ . Обычно в виде узких, вытянутых игольчатых кристаллов. Размер этих кристаллов от десятых долей мм до 2–5 мм в длину.

Куммингтонит светлорычного цвета, слабо плеохроирующий. Характерны полисинтетические двойники. Размеры выделений колеблются в широких пределах от 0,08–0,10 мм до 2–5 мм в длину.

Рудный минерал (пирит) – отмечается в виде неправильных выделений от 0,01–0,02 мм до 0,15–0,20 мм реже до 0,8–1 мм. Обычно выделения пирита более или менее равномерно рассеяны в породе.

Углеродистое вещество в породе представлено точечной тонкодисперсной формой. Как правило, оно распределяется равномерно, но иногда образует микрослои и тогда порода имеет тонкополосчатую текстуру. Довольно часто углеродистым веществом насыщены кристаллы куммингтонина и роговой обманки так, что они становятся черными.

Карбонатные породы (мраморы). Обычно это среднезернистые, реже мелкозернистые породы, довольно часто содержащие углеродистое вещество (рис. 18). Главными минералами являются – доломит и кальцит, второстепенные и акцессорные – кварц, плагиоклаз, биотит (флогопит), серицит, рудный. Углеродистое вещество может быть как второстепенным, так и акцессорным.

Доломитовые мраморы состоят преимущественно из доломита (на 95–99%). Присутствуют – кварц, биотит (или слабоокрашенный бесцветный флогопит), амфибол (роговая обманка), углеродистое вещество, рудный. Структура породы гранобластовая, гетерогранобластовая, текстура массивная, полосчатая.

**Д о л о м и т.** Довольно часто его зерна имеют изометричную,

немного вытянутую форму, размер их обычно колеблется от 0,03–0,05 мм до 0,08–0,15 мм, хотя отмечаются и более крупные зерна.

**К в а р ц** представлен обычно небольшими изометричными зернами (0,03–0,05 – 0,15–0,20 мм), иногда собранными в небольшие линзы, жилки. Иногда зерна кварца имеют облачное угасание.

**Б и о т и т** (флогопит) – небольшие (обычно слабоокрашенные и соответственно слабоплеохроирующие) чешуйки (0,05–0,5 мм) и значительно реже явно окрашенные чешуйки биотита.

**П и р и т** встречается в виде неправильных выделений (0,03–0,08 мм) более или менее равномерно распределенных по породе.

Кальцитовые мраморы состоят преимущественно из кальцита (95–99%), среди которого наблюдаются – кварц, биотит (флогопит), углеродистое вещество, рудные минералы. Структура пород гранобластовая, гетерогранобластовая, текстура массивная, полосчатая.

**К а л ь ц и т.** Размеры зерен кальцита колеблются от 0,02–0,05 мм до 0,15–0,20 мм. Но имеются и более крупные кристаллы, для которых не характерна запыленность углеродистым веществом, по-видимому, это кальцит II генерации. В этих кристаллах хорошо заметны полисинтетические двойники. Кроме того, были встречены темносерые кальцитовые мраморы, в которых, именно, крупные кристаллы (2–4 мм) кальцита насыщены углеродистым веществом.

Другие минералы (кварц, биотит, рудный) аналогичны вышеописанным.

Углеродистое вещество, как правило, равномерно распределено по породе, но, довольно часто, оно образует слойки небольшой мощности (0,5–1 мм) (см. рис. 18), реже встречается пятнистое распределение углеродистого вещества. В карбонатных породах углеродистое вещество представлено различными формами выделений: точечными тонкодисперсными, межкристаллическими, межзерновыми, а также в форме крупных выделений по классификации морфогенетических типов / IO7 /, причем его основная масса обычно приурочена к мелкозернистым прослоям. И только в одном образце нами были обнаружены кальцитовые мраморы, в которых крупные кристаллы кальцита более насыщены углеродом, чем мелкозернистая основная масса.

Амфиболиты, содержащие углеродистое вещество, встречаются среди отложений II и III пачек свиты, где они образуют прослой мощностью до нескольких метров. Цвет пород от темнозеленого до черного.

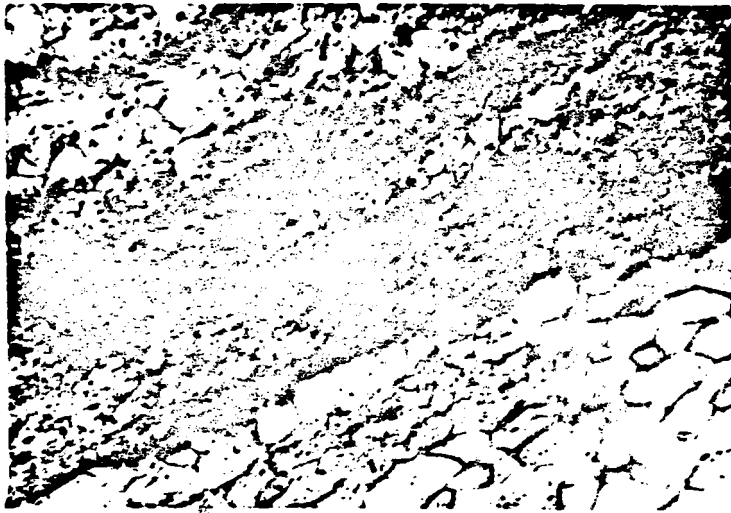


Рис. 18. Микрослоистое распределение углеродистого вещества в карбонатной породе. Шлиф Ку-3/4, николи II,  $\times 60$ .

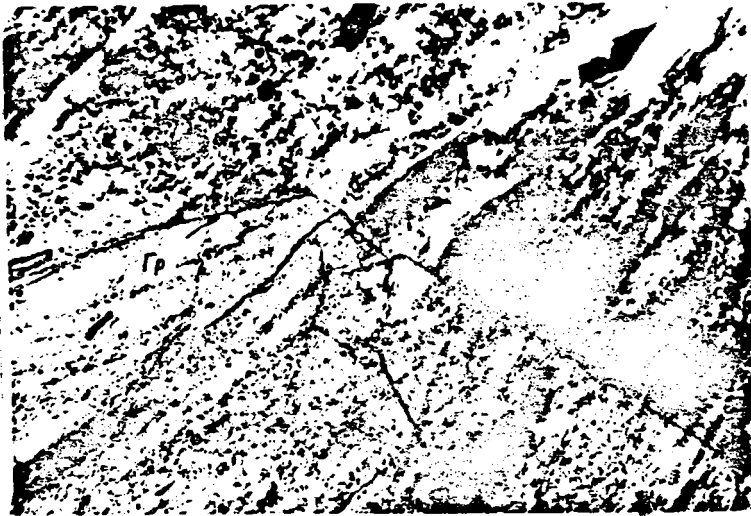


Рис. 19. Микрослоистое распределение углеродистого вещества в кристалле граната (Gr) и амфибол-кварцевом сланце. Шлиф Ку-10/3<sup>0</sup>, николи II,  $\times 60$ .



Структура пород обычно гранонематобластовая, порфиробластовая с нематогранобластовой основной массой, текстура массивная, полосчатая. Главными минералами амфиболитов являются: роговая обманка (60-90%), куммингтонит (40-60%), кварц (10-30%), второстепенные - плагиоклаз (2-5%), карбонат (0-2%), гранат (0-2%), углеродистое вещество (0-4%), цонзит, биотит, рудный, магнетит, эпидот.

А м ф и б о л обычно представлен зеленой роговой обманкой, плеохроирующей от густо-зеленого по  $N_g$  до желтовато-зеленого по  $N_p$ . Кристаллы обычно в виде длинных узких призм (до 2-4 мм в длину), расположены параллельно друг другу и имеют хорошо выраженные трещины спайности, с:  $N_g = 11-16^\circ$ . Иногда кристаллы амфибола содержат многочисленные включения кварца и плеохроичные дворики, что, вероятно, может указывать на первично-осадочное происхождение этих пород.

К у м м и н г т о н и т представлен бесцветными кристаллами, таких же размеров, как и роговая обманка. Довольно часто он замещает роговую обманку. Угол погасания равен  $16-18^\circ$ . Кристаллы куммингтонита, как и роговой обманки, в значительной мере насыщены углеродистым веществом.

К в а р ц составляет большую часть лейкократовых минералов амфиболитов и представляет собой небольшие (0,03-0,08 мм) изометричные зерна, но отмечаются и угловатые, остроугольные формы зерен (до 0,6-1 мм).

П л а г и о к л а з -- отмечается в виде небольших изометричных, иногда угловатых зерен, большей частью без двойниковых полосок, обычно представлен андезином.

Б и о т и т развит в виде небольших чешуек (0,08-0,8 мм) коричневатого цвета. Довольно часто развивается с периферии по амфиболу.

К а р б о н а т довольно часто содержится в этих породах. Это обычно изометричные зерна (0,02-0,3 мм), расположенные между кристаллами амфибола или по периферии их.

К л и н о ц о и з и т встречается довольно редко и представлен округлыми, вытянутыми зернами, часто с хорошо выраженными трещинами спайности по (100). с:  $N_p = 0-20^\circ$ . В шлифах бесцветный, при скрещенных николях дает голубовато-синие цвета интерференции.

Э п и д о т -- изометричные выделения бурого цвета с яркими

цветами интерференции.

Углеродистое вещество в амфиболитах представлено всеми морфогенетическими формами выделения / IO7 / и находится почти во всех минералах пород: амфиболах, кварце, плагиоклазе и т.д., причем, иногда оно настолько сильно насыщает минерал, что он становится непрозрачным.

Углеродсодержащие (черные) сланцы представлены различными структурно-минералогическими видами: мелкозернистыми слюдяно-кварцевыми, амфибол-кварцевыми и порфиробластическими гранат-кварцевыми, гранат-амфибол-кварцевыми (рис. 19). Последние состоят из небольших порфиробласт граната и амфибола, заключенных в мелкозернистую основную массу из кварца, плагиоклаза и биотита. Как правило, они имеют темносерый и черный цвет и насыщены тонкорассеянным углеродистым веществом.

Б и о т и т представлен небольшими (сотые-десятые доли мм) чешуйками коричневого цвета, плеохроирующими до светлорыжевого. Размер чешуек соизмерим с размерами зерен кварца. В более крупных чешуйках хорошо заметна примесь тонкодисперсного углерода.

Г р а н а т чаще всего присутствует в виде порфиробласт размером от 0,60 до 6 мм и по составу отвечает альмандину. Как правило, он почти не содержит посторонних включений, но иногда в нем наблюдаются многочисленные вроски кварца. Часть порфиробласт граната не содержит углерод, даже если вся порода сильно насыщена углеродом. "Слои" углеродистого вещества как бы обтекают гранат и, иногда создают вокруг кристалла небольшую кайму. Однако, встречаются зерна и кристаллы граната, содержащие углеродистое вещество, подчеркивающее реликтовую микрослоистость (см. рис. 19).

А м ф и б о л в сланцах представлен роговой обманкой зеленого цвета и бесцветным куммингтонитом (рис. 20), которые по своим данным аналогичны ранее описанным.

Р у д н ы е м и н е р а л ы обычно представлены пирротинном и пиритом.

У г л е р о д и с т о е о р г а н и ч е с к о е в е щ е - с т в о встречается во всех породах свиты, причем количество его в породах увеличивается вверх по разрезу. По содержанию  $C_{орг}$  все породы свиты можно подразделить на две группы: углеродистые породы ( $C_{орг}$  до 15%) и высокоуглеродистые (15-42% C).



Рис. 20. Первичная микрослоистость, подчеркнутая углеродистым веществом, прослеживающаяся в кристалле амфибола. Шлиф Ку-9/82<sup>в</sup>, николи II, х 160.

Углеродистые породы представлены различными сланцами (слоисто-кварцевыми, порфириобластическими гранат-амфибол-кварцевыми и др.), карбонатными породами.

Распределено углеродистое вещество в породах в виде тонких слоев, часто прослеживающихся и в порфириобластах амфибола (см. рис. 20), режы граната (см. рис. 19), пятен или равномерно по всей породе.

Высокоуглеродистые (графитистые) породы ( $C > 15\%$ ) имеют матово-черный цвет и массивную текстуру. Под микроскопом видно, что они почти целиком состоят из черного непрозрачного углеродистого вещества, на фоне которого выделяются мелкие зерна кварца (сотые десятые доли мм), серицита и порфириобласты амфибола.

В полированных шлифах видно, что углеродистое вещество распределяется в массе пород более или менее равномерно в виде мельчайших (0,002–0,008 мм) изометричных выделений. Такая форма выделений отражает характер, по-видимому, первичного сингенетического распределения органического вещества в породе. Выделения углеродистого вещества в виде оторочек, кайм и прожилков имеют подчиненное значение и отражают процессы перераспределения органического вещества при катагенезе и метаморфизме. По классификации Св.А.Сидоренко / IO7 / эти выделения относятся к первым двум морфогенетическим формам проявлений углеродистого вещества в осадочно-метаморфических породах докембрия.

Довольно часто в графитистых породах присутствуют сульфиды (чаще пирротин, пирит, реже халькопирит), причем, иногда сульфиды находятся в сростании с чешуйками графита. По количеству сульфидов в породах их можно подразделить на графитистые сланцы, не содержащие сульфидов, сульфидсодержащие и сульфидно-графитистые. В последних содержание сульфидов может достигать 20–25% объема.

#### 4. Породы свиты соваярви

В данной свите углеродистое вещество присутствует в лидитоподобных породах (кварцитах?), карбонатных породах (доломитах), разнообразных сланцах, а также в породах, где углеродистое вещество становится главной составной частью породы (высокоуглеродистые породы (см. Приложение IV).

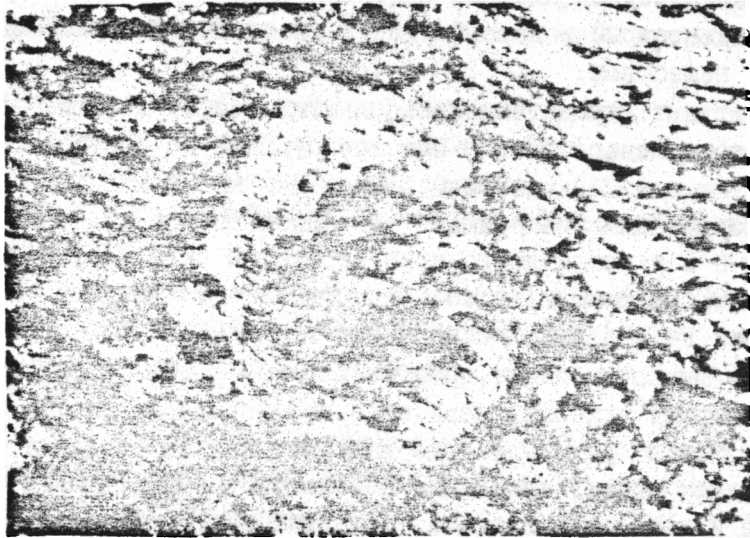


Рис. 20. Первичная микрослоистость, подчеркнутая углеродистым веществом, прослеживающаяся в кристалле амфибола. Шлиф Ку-9/82е, николи II, х 160.

Углеродистые породы представлены различными сланцами (сланцево-кварцевыми, порфириобластическими гранат-амфибол-кварцевыми и др.), карбонатными породами.

Распределено углеродистое вещество в породах в виде тонких слоев, часто прослеживающихся и в порфириобластах амфибола (см. рис. 20), реже граната (см. рис. 19), пятен или равномерно по всей породе.

Высокоуглеродистые (графитистые) породы ( $C > 15\%$ ) имеют матово-черный цвет и массивную текстуру. Под микроскопом видно, что они почти целиком состоят из черного непрозрачного углеродистого вещества, на фоне которого выделяются мелкие зерна кварца (сотые доли мм), серпичита и порфириобласты амфибола.

В полированных шлифах видно, что углеродистое вещество распределяется в массе пород более или менее равномерно в виде мельчайших (0,002–0,008 мм) изометричных выделений. Такая форма выделений отражает характер, по-видимому, первичного сингенетического распределения органического вещества в породе. Выделения углеродистого вещества в виде оторочек, кайм и прожилков имеют подчиненное значение и отражают процессы перераспределения органического вещества при катагенезе и метаморфизме. По классификации Св.А.Сидоренко / 107 / эти выделения относятся к первым двум морфогенетическим формам проявлений углеродистого вещества в осадочно-метаморфических породах докембрия.

Довольно часто в графитистых породах присутствуют сульфиды (чаще пирротин, пирит, реже халькопирит), причем, иногда сульфиды находятся в сростании с чешуйками графита. По количеству сульфидов в породах их можно подразделить на графитистые сланцы, не содержащие сульфидов, сульфидсодержащие и сульфидно-графитистые. В последних содержание сульфидов может достигать 20–25% объема.

#### 4. Породы свиты соваярви

В данной свите углеродистое вещество присутствует в лидитоподобных породах (кварцитах?), карбонатных породах (доломитах), разнообразных сланцах, а также в породах, где углеродистое вещество становится главной составной частью породы (высокоуглеродистые породы (см. Приложение IV)).

Лидиты встречаются в нижней части разреза в виде единичных слоев мощностью 1—3 м. Порода в основном сложена кварцем (на 90—95%), остальные компоненты представлены биотитом, сульфидами, магнетитом, углеродистым веществом. Структура пород микрогранобластовая, текстура массивная.

К в а р ц представлен более или менее изометричными зернами размером от 0,05 до 0,1 мм, местами до 0,2—0,3 мм. Довольно часто зерна кварца имеют волнистое угасание.

М а г н е т и т встречается редко и еще реже магнетит представлен правильными кристаллами.

С у л ь ф и д ы обычно образуют в породе выделения неправильной формы.

Углеродистое вещество в этих породах чаще всего встречается в тонкодисперсной форме. Довольно часто углерод в породе распределен в виде небольших слойков, причем большей частью кварцевые зерна в этих слойках, более мелкозернистые, чем в тех, где углеродистое вещество отсутствует.

В отдельных участках углеродистое вещество образует в породах ступковные образования, в котором присутствуют и сульфиды.

Тонкозернистая структура кварца, дисперсная форма распределения углеродистого вещества и почти полное отсутствие в данных породах акцессорных (обломочных) минералов может свидетельствовать о хемогенном происхождении этих пород.

Карбонатные породы, содержащие в своем составе углеродистое вещество, обычно представлены доломитом. Текстура пород часто полосчатая. Структура гранобластовая, микрогранобластовая. Порода в основном состоит из изометричных зерен доломита (до 85—90%), кальция (до 10—15%), кварца (0—5%), полевого шпата (0—3%), амфибола (до 10%), биотита (0—5%), углеродистого вещества. Акцессорными минералами являются — сфен, циркон, причем эти минералы чаще встречаются в доломитах, содержащих амфибол, слюду, кварц, то есть в породах первоначально содержащих терригенную примесь.

Д о л о м и т представлен обычно изометричными несколько вытянутыми зернами 0,03—0,05 мм — 0,2—0,3 мм, довольно часто запыленные углеродистым веществом.

К а л ь ц и т представлен более крупными ксенобластовыми зернами размером до 0,6—1 мм и встречаются обычно среди более

крупнозернистых пород и в кварц-кальцитовых прожилках. Для кальцита также характерна примесь тонкодисперсного углерода, обычно приуроченная к центральным частям зерен, в то время как в краевых частях она отсутствует.

К в а р ц присутствует в виде одиночных зерен или их агрегатов, реже образуя прожилки. Размер зерен колеблется от 0,02-0,04 мм до 0,2-0,3 мм.

П о л е в о й ш п а т встречается редко и представлен чаще всего плагиоклазом, который довольно интенсивно замещается вторичными минералами (серпидит и др.). Размер и форма зерен плагиоклаза аналогичны кварцевым зернам.

А м ф и б о л представлен двумя разновидностями: тремолитом и актинолитом. Тремолит распространен более широко и представлен бесцветными вытянутыми кристаллами.  $s: N_2 = 14-18^{\circ}$ . Часто содержит вросшие карбонаты. Актинолит плеохроирует от зеленых до желтоватых тонов.  $s: N_2 = 16-20^{\circ}$ . Кристаллы актинолита бывают сильно насыщены вростками карбонатов — до образования скелетных форм.

Размеры кристаллов амфиболов обычно соизмеримы с размерами карбонатных минералов.

Б и о т и т встречается в виде небольших чешуек (0,1-0,2 мм), расположенных между зернами карбоната. Плеохроирует от светлокоричневого до коричневого.

С ф е н представлен небольшими выделениями различной формы (0,03-0,14 мм) темнобурой окраски, заметно плеохроирующий.

Углеродистое вещество в карбонатных породах представлено тонкодисперсной разностью и довольно часто распределяется в виде слоев мощностью от 0,02-0,04 мм до 0,25-0,8 мм (рис. 21). Характерно, что углеродсодержащие слои сложены более тонкозернистым материалом, чем слои, не содержащие углерода. Углеродистое вещество может быть распределено равномерно по всей породе с небольшими округлыми участками более насыщенными  $S_{орг}$ . По классификации Св.А. Сидоренко / IO7 / выделения  $S_{орг}$  в карбонатных породах и кварцитах относятся к I морфогенетическому типу.

Сланцы в данной свите представлены наиболее широко, причем и минеральный состав их довольно разнообразен (биотит-кварцевые, амфибол-кварцевые, карбонат-амфибол-биотит-кварцевые, хлорит-биотит-кварцевые и т.д.) (рис. 22, 23). Текстура пород полосчатая, струк-





Рис. 21. Микрослоистое распределение углеродистого вещества в карбонатном сланце. Шлиф П-10/17, николи II, х 60.

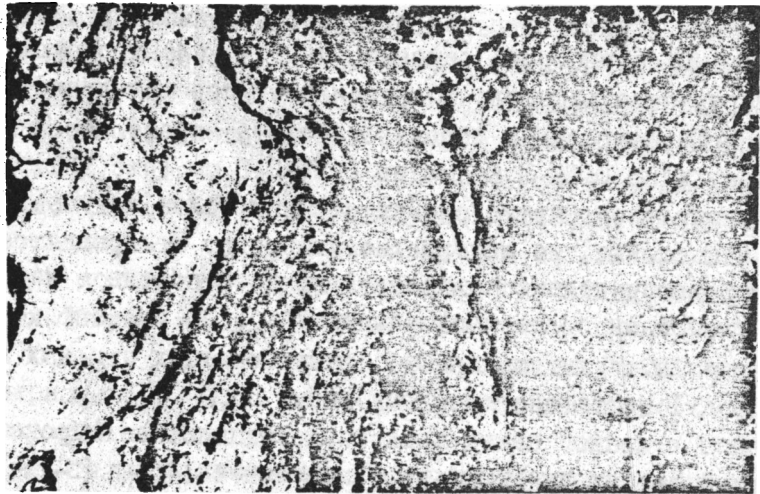


Рис. 22. Плосчатое распределение углеродистого вещества в амфибол-плагиоклазовом сланце. Шлиф П-10/5, николи II, х 60.

тура микролепидобластовая, лепидогранобластовая.

**Б и о т т** темно-бурого, коричневого цвета, резко плеохроирует. Иногда наблюдаются плеохроичные дворники. Размер его пластинок колеблется от сотых долей мм до десятых долей мм. Иногда он развивается по кристаллам амфибола.

**А м ф и б о л** в сланцах принадлежит к группе актинолита-тремолита и представлен обычно вытянутыми призматическими кристаллами, причем бесцветные разновидности (тремолит) более характерны для карбонатсодержащих сланцев, в то время как зеленые, плеохроирующие (актинолит) — более характерны для амфибол-кварцевых сланцев. Лейкократовые минералы представлены кварцем и плагиоклазом.

**К в а р ц** образует изометричные, вытянутые зерна с размером от 0,02–0,03 мм до 0,2–0,4 мм, обычно чистые, в отличие от зерен плагиоклаза (альбит), которые довольно часто замутнены, из-за развития вторичных минералов (серицит и др.). В углеродсодержащих сланцах оба минерала бывают "запылены" углеродистым веществом.

**К а р б о н а т** в сланцах представлен обычно ксеноморфными выделениями, часто содержащими включения кварца, плагиоклаза, углеродистого вещества и др. минералов. Чаще всего карбонат представлен кальцитом, реже — доломитом.

Из аксессуарных в сланцах отмечаются — турмалин, сульфиды (пирит, пирротин), магнетит, сфен.

Во многих сланцах особенно в нижней части разреза содержится тонкораспыленное углеродистое вещество, которое большей частью распределяется по слоистости (см. рис. 22, 23). Наблюдаются также и линзообразные, пятнистые и ступчатые образования.

Мощность углеродистых слоев колеблется в пределах от сотых долей мм до мм и даже 1–1,5 см. Переходы между слоями, обогащенными и обедненными углеродистым веществом, могут быть как постепенными, так и резкими (см. рис. 23).

Высокоуглеродистые породы содержат до 29–32% С, а по данным Л.П.Галдобинной / 30 / даже до 40%. Породы плотные, иногда сланцеватые, матового черного цвета, иногда с антрацитовым блеском, обычно пронизанные серицит-плагиоклаз-кварцевыми жилками с сульфидами. Основная часть пород представлена тонко- и мелкозернистым кварцем, биотитом, серицитом, плагиоклазом. Иногда наблюдаются выделения карбоната и порфиробластические кристаллы амфибола. Углеродистое

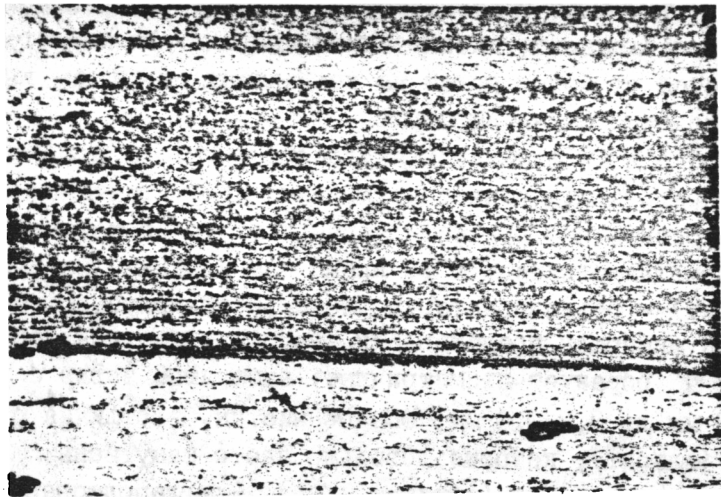


Рис. 23. Микрослойное распределение углеродистого вещества в амфиболовом сланце. Шлиф П-2/4, николи II, x 60.

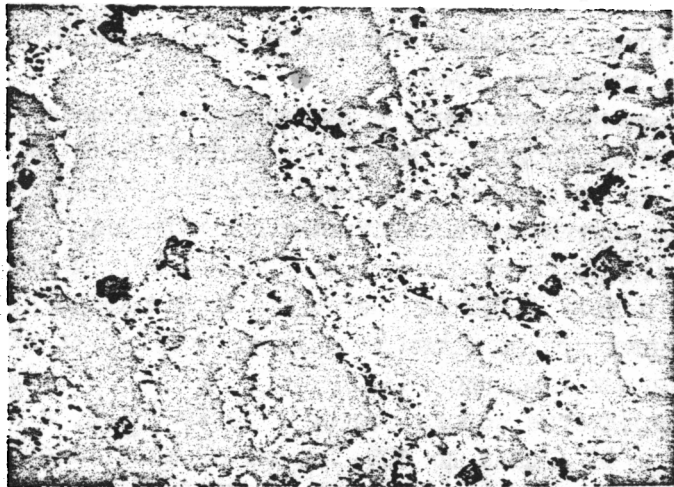


Рис. 24. Межзерновые выделения углеродистого вещества (светлосерое) в углеродистом сланце. Аншлиф П-10/13, x 700.

вещество распределено в породе либо в виде плотной черной массы, либо в виде неправильных ступков, обособлений, линз (Рис. 24).

1. Во всех рассмотренных свитах наибольшее развитие имеют две первые разновидности морфогенетических типов проявлений углеродистого вещества по классификации Св.А.Сидоренко / IO7 /: а) точечная тонкодисперсная форма, приуроченная к кристаллам и зернам — кианита, ставролита, плагиоклаза, кварца и б) межкристаллическая, межзерновая, сюда относятся чешуйки графита, расположенные между кристаллами и зернами биотита, плагиоклаза, кварца и др. минералами. К этой форме относятся и каймы "отгонки" углерода растущими кристаллами кианита, ставролита, плагиоклаза, кварца. Данные проявления широко распространены в породах серии кейв и свиты хизовара.

2. Наличие реликтовой (первичной) слоистости в распределении углеродистого вещества прослеживаемой в порфиробластах метаморфических минералов (ставролит, кианит, амфибол, реже плагиоклаз и кварц) может свидетельствовать о сингенетичности накопления органического вещества и первичного субстрата осадка.

3. Слойки с низким содержанием  $C_{орг}$  или совсем безуглеродистые, как правило, более раскристаллизованы (более крупнозернистые), чем слои с более высоким содержанием углерода. Это, видимо, объясняется тем, что значительные скопления углеродистого органического вещества на поверхности минералов задерживают химические реакции с фильтрующимся метаморфическим флюидом.

## 5. Исследования углеродистого вещества

Углеродистое вещество исследуемых районов было подвергнуто термическому, рентгенографическому, битуминологическому количественному спектральному анализу, а также были определены ряд аминокислот.

### Термический анализ

Термограммы сняты в Лаборатории физико-минералогических исследований ЦНИГРИ на приборе УТА-1 (табл. I<sup>а</sup>) и в Лаборатории физических методов исследования ГИН АН СССР на дериватографе системы Р.Раулик, Р.Раулик, L. Erdely (рис. 25 а-б, 26, табл. I<sup>б</sup>). Пробы приготовлялись по методике разбавления, предложенной Т.И.Красавиной /II?/.

Таблица I<sup>а</sup>

Характеристика горения углеродсодержащих пород серии кейв (1) и свиты хирвинаволоков (2) (прибор УТА-1)

|   | Т н.э. | Т м.э. | Т к.э. | Т к.э.- Т н.э. | Кол. проб |
|---|--------|--------|--------|----------------|-----------|
| 1 | 620    | 980    | 1100   | 480            | 2         |
| 2 | 620    | 860    | 1100   | 480            | 2         |

Таблица I<sup>б</sup>

Характеристика горения углеродистого вещества свит соваярви и хирвинаволоков (дериватограф системы Паулик и Эрдей)

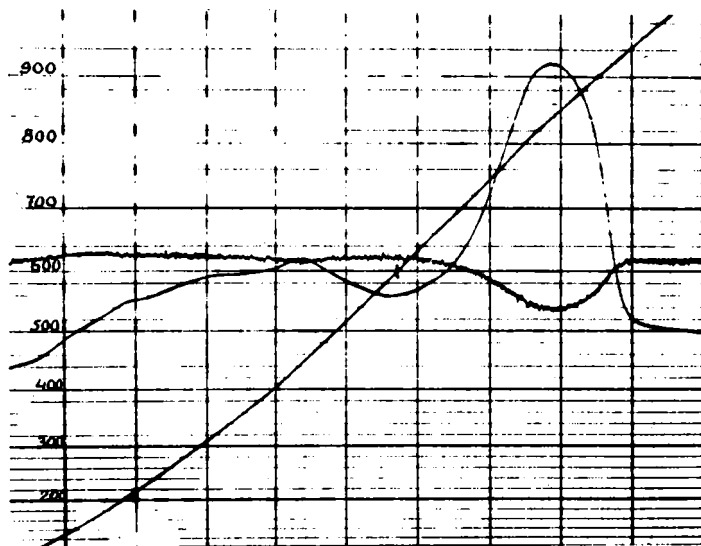
| № обр.  | Т н.э. | Т м.э. | Т к.э. | Т к.э.- Т н.э. | Свита          |
|---------|--------|--------|--------|----------------|----------------|
| П-17/4  | 580    | 750    | 900    | 320            | соваярви       |
| Ку-9/4  | 600    | 800    | 930    | 330            | хирвинаволоков |
| Ку-9/82 | 600    | 840    | 1000   | 400            | - " -          |
| Ку-11/1 | 640    | 800    | 920    | 280            | - " -          |

Т н.э. - температура начала экзоэффекта, Т м.э. - температура максимума, эффекта, Т к.э. - температура конца экзоэффекта.

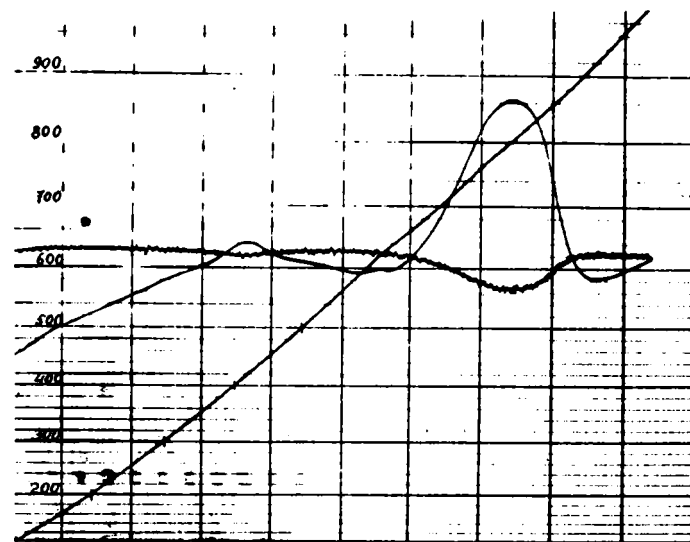
Проведенные термографические исследования (табл. I<sup>а-б</sup>, рис. 25 а-б, 26) показали, что степень совершенства структур углеродистого вещества рассмотренных свит одинакова. Параметры горения, в общем, указывают на амфиболитовую фацию метаморфизма /II7/, причем данные термометрии находятся в соответствии с величинами температурных параметров метаморфизма, полученными при петрологических исследованиях /71/. Наблюдаемые на некоторых кривых ДТА небольшие пики в районе 400<sup>0</sup>, по-видимому, объясняются выгоранием незначительных количеств сульфидов (пирита).

#### Рентгенографический анализ

Рентгенографические исследования углеродистого вещества из пород свит хирвинаволоков и соваярви были проведены на приборе ДРОН-3,0 (См К<sub>α</sub>) (рис. 27, табл. 2). Полученные данные позволяют диагностировать изученное углеродистое вещество как графит.



а. (обр.Ку-9/82)



б. (обр.Ку-II/I)

Рис. 25. Дериватограммы графитистого вещества пород У пачки свиты хирвинаволоок

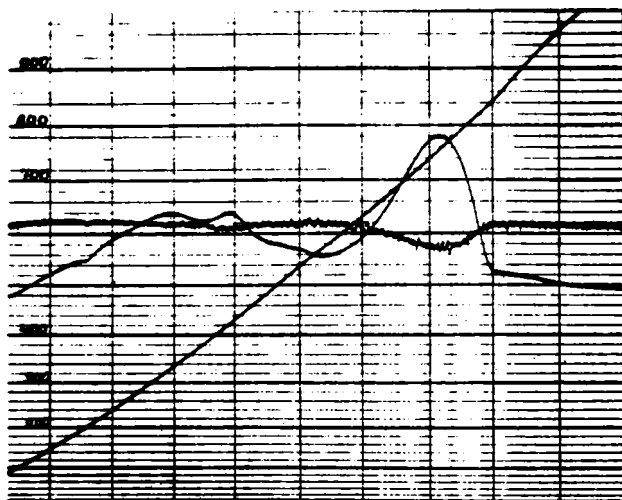


Рис. 26. Дериwатогpамма углеродистого вещества соwяpвинской свиты (обр. П-177/4).

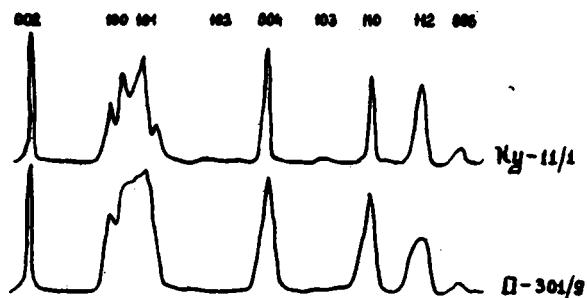


Рис. 27. Диффрактограммы графитистого вещества из пород свиты хирвинаволок (Ку-11/1) и свиты соwяpви (П-301/9).

Таблица 2

Рентгеновские характеристики углеродистого вещества свит хирвинаволоков (1) и соваярви (2)

|   | d (002), нм | I/H (002) | I <sub>III2</sub> /I <sub>IO</sub> | 3R, % | Число определений |
|---|-------------|-----------|------------------------------------|-------|-------------------|
| 1 | 0.8350      | 45        | 0.9                                | 40-50 | 2                 |
| 2 | 0.8350      | 30        | 0.5                                | 50    | 3                 |

### Битуминологический анализ

Битуминологическое изучение образцов было выполнено в РГУ (Ростов-на-Дону) и в Химико-аналитической лаборатории ГИН АН СССР Л.Ф.Ивановой. Кроме того, были использованы литературные данные по высокоуглеродистым породам хирвинаволоковской свиты / 69 /.

Органическое вещество исследуемых пород состоит из нерастворимой части и битумоидов. Как видно из табл. 3, большая часть органического вещества пород представлена нерастворимой составляющей, битумоиды присутствуют в весьма малых количествах, однако небольшие количества битумоидов постоянно присутствуют в органическом углеродистом веществе докембрия, даже в породах гранулитовой фации метаморфизма / 79, 107 /. В 1949 г. В.А.Успенским / 124 / было установлено, что породы литосферы содержат 0,001-0,02% битумоидов, таким образом осадочно-метаморфические породы исследуемых районов содержат (см. табл. 3) аналогичные концентрации. Концентрации битумоидов колеблются в довольно широких пределах, однако почти во всех породах отмечается преобладание кислого битумоида (см. табл. 3). Аналогичные результаты получены и другими исследователями / 69, 70 /, то есть преобладание в составе битумоидной фракции спирто-бензольного экстракта является, по-видимому, характерной особенностью метаморфизованных углеродсодержащих пород восточной части Балтийского щита, в отличие от графитовых пород Украины / 42 /.



## Общая характеристика органического вещества

Таблица 3

| № обр. | Содержание на породу, % |            |            | Содержание на ОВ: % |            |             | Бит. А |
|--------|-------------------------|------------|------------|---------------------|------------|-------------|--------|
|        | С <sub>орг</sub>        | Битумоид А | Битумоид С | Битумоид А          | Битумоид С | Нераств. ОВ | Бит. С |
| П-3/3  | 24,83                   | 0,0011     | 0,0029     | 0,0044              | 0,0116     | 99,98       | 0,38   |
| Х-4    | 0,24                    | 0,0002     | 0,0005     | 0,083               | 0,208      | 99,71       | 0,38   |
| Х-5    | 0,27                    | 0,0005     | 0,0021     | 0,185               | 0,778      | 99,04       | 0,24   |
| СК-13  | 2,96                    | 0,0046     | 0,0266     | 0,1554              | 0,8986     | 89,46       | 0,17   |
| СК-14  | 0,60                    | 0,0031     | 0,0029     | 0,517               | 0,483      | 99,00       | 1,07   |
| СК-15  | 1,38                    | 0,0029     | 0,0059     | 0,210               | 0,428      | 99,36       | 0,49   |
| СК-16  | 0,98                    | 0,0034     | 0,0035     | 0,366               | 0,376      | 99,26       | 0,97   |
| I      | 40,53                   | -          | -          | 0,01                | 0,025      | 99,97       | 0,40   |
| 1069   | 16,54                   | -          | -          | 0,03                | 0,106      | 99,86       | 0,28   |
| 1070   | 38,40                   | -          | -          | 0,0052              | не опр.    | -           | -      |

Характеристика образцов в таблице 4 и приложениях I, II, IV.

Элементный состав нерастворимого органического вещества (табл. 4) характеризуется высоким содержанием С, относительно невысоким содержанием Н и высоким коэффициентом С/Н. Выход летучих незначительный. Эти данные свидетельствуют о высокой степени преобразованности органического вещества исследуемых районов.

Изучение элементного состава хлороформенного битумоида А высокоуглеродистых пород свиты хирвиноволок (табл. 5) показало, что он имеет значительно восстановленный характер — сумма гетероэлементов не превышает 6,74%, в то время как сумма этих же элементов в сланцах серии кейв равна 12,75–21,95%. Более кислым составом отличается битумоид С<sup>сп.бенз.</sup>, где сумма гетероэлементов колеблется от 12,75 до 36,47.

Групповой состав битумоидов (хлороформенного и спирто-бензольного экстрактов) исследуемых пород приведены в таблицах 5 и 6. Углеродная часть органического вещества пород свиты хирвиноволок (см. табл. 5) достигает более 65%. В этих же породах отмечается пониженное содержание асфальтенов. В сланцах свиты кейв наблюдается значительные количества спирто-бензольных смол в битумоиде А (см. табл. 6).

К числу органических соединений, обнаруживаемых в первично-осадочных породах докембрия, относятся и аминокислоты, являющиеся основными структурными элементами белков живых организмов. В исследуемых породах обнаружено двенадцать связанных аминокислот (табл. 7), причем наибольшие содержания свойственны аминокислотам простого состава, которые отличаются значительной термической и химической устойчивостью — глицин, аланин, валин и др.

Можно отметить, что набор аминокислот и порядок уменьшения их концентраций в исследуемых породах (см. табл. 7), синезеленых водорослях и планктоногенном ОВ ордовика и кайнозоя / 36, 75 / довольно близок, т.е. аминокислоты исследованных пород, видимо, входили в состав белков живых организмов.

Различия в составе, концентрации как в нерастворимой части ОВ, так и в битуминоидной составляющей, а также в количествах и содержаниях аминокислот, по-видимому, отражают неоднородность органического вещества в различных фациально-структурных зонах седиментации, а также объясняются различными условиями седиментогенеза и степенью метаморфизма первичных пород.

Таблица 4

Элементный состав нерастворимого органического вещества

|         | C     | H    | S    | N+O   | C/H    | Выход<br>летучих |
|---------|-------|------|------|-------|--------|------------------|
| I       | 82,41 | 0,34 | 0,78 | 16,47 | 242,38 | 1,37             |
| СК-18   | 80,79 | 2,25 | -    | -     | 35,91  | -                |
| X-144/5 | 85,72 | 0,97 | -    | -     | 88,37  | -                |
| X-4/18  | 80,85 | 0,89 | -    | -     | 90,89  | -                |

Примечание. П-3/3 - высокоуглеродистая порода свиты соваярви, X-4 и X-5 - графитсодержащие гнейсы свиты хизовара, X-144/5 и X-4/18 - графитсодержащие сланцы свиты хизовара; СК-13-19 - углеродсодержащие киланитовые, ставролит-киланитовые сланцы серии кейв;

I, I069, I070 - высокоуглеродистые породы свиты хирвинаволоков / 69 /.

#### Количественный спектральный анализ

Выделенные монофракции углеродистого вещества свит хирвинаволоков и соваярви были проанализированы на 29 малых и редких элементов (табл. 8). Содержания ряда элементов (*Cd*, *Bi*, *Ag*, *Sb*, *Ge*, *Hf*, *Ta*, *Sn*) в углеродистом веществе данных свит оказались ниже пределов чувствительности приборов, а наибольшие концентрации свойственны *Ti*: в углеродистом веществе свиты хирвинаволоков 2000 - 8000 г/т, а в углеродистом веществе свиты соваярви 1500- 2200 г/т. Можно отметить повышенные, относительно содержания в углеродистом веществе свиты соваярви, содержания *Mn*, *V*, *Ni*, *Cu*, *Mo* в углеродистом веществе свиты хирвинаволоков (см. табл. 8). В углеродистой фракции свиты соваярви содержатся значительные количества *Zn* (130 - 300 г/т) хотя этот элемент и не относится к биофильным, и в обоих свитах отсутствует *Hf*, элемент тесно связанный с *Zn*. В углеродистом веществе обоих свит отсутствует *Ge*, что подтверждает сделанные ранее / 95, 96 / выводы, что *Ge*, в обогащенных ОВ породах, обычно связан с гумусовым типом ОВ.

Значительные содержания в углеродистых фракциях бора (В) и стронция (см. табл. 8), по-видимому, свидетельствуют о биофильности этих элементов.

Таблица 5

Характеристика битумоидных компонентов органического вещества

| № обр. | Хлороформный экстракт |       |       |      |                  |             |             |            |           | Спирто-бензольный экстракт |       |       |       | Бит. А |        |
|--------|-----------------------|-------|-------|------|------------------|-------------|-------------|------------|-----------|----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|
|        | Элементарный состав   |       |       |      | Групповой состав |             |             |            |           | Элементарный состав        |       |       |       |        | Бит. С |
|        | С                     | Н     | N+S+O | С/Н  | УВ               | смолы бенз. | смолы сп/б. | асфальтены | асф. к-ты | С                          | Н     | N+S+O | С/Н   |        |        |
| I      | 83,79                 | 12,90 | 3,31  | 6,49 | 65,44            | 4,90        | 25,24       | 2,70       | -         | 57,30                      | 6,23  | 36,47 | 9,20  | 0,40   |        |
| IO69   | 80,42                 | 12,84 | 6,74  | 6,28 | 46,80            | 3,80        | 39,70       | 4,70       | 5,0       | 64,99*                     | 8,12  | 0,51  | 26,38 | 8,00   |        |
|        |                       |       |       |      |                  |             |             |            |           | 75,82                      | 11,43 | -     | 12,75 | 6,63   |        |
| IO70   | 84,20                 | 12,58 | 3,22  | 6,69 | 63,60            | 7,10        | 24,70       | 1,40       | 3,2       | не определялись            |       |       |       |        |        |
| СК-18  | 75,50                 | 11,75 | 12,75 | 6,45 | -                | 7,80        | 48,7        | 4,3        |           | не определялись            |       |       |       |        |        |
| СК-19  | 67,00                 | 11,05 | 21,95 | 6,05 | не определялись  |             |             |            |           |                            |       |       |       |        |        |

\* Две фазы экстракта анализировались отдельно

Таблица 6

Характеристика битумоидных компонентов углеродсодержащих пород

| № обр. | Хлороформный битумоид А     |             |            |            | Спирто-бензольный битумоид С |             |            |            |
|--------|-----------------------------|-------------|------------|------------|------------------------------|-------------|------------|------------|
|        | масла                       | смолы бенз. | смолы сп/б | асфальтены | масла                        | смолы бенз. | смолы сп/б | асфальтены |
| П-3/3  | 8,16                        | 12,24       | 26,53      | 22,44      | 15,57                        | 10,65       | 18,03      | 24,59      |
| Х-5    | не делится малое количество |             |            |            | 23,17                        | 22,58       | 6,45       | 34,40      |
| СК-13  | 15,20                       | 11,69       | 41,52      | 11,69      | 3,73                         | 1,01        | -          | 83,90      |
| СК-14  | 29,46                       | 11,60       | 43,75      | 14,28      | 27,61                        | 6,66        | 26,66      | 27,61      |
| СК-15  | 47,54                       | 11,47       | 14,52      | 22,81      | 11,93                        | 24,52       | 28,50      | 26,89      |
| СК-16  | 22,72                       | 14,28       | 27,92      | 22,72      | 17,00                        | 29,22       | 19,10      | 28,40      |

Таблица 7

Содержание аминокислот в углеродсодержащих породах, мкг/г

| Аминокислоты             | П-3/3 | Х-4  | СК-15 | СК-17 |
|--------------------------|-------|------|-------|-------|
| Лизин                    | 0,60  | 0,58 | 0,70  | 0,57  |
| Аспарагиновая<br>кислота | 1,56  | 0,67 | 0,55  | 0,10  |
| Треонин                  | 0,70  | 0,30 | 1,05  | 0,55  |
| Серин                    | 1,35  | 0,67 | 1,31  | 1,26  |
| Глутаминовая<br>кислота  | 3,16  | 1,28 | 2,51  | 3,46  |
| Глицин                   | 2,13  | 1,06 | 1,99  | 1,45  |
| Аланин                   | 1,38  | 0,57 | 1,91  | 0,84  |
| Валин                    | 1,54  | 0,95 | 2,37  | 0,58  |
| Изолейцин                | 0,50  | 0,23 | 1,12  | -     |
| Лейцин                   | 0,80  | 0,40 | 1,92  | -     |
| Фенилаланин              | 0,54  | 0,35 | 0,92  | -     |
| Пролин                   | сл.   | сл.  | 1,52  | 0,56  |
| Сумма                    | 14,48 | 7,07 | 17,87 | 9,37  |

Примечание: Характеристика образцов в примечание к таблице 4 и приложениях I, II, IV.

Таблица 8

Содержание малых и редких элементов в монофракциях углеродистого вещества, г/т

| № обр.                | Mn  | Cr | V  | Ni  | Co | Cu  | Pb | Zn  | Zr  | Nb | Sc | Mo | Ba | Y  | Yb | Ga | W  | B   | Sr  | Ag |  |
|-----------------------|-----|----|----|-----|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|--|
| Свита хирвиноволок    |     |    |    |     |    |     |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |  |
| KV-3/3                | 200 | 50 | 90 | 40  | 20 | 18  | -  | 100 | 40  | 1  | 13 | 4  | 20 | 30 | 3  | 20 | -  | 280 | 100 | <1 |  |
| KV-9/82 <sup>II</sup> | 350 | 30 | 70 | 25  | 8  | 130 | 2  | 100 | 70  | 3  | 5  | 4  | -  | 50 | 3  | 10 | -  | 270 | 200 | <1 |  |
| KV-9/4                | 200 | 50 | 85 | 150 | 5  | 60  | 10 | 100 | 70  | 8  | 4  | 8  | 80 | 40 | 4  | 10 | -  | 170 | 100 | <1 |  |
| Свита соваярви        |     |    |    |     |    |     |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |    |  |
| П-10/13               | 30  | 30 | 20 | 1   | 1  | 9   | -  | 100 | 130 | 4  | 4  | 1  | -  | 10 | 1  | -  | 20 | 220 | 200 | -  |  |
| П-10/24               | 40  | 80 | 30 | 30  | 7  | 38  | -  | 100 | 300 | 7  | 10 | -  | 40 | 35 | 5  | 20 | 90 | 340 | 100 | <1 |  |

Примечание: KV-3/3 - черный амфибол-кварцевый сланец (C = 3,55%); KV-9/82<sup>II</sup> - углеродистый сланец (C = 11,20%); KV-9/4 - графитистая порода (C = 40,80%), П-10/13 - углеродистый сланец; П-10/24 - черный филлитовидный сланец (C = 1,55%).

Анализы выполнены в лаборатории спектрального анализа ИГиН АН УССР. Аналитик Н.П. Верхогляд.

### Глава III. Литолого-геохимическая и петрохимическая характеристика и условия формирования углеродсодержащих пород

Реконструкция условий осадконакопления и первичной природы докембрийских осадочно-метаморфических пород является одной из основных задач осадочной геологии докембрия. Решение этой задачи необходимо для знания истории геологического развития района исследования, для формационного анализа метаморфических комплексов и поисков месторождений ряда полезных ископаемых.

В качестве теоретической основы при разработке методики реконструкции условий формирования и первичной природы докембрийских отложений были приняты следующие положения:

1- большую часть Балтийского щита, как и других щитов мира, составляют осадочно-метаморфические комплексы /I02, I03, I04/;

2- сущность процессов выветривания, но ни его интенсивность, в докембрии была та же, что и в фанерозое /III, II2/. Профиль и продукты выветривания докембрийских и фанерозойских кор выветривания, в основном, сходны /48, I03 и др./;

3- уже в раннем докембрии отлагались все основные типы осадочных и вулканогенно-осадочных пород /92/;

4- процессы прогрессивного метаморфизма в интервале зеленосланцевая-амфиболитовая фация в отношении петрогенных и значительной части малых (Sc, Cr, Ti, V, Cu, Ga, Zr и др.) элементов являются изохимическими /20, 31, 51, 62, 78, 91 и др./, хотя некоторые исследователи /63 и др./ считают процессы прогрессивного метаморфизма аллохимическими;

5- количество перераспределенных элементов при прогрессивном метаморфизме незначительно по сравнению с масштабами перераспределения вещества в процессах седиментогенеза от стадии выветривания пород до диагенеза осадков в конечных бассейнах /55, III/, то есть седиментогенное распределение элементов в метаморфизованных осадочных породах должно "просвечивать" через метаморфические преобразования.

6- принципиальная неизменность земного вещества, выходящего на поверхность, гидросферы, атмосферы, живого и органического вещества за последние 3,0 - 3,5 млрд. лет /19, 22, 27, II6, I33, I41, I42 и др./.

## А. Литолого-геохимическая характеристика пород и условия их формирования

Анализ распределения малых элементов в исследованных породах дает возможность реконструировать условия их формирования в палеобассейнах седиментации, причем для глинистых и карбонатных пород, как известно, именно, геохимические данные являются наиболее достоверными для определения их генезиса.

### Методика геохимических реконструкций

Осадки, богатые органическим веществом, накапливаются лишь при повышенных поступлениях в бассейн седиментации элементов минерального питания. Это, в свою очередь, определяется: составом пород областей питания, климатом и тектоническим режимом, а также типом бассейна, его глубиной и соленостью. Но эти же параметры определяют и геохимические особенности осадочных бассейнов.

а) Как было показано Н.М.Страховым /III, I13/ перенос осадочного вещества в основном (78-84%) происходит в составе твердых фаз, т.е. химический состав осадка, главным образом зависит от состава пород областей сноса /I30, I31/. При этом, исходя из факта, что в нижнем докембрии преобладали основные и кислые магматические породы, резко отличающиеся по ряду элементов (Fe, Sr, V, Co, Sc и др.), можно с известной долей вероятности, по их содержаниям в исследуемых породах определить состав пород областей питания.

Надо также отметить, что элементы минерального питания (P, Mn, V и др.) в большем количестве поступают в бассейны при полном выветривании 1 т базальтов (54 кг), чем 1 т гранитов (10 кг) /43/, т.е. повышенные концентрации  $C_{орг}$  должны быть характерны бассейнам, области сноса которых были представлены породами основного состава.

б) Вынос элементов из выветриваемых пород в значительной мере зависит от климатических условий в области сноса. Так, эффективность выветривания в условиях тропического климата в 20-40 раз выше, чем в умеренных гумидных климатах /II2 и др./.

Однако, в районах активного тектонического режима химическое выветривание пород даже в условиях тропического климата выражено слабо, т.е. коры глубокого химического выветривания свойственны равнинным, тектонически спокойным областям.



Таким образом, для реконструкции палеоклиматических и палеотектонических условий седиментации нами используются содержания в породах  $Al, Ti, Ga, Zr, Hf$  и др. элементов, а также характер их зависимости ( $Ti, V, Ga$  от  $Al$ ) /10, 89 и др./. На палеоклимат эпохи седиментации может указывать и поведение на профиле песчаные-карбонатные породы /87 и др./.

в) Для определения типа палеобассейна (морской, континентальный) и его солёности нами используются как концентрации индикаторных элементов ( $B, Ga, Rb$ ), так и их отношения  $Sz/Ba, B/Li, B/Ga, K_2O/B$  пересчитанный /45, 44, 118, 119/.

Кроме того, для определения солёности вод палеобассейнов нами использовалась формула  $S = (B/27,9)^{2,32} /137/$ , где  $S$  - солёность вод палеобассейна седиментации, ‰;  $B$  - содержание бора в осадках  $n \cdot 10^{-4}\%$ . При этом  $S = 1-5$  пресные воды,  $6-10$  - солончатые,  $S > 10$  - нормально солёные воды.

При этом следует отметить, что при диагенезе может изменяться (количественно и качественно) комплекс элементов связанный с глинами, используемый для реконструкции палеосолёности, а также возможен привнос квинильного бора при вулканизме, то есть требуется определенная осторожность в интерпритации полученных результатов. Однако, в последнее время была доказана надёжность определения солёности бассейнов по породам прошедшим стадию диагенеза и начального катагенеза /16, 118, 119/. Кроме того рядом исследователей /2, 6, 138, 140 и др./ была показана возможность использования геохимического метода для определения палеосолёности осадочно-метаморфических отложений докембрия.

г) Соотношение между  $C_{орг}$  и рядом элементов ( $V, Co, Ni, Ge, Ga$  и др.) может являться геохимическим индикатором природы углеродистого вещества.

Приводимая ниже реконструкция условий формирования изученных комплексов дается в указанной последовательности (пункты а-г).

## 1. Породы свиты хизовара

а) Элементы-индикаторы области сноса

Хром является одним из характерных элементов свиты (табл. 9). Так, в ставролит-кианит-фукситовых сланцах (более 500 г/т  $Cz$ ) повышенные концентрации окиси  $Cz$  отмечаются во всех минералах: кианите (0,76%), ставролите (0,77-1,28%),

фуксите (0,76–1,20%) /24/. Повышенные содержания  $\text{Sr}$  наблюдаются в амфибол-биотит-кианитовых (до 300–315 г/т), гранат-биотит-кианитовых гнейсах (до 340 г/т) (см. табл. 9), в которых значительную часть  $\text{Sr}$  содержат кристаллы кианита (до 0,20%  $\text{Sr}_2\text{O}_3$ ), причем кристаллы кианита могут содержать до 1,80%  $\text{Sr}_2\text{O}_3$  /7/. Кроме того, концентратором  $\text{Sr}$  могут быть амфибол и биотит. Повышенные количества  $\text{Sr}$  относительно его содержания в осадочных породах /21, 143/ отмечаются и в других породах свиты (см. табл. 9). В части пород наблюдается коррелятивная зависимость  $\text{Sr}$  от  $\text{Al}$ , причем обогащены  $\text{Sr}$  породы, содержащие наряду с повышенными количествами  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и значительные количества  $\text{Fe}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$  т.е. первичным осадком пород, видимо, являлась смесь различных глин (гидрослюдистых, монтмориллонитовых). Об этом, видимо, говорят небольшие количества  $\text{Sr}$  в кианите (табл. 10) из кианитового сланца, который, скорее всего, является производным осадков каолинитового состава.

Ванадий ещё в большей степени, чем  $\text{Sr}$ , связан с глинистыми минералами (рис. 28), так как он легко сорбируется или может замещать в их решетках  $\text{Al}$ , причем  $\text{V}$ , видимо, больше связан с глинистыми минералами группы каолинита (см. табл. 10). Таким образом, повышенные содержания  $\text{V}$  в породах свиты (см. табл. 9) могут быть объяснены: значительным количеством  $\text{V}$  в палеобассейне седиментации, повышенной глиноземистостью осадка и присутствием в осадке органического вещества, с которым  $\text{V}$  обычно связан.

Скандий является одним из наименее подвижных элементов в зоне гипергенеза, причем характерной чертой его является связь с  $\text{Fe}^{3+}$  и железосодержащими глинистыми минералами (ферригаллуазит – 28 г/т  $\text{Sc}$ , железистый монтмориллонит – 22,8 г/т  $\text{Sc}$  /9/. В метаморфических породах амфиболитовой фазы метаморфизма наибольшие концентрации  $\text{Sc}$  отмечаются в гранате, амфиболе (54, г/т) и биотите (19 г/т) /53/, что, видимо, объясняет высокие концентрации  $\text{Sc}$  в параамфиболитах и ставролит-гранатовых сланцах (см. табл. 9).

Титан также содержится в повышенных количествах (см. табл. 9), причем в значительной степени отмечается зависимость  $\text{Ti}$  от количества  $\text{Al}$  (см. рис. 28).

Никель, кобальт, медь, цинк являются геохимически более подвижными элементами, и поэтому максимальные концентрации их наблюдаются в тонких илах (82 г/т  $\text{Co}$  в кианитовых сланцах свиты).

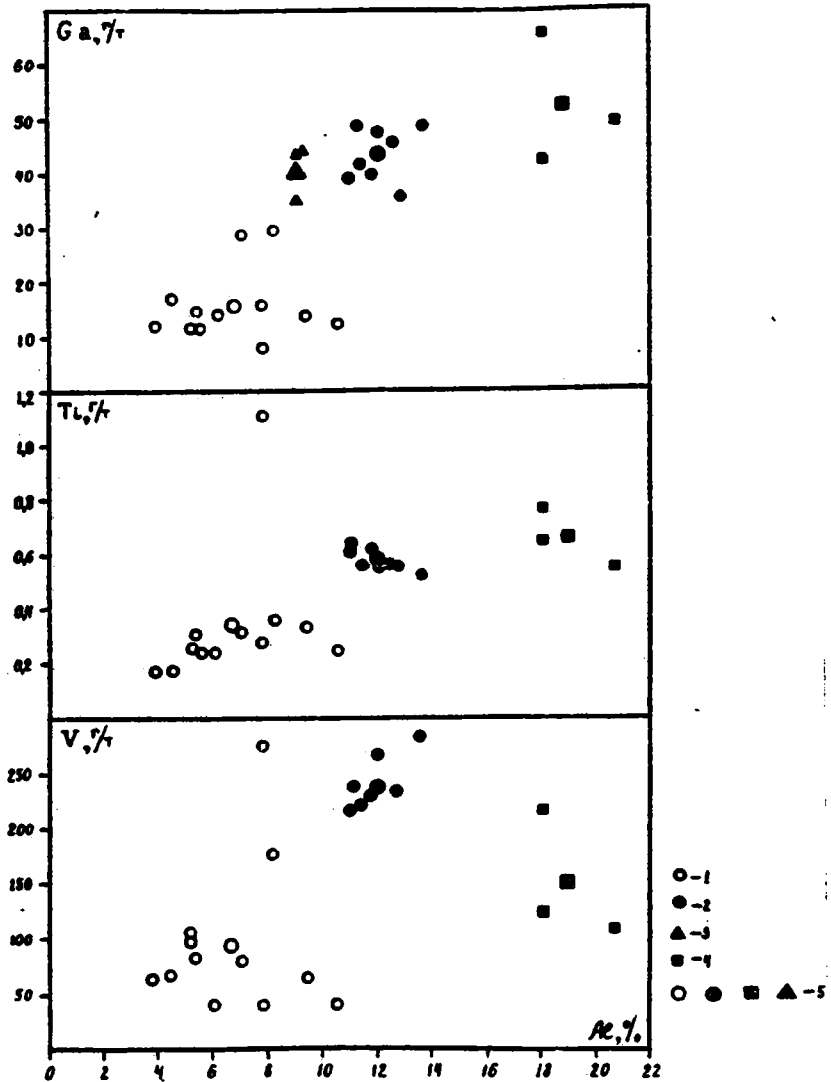


Рис.28. Характер зависимости V, Ti, Ga от содержания  $Al_2O_3$  в породах свиты Хизовара.

1 - кyanит-кварцевые сланцы, 2- гранат-биотит-кyanитовые гнейсы, 3 - ставролит-гранатовые сланцы, 4 - кyanитовые сланцы, 5 - средние содержания.

Таблица 9

Средние содержания и интервалы колебаний микроэлементов в породах свиты хизовара (г/т)

| Порода                              | Cr             | V              | Sc            | Ti                | Ni            | Co            | Cu            | Zn             | Mn               |
|-------------------------------------|----------------|----------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| Кианит-кварцевые сланцы (14)        | <u>40-235</u>  | <u>36-275</u>  | -             | <u>1800-1850</u>  | <u>38-122</u> | <u>13-115</u> | <u>20-282</u> | <u>100</u>     | <u>0-150</u>     |
|                                     | 85,4           | 113,8          |               | 4371              | 64,6          | 54,5          | 93,3          | 100 (2)        | 39               |
| Мусковитовые сланцы (4)             | <u>47-96</u>   | <u>67-105</u>  | -             | <u>2500-3100</u>  | <u>13-19</u>  | <u>3-4</u>    | <u>16-26</u>  | -              | <u>80-150</u>    |
|                                     | 63,5           | 80,5           |               | 2800              | 16            | 3             | 21,8          |                | 130              |
| Ставролит-гранатовые сланцы (3)     | <u>20-62</u>   | <u>42-78</u>   | <u>52-57</u>  | <u>2000-2500</u>  | <u>20-55</u>  | <u>6-23</u>   | <u>17-22</u>  | <u>200-560</u> | <u>900-1200</u>  |
|                                     | 34             | 56             | 54            | 2330              | 32            | 13            | 20            | 315 (4)        | 1100             |
| Кианитовые сланцы (3)               | <u>53-115</u>  | <u>108-220</u> | -             | <u>5600-7700</u>  | <u>39-53</u>  | <u>27-82</u>  | <u>5-55</u>   | -              | <u>0-80</u>      |
|                                     | 81             | 151            |               | 6567              | 46            | 51            | 27            |                | 53               |
| Гранат-биотит-кианитовые гнейсы (8) | <u>190-340</u> | <u>222-285</u> | <u>2-88</u>   | <u>5300-6400</u>  | <u>3-104</u>  | <u>3-48</u>   | <u>16-71</u>  | <u>95-250</u>  | <u>300-1400</u>  |
|                                     | 270,4          | 241,4          | 24(5)         | 5800              | 51,5          | 21,1          | 36,9          | 180,4(5)       | 637,5            |
| Параамфиболиты (6)                  | <u>80-280</u>  | <u>210-400</u> | <u>17-100</u> | <u>5000-13800</u> | <u>43-150</u> | <u>43-110</u> | <u>26-160</u> | <u>90-140</u>  | <u>1100-2400</u> |
|                                     | 191            | 290            | 52            | 7800              | 99            | 69            | 95            | 130(3)         | 1530             |
| Глины и сланцы                      | 100            | 130            | 10            | 4500              | 95            | 20            | 57            | 80             | 670              |
| Песчаники                           | 35             | 20             | 1             | 1500              | 2             | 0,3           | -             | 16             | -                |

| Ge                      | Ga                   | Mo                     | Pb                   | Zn                      | U                         | B                      | Li                     | Rb                    | Ba                       | Sr                        |
|-------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| <u>2,3-10,0</u><br>5,28 | <u>8-44</u><br>18,5  | <u>1,0-2,8</u><br>2,0  | <u>3-45</u><br>14    | -                       | <u>0,3-1,2</u><br>0,73(4) | -                      | -                      | -                     | -                        | -                         |
| <u>1,0</u><br>1,0       | <u>30-44</u><br>36   | <u>1,3-2,0</u><br>1,6  | <u>10-17</u><br>14   | <u>78-176</u><br>119    | -                         | -                      | -                      | -                     | -                        | -                         |
| <u>6,5-12,5</u><br>10,0 | <u>35-45</u><br>41,3 | <u>1,0-1,5</u><br>1,2  | <u>4-15</u><br>9,3   | <u>80-81</u><br>80,5(2) | <u>0,50</u><br>0,50(2)    | <u>5-150</u><br>57     | <u>15-49</u><br>30     | <u>0-50</u><br>17     | <u>100-290</u><br>163    | <u>30-50</u><br>37        |
| <u>9,3-18,0</u><br>12,7 | <u>42-65</u><br>52   | <u>0,5-1,4</u><br>1,03 | <u>8-27</u><br>16    | <u>92-110</u><br>101(2) | <u>0,7-1,6</u><br>1,0     | -                      | -                      | -                     | -                        | -                         |
| <u>1,2-3,0</u><br>1,88  | <u>36-49</u><br>43,6 | <u>0,7-2,7</u><br>1,65 | <u>14-34</u><br>21,4 | <u>59-167</u><br>109(7) | <u>1,5-1,8</u><br>1,7(6)  | <u>5-180</u><br>48(5)  | <u>5-42</u><br>29(5)   | <u>0-110</u><br>34(5) | <u>80-1200</u><br>446(5) | <u>100-700</u><br>326(5)  |
| <u>1,0-4,0</u><br>2,33  | <u>14-45</u><br>29   | <u>0,2-6,0</u><br>1,9  | <u>7-20</u><br>12    | <u>30-90</u><br>73(4)   | 1,4                       | <u>5-130</u><br>38(15) | <u>10-52</u><br>24(15) | <u>5-70</u><br>16(15) | <u>30-530</u><br>166(15) | <u>100-460</u><br>251(15) |
| 2                       | 30                   | 2                      | 20                   | 200                     | 3,2                       | 100                    | 60                     | 200                   | 800                      | 450                       |
| 0,8                     | 12                   | 0,2                    | 7                    | 220                     | 0,45                      | 35                     | 15                     | 60                    | -                        | 20                        |

Примечание. В скобках - количество проанализированных образцов. Содержания микроэлементов в осадочных породах даны по А.П.Виноградову /21/ и К.К.Tuzekian, К.Н.Wedepohl /143/.

Кроме того, эти элементы тесно связаны с гидроокислами Fe и Mn /60/. В метаморфических породах эти элементы входят в состав сульфидов (140 г/т Ni в ширите, см. табл. 10), ставролитов, гранатов.

Отношение  $Co/Ni$  в ширите кианит-кварцевых сланцев (см. табл. 10) не превышает 1, что считается характерным для сульфидов осадочно-сингенетического происхождения. В осадочных породах эти элементы часто бывает связаны с органическим веществом.

Цинк. Количество Zn в исследованных породах (см. табл. 9) выше, чем в глинах и сланцах фанерозоя. Значительные содержания в ставролит-гранатовых сланцах (до 360 г/т Zn), можно объяснить минеральным составом, так как ставролит и в меньшей степени гранат являются концентраторами этого элемента /125/.

Марганец в исследуемых породах приурочен к ставролит-гранатовым разностям, где он, видимо, входит в состав решеток граната, и ставролита, изоморфно заменяя в них  $Fe^{2+}$ , причем концентрация Mn ставролитах может достигать 11,61% /125/. Такие содержания Mn в метаморфических породах объясняются тем, что Mn в осадочных породах наиболее тесно связан с Fe и приурочен обычно к карбонат-глинистым осадкам. Эта направленность отмечается и в исследованных породах (см. табл. 9).

В исследованных породах также отмечается направленное увеличение количества Mn от существенно кварцевых (кианит-кварцевых сланцев 39 г/т Mn) к глинистым (кианитовые сланцы 53 г/т) и к карбонатно-глинистым породам (параамфиболиты 1530 г/т).

Одним из самых характерных элементов свиты является германий, /95,96/. Повышенные концентрации Ge обычно приурочены к углям, угольным включениям в глинах, а также железным рудам /41 и др./.. Это объясняется тем, что органическое вещество и гидроокислы являются сорбентами Ge.

Особенностью исследуемых пород является обогащенность Ge только пород, состоящих из кварца, ставролита и кианита (кианит-кварцевые, кианитовые, ставролитовые сланцы) (см. табл. 9, 10), причем отмечается зависимость концентраций Ge от содержания  $Al_2O_3$ . Такие породы являются производными каолиновых кор выветривания, которые формировались на равнинном континенте в условиях влажного, жаркого палеоклимата.

В других породах свиты: гнейсах, сланцах, параамфиболитах концентрация Ge колеблется в обычных пределах (см. табл. 9), не отмечается зависимости количества Ge от  $C_{орг}$ .

Повышенные содержания Се в ряде сланцев свиты могут косвенно свидетельствовать о присутствии галлуазитовой фракции в корях выветривания, поставивших материал в палеобассейн. Так как, именно, галлуазит в корях выветривания фанерозоя, иногда содержит повышенные количества Се (до 10 г/т), в то время как каолиновая фракция не содержит его совсем /14/.

Таким образом, повышенные содержания ряда элементов (Сг, V, Ti, Sc, Co и др.) и в то же время пониженные, относительно глины и песчаников фанерозоя /21,143/ количества Zr, U, Pb в тех же породах, видимо, могут свидетельствовать о породах области сноса как породах основного состава. Возможно, что породами области сноса служили гнейсы и амфиболиты беломорской серии АВ, о чем говорят не только геологическое положение свиты хизовара, но и содержания ряда элементов в гнейсах беломорской серии (табл. II).

Кроме того, в исходных породах не исключается примесь вулканогенного материала основного состава.

#### б) Элементы-индикаторы палеоклиматических условий

Титан и галлий являются элементами, тесно связанными в поверхностных условиях с Al. Повышенные концентрации этих элементов обычно приурочены к высокоглиноземистым породам, отлагавшимся в непосредственной близости от кор глубокого химического выветривания гумидного климата /10,89/.

Высокие содержания Al, Ga и Ti в породах свиты (см. табл. 9), коррелятивная связь Ti и Ga с Al (см. рис. 28) указывают, таким образом, на гумидность палеоклимата эпохи седиментации, спокойный тектонический режим и длительность процессов химического выветривания.

На гумидные условия и коры глубокого химического выветривания может указывать и значительное содержание в глинистых сланцах, гнейсах V (см. табл. 9, 10) и его коррелятивная зависимость от Al (см. рис. 28).

Кроме того, на гумидные условия седиментации указывают и распределения F в исследуемых породах (табл. 12).

#### в) Определения типа палеобассейна и солености

Бор является одним из основных критериев морских или пресноводных осадков, так глины морского происхождения содержат 100–200 г/т В, а пресноводные 10–50 г/т В /37 и др./ . Содержания бора в исследуемых породах (см. табл. 9) лежат довольно близко

Таблица 10

Содержание микроэлементов в минералах квантит-кварцевых и квантитовых сланцев, г/т

| Минерал     | Cr                   | Ni                   | V                    | Cu              | Co                   | Pb                 | Ga                   | Ge                        | Mo                     |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|
| Пирит (1)   | 10                   | 140                  | 15                   | 20              | 10                   | 10                 | 10                   | 1,5                       | 1,5                    |
| Кварц (2)   | <u>10-17</u><br>13,5 | <u>10-20</u><br>15   | <u>24-49</u><br>36,5 | <u>20</u><br>20 | <u>10</u><br>10      | <u>10-12</u><br>11 | <u>10-11</u><br>10,5 | <u>2,5-3,4</u><br>2,95    | <u>1,5</u><br>1,5      |
| Квантит (7) | <u>67-97</u><br>78,7 | <u>10-20</u><br>13,6 | <u>83-175</u><br>130 | <u>20</u><br>20 | <u>10-21</u><br>11,6 | <u>10-40</u><br>20 | <u>39-62</u><br>51,1 | <u>17,5-35,5</u><br>24,87 | <u>1,7-3,2</u><br>2,24 |

Примечание: в числителе - пределы колебаний; в знаменателе - среднее.

В скобках - количество проанализированных образцов

Таблица 11

Средние содержания элементов в гнейсах беломорской серии

| Порода                               | Cr  | V   | Ni | Co | Tl   | Zn     | Cu | Pb | Mo  | Ga |
|--------------------------------------|-----|-----|----|----|------|--------|----|----|-----|----|
| Гранат-биотитовые гнейсы (10)        | 326 | 142 | 62 | 18 | 4500 | 100(3) | 32 | 8  | 1,7 | 21 |
| Квантит-гранат-биотитовые гнейсы (5) | 298 | 144 | 98 | 25 | 4920 | 172(1) | 43 | 9  | 1,2 | 25 |



к содержаниям бора в континентальных аллювиально-озерных, аллювиальных обстановках седиментации глинистых пород /16/.

Галлий. Повышенные содержания этого элемента характерны для пресноводных континентальных глин /45 и др/, т.е. можно предположить, что метаморфические породы свиты являются производными каких-то континентальных, пресноводных палеобассейнов.

Содержания стронция и бария в исследуемых породах, в значительной степени объясняются составом осадка. Так, в глинистых породах содержания Sr растет в ряду каолинит-гидрослюда-монтмориллонит, а максимальные концентрации Ba приурочены к гидрослюдистым глинам /47/.

Но для палеогеографических реконструкций важным является значение отношения Sr/Ba, позволяющее отличать морские отложения, образовавшиеся в морях нормальной солености ( $Sr/Ba > 1$ ), от пресноводных ( $Sr/Ba < 1$ ) /44/. В исследуемых породах: параамфиболиты  $Sr/Ba=1,51$ , ставролит-гранатовые сланцы (0,23), гнейсы - 0,73.

Фтор. Среднее содержание F исследуемых пород ( $3,63 \cdot 10^{-2}\%$ ) отвечает значениям F в сланцах и гнейсах Балтийского щита ( $3,8 \cdot 10^{-2}\%$ ) и породах протерозоя Белоруссии ( $3,4 \cdot 10^{-2}\%$ ) /85/. Среднее содержание F кванцитов сланцев и биотит-кванитовых гнейсов (см.табл.12) равно  $3,8 \cdot 10^{-2}\%$  и лежит ближе всего к концентрации F в континентальных глинах гумидных областей  $6,0 \cdot 10^{-2}\%$  (см.табл.12). В то время как количество F в кванит-кварцевых сланцах отвечает содержанию F гумидных песчаников (см.табл.12).

Таблица 12

Содержание фтора в породах свиты

|                                 | F. $10^{-2}\%$ |
|---------------------------------|----------------|
| Кванит-кварцевый сланец         | 3              |
| Кванитовый сланец               | 4; 7           |
| Биотит-амфибол-кванитовый гнейс | 4; 0,15        |
| Среднее                         | 3,63           |
| Глины гумидные /85/             | 6,0-7,5        |
| Пески гумидные /85/             | 3,4-4,4        |
| Глины арктические /85/          | 8,8-12,8       |

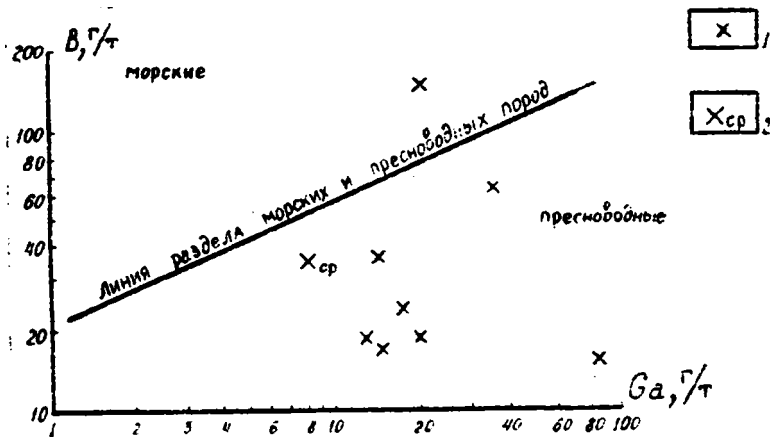


Рис.29. Фигуративные точки параамфиболитов свиты хизовара на диаграмме В-Ga.  
 1 - параамфиболиты, 2 - среднее содержание (15 анализов).

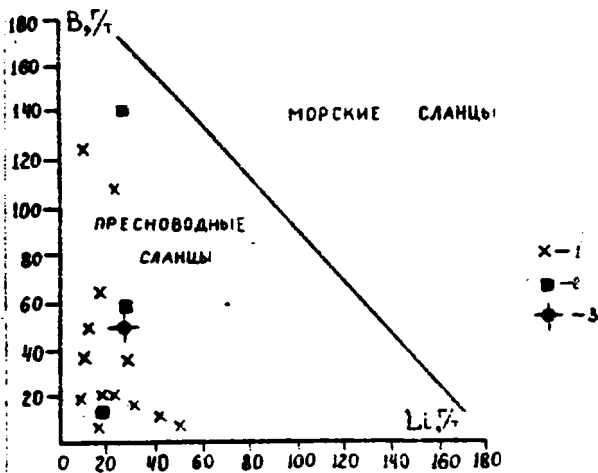


Рис.30. Фигуративные точки пород свиты хизовара на диаграмме В-Li.  
 1 - параамфиболиты, 2 - ставролит-гранатовые сланцы,  
 3 - среднее содержание в гнейсах (5 анализов).

Литий и рубидий — элементы, тесно связанные с глинистыми минералами (*Li* с каолинитом, *Rb* с гидрослюдай), т.е. повышенные содержания *Li* в гумидных условиях приурочены к континентальным отложениям /90/, а *Rb* к морским.

На диаграммах *B-Ga*, *B-Li* (рис. 29,30) фигуративные точки ряда исследуемых пород (параамфиболиты, ставролит-гранатовые сланцы, гнейсы) ложатся в поле пресноводных отложений.

Определения солености вод палеобассейна по формуле  $S = (B/27,9)^{2,32} / 137/$  дали значения 1,94–5,22%, свидетельствующие о его пресноводности.

г) В породах свиты присутствует  $S_{орг}$  (0,08–3,23%) и отмечается коррелятивная зависимость ряда элементов (*V*, *Ni*, *Co*) от его количества (рис.31).

Сера. Содержания *S* в глинах и глинистых сланцах фанерозоя колеблются в пределах (0,24–0,50%), причем большая часть *S* заключена в рассеянном пирите /77/. В исследуемых породах свиты, главными концентрациями *S* является пирит и пирротин. Повышенные концентрации *S* в отложениях свиты хизовара (0,96–3,14%) (табл.13), видимо, свидетельствуют об обогащенности первичных осадков этим элементом и сероводородном заражении дна палеобассейна.

Таблица 13

Содержания серы в породах свиты хизовара

| Порода                           | $S_{пир.}, \%$               | $S_{вал.}, \%$               |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Кианитовые сланцы                | 2,40 (1)                     | <u>1,32–3,14</u> (4)<br>2,08 |
| Кианит-кварцевые сланцы          | <u>1,72–1,85</u> (2)<br>1,78 | <u>0,24–1,86</u> (3)<br>0,85 |
| Ставролитовые сланцы             | -                            | 1,38 (1)                     |
| Биотит-амфибол-кианитовые гнейсы | -                            | <u>0,32–0,96</u> (3)<br>0,56 |
| Параамфиболиты                   | -                            | <u>0,10–0,49</u> (2)<br>0,30 |

Примечание. В скобках — количество проанализированных образцов.

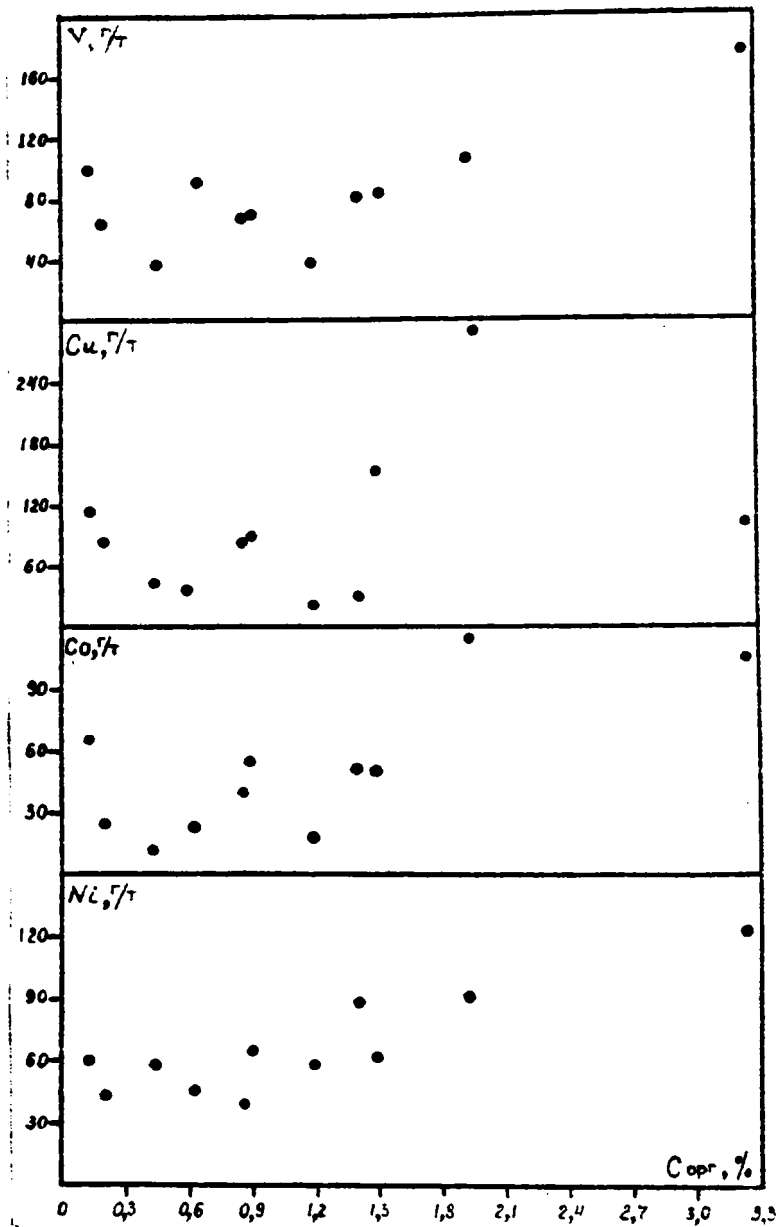


Рис.31. Характер зависимости  $Ni$ ,  $Co$ ,  $Cu$ ,  $V$  от содержания углеродистого вещества ( $C_{орг}$ ) в кианит-кварцевых сланцах.



содержащих в заметных количествах гранат и ставролит. В других районах содержание  $Mn$  в кристаллах ставролитов достигает 7% и более /125/.

Марганец в повышенных количествах наблюдается только в сланцах пачки А (см.табл.14), что, видимо, объясняется присутствием в этих породах граната, который является главным концентратом  $Mn$  (до 2,34%  $MnO$ ) /5/. В сланцах, обогащенных гранатом (гранатит) количество  $Mn$  достигает 0,5% /106/.

Можно отметить, что концентратом  $Mn$  является и ставролит, чем, видимо, и объясняются относительно повышенные содержания  $Mn$  в ставролитосодержащих разностях сланцев пачек Е и Г.

Никель, медь. Содержания этих элементов во всех породах серий кейв одинаковые (см.табл.14) и ниже содержаний этих элементов в осадочных породах.

Кобальт содержится в несколько повышенных количествах (см. табл.14) обычно в ставролитовых разностях сланцев. Это объясняется тем, что  $Co$  легко сорбируется гидроокислами  $Fe$ , а  $Fe$  затем входит в состав ставролитов (см.табл.16) и сульфидов (в пирротинах серии концентрация  $Co$  достигает 0,3%) /123/.

Цирконий является характерным элементом серии кейв (см. табл.14), причем содержания  $Zr$  в ставролит-гранатовых сланцах пачки А может достигать и больших значений (до 4442 г/т и среднем содержании 2635 г/т) /31/.

Можно предположить, что в период осадкообразования пород серии кейв выветривались какие-то "обогащенные"  $Zr$  породы, в которых значительная часть его находилась в виде изоморфной примеси в пироксенах, слюдах, полевых шпатах. При разрушении этих минералов  $Zr$  мигрировал в водных растворах и захватывался глинистыми минералами. Так, концентрация  $Zr$  может достигать в каолините 0,31%, галлуазите 1,90-2,70% /122/. Часть циркония выветриваемых пород была приурочена к акцессорным минералам (цирконам, сфенам), которые накапливались в осадках, причем в сланцах пачки А основным концентратом  $Zr$  является циркон, имеющий признаки осадочного происхождения /6/. Кроме того, часть  $Zr$ , видимо, связана с гранатом также являющимся концентратом  $Zr$  (до 730 г/т) /122/.

Гафний тесно связан с  $Zr$  и накапливается, главным образом, в цирконах (до 4,50%  $HfO_2$ ) /122/. Этим и объясняется содержание этого элемента в сланцах серии кейв (см.табл.14).

Таблица 14

Средние содержания и интервалы колебаний микроэлементов в породах серии кейв (г/т)

| Пачка | Порода                                  | Cr           | V              | Sc                | Ti                | Ni           | Co           | Cu           | Zn            |
|-------|---|--------------|----------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| А     | Гранат-мусковитовые сланцы (5)          | 18           | 20             | <u>5-65</u><br>25 | 2600(13)          | 20           | 13           | 22           | 383(3)        |
|       | Ставролит-гранатовые сланцы (18)        | 28(16)       | 36             | не опр.           | 8000(15)          | 14           | 13           | 21           | 180(6)        |
| Б     | Клианитовые сланцы (16)                 | <u>14-82</u> | <u>150-445</u> | <u>16-22</u>      | <u>4800-12200</u> | <u>10-20</u> | <u>10-16</u> | <u>20-30</u> | <u>17-716</u> |
|       |   | 36,4         | 141,6          | 19(2)             | 7388              | 12           | 10,6         | 21           | 129           |
| В     | Мусковитовые кварциты (19)              | 32           | 23             | 0,5(1)            | 540(14)           | 20           | 13(14)       | 17           | 31            |
| Г     | Клианит-ставролитовые плагиосланцы (72) | 70           | 285            | 13(1)             | 8200(37)          | 29           | 40           | 30           | 108(69)       |
|       | Мусковит-кварцевые сланцы (4)           | 58           | 67             | не опр.           | 3177(3)           | 17           | 13           | 24           | 80            |
|       | Глины и сланцы                          | 100          | 130            | 10                | 4500              | 95           | 20           | 57           | 80            |
|       | Песчаники                               | 35           | 20             | 1                 | 1500              | 2            | 0,3          | -            | 16            |
|       | Основные породы                         | 200          | 200            | 24                | 9000              | 160          | 45           | 100          | 130           |
|       | Кислые породы                           | 25           | 40             | 3                 | 2300              | 8            | 5            | 20           | 60            |

Продолжение таблицы 14

| <i>Mn</i>          | <i>Zr</i>                  | <i>Hf</i>             | <i>Ga</i>                 | <i>B</i> | <i>Li</i> | <i>Rb</i>               | <i>Ba</i>                | <i>Sr</i>               |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|----------|-----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 387(6)             | I073(2)                    | не опр.               | 34(3)                     | 6(3)     | 86(7)     | 83(7)                   | I9(5)                    | I2(5)                   |
| I626 (I4)          | <u>8I0-I400</u><br>II00(2) | 60(2)                 | 52(9)                     | 5(7)     | 79(I2)    | I5(I2)                  | II(II)                   | 7(II)                   |
| <u>0-300</u><br>38 | <u>550-8I0</u><br>764(3)   | <u>I9-28</u><br>23(3) | <u>35-I25</u><br>63,4(I6) | 4(I0)    | I2(II)    | <u>I8-377</u><br>72(I6) | <u>500-840</u><br>600(6) | <u>59-I70</u><br>I40(6) |
| 77(23)             | <u>30-59</u><br>44,5(2)    | I0(I)                 | 4(3)                      | 5(I7)    | 3(I9)     | 25(I9)                  | I7(9)                    | 7(9)                    |
| I55(7E)            | 266(5)                     | 36(I)                 | 67(5)                     | 5(69)    | 27(69)    | 67(69)                  | 5I(59)                   | I9(58)                  |
| 77                 | не опр.                    | не опр.               | не опр.                   | 4(4)     | 28(4)     | 26(4)                   | 23(4)                    | I0(4)                   |
| 670                | 200                        | 6                     | 30                        | I00      | 60        | 200                     | 800                      | 450                     |
| -                  | 220                        | 3,9                   | I2                        | 35       | I5        | 60                      | -                        | 20                      |
| 2000               | I00                        | I                     | I8                        | 5        | I5        | 45                      | 300                      | 440                     |
| 600                | 200                        | I                     | 20                        | I5       | 40        | 200                     | 830                      | 300                     |

Примечание. Таблица составлена по данным автора с привлечением данных И.В.Белькова и др. /6/ и А.П.Белолипецкого и др. /28/, А.В.Сидоренко и др. /I06/. В скобках - количество анализов. Содержание микроэлементов в осадочных и магматических породах даны по А.П.Виноградову /2I2/ и К.К.Тухекян, К.Н.Ведерхел/143/.



Свинец в исследованных породах содержится в повышенных количествах (табл. I5) относительно глин и сланцев фанерозоя, причем в квантитовых сланцах пачки Б наблюдается корреляционная зависимость  $Pb$  от  $K_2O$  (рис. 32). Подобная зависимость отмечается и в осадочных породах /60/. Спектральные анализы ряда минералов свиты (см. табл. I6) показали, что наибольшие количества

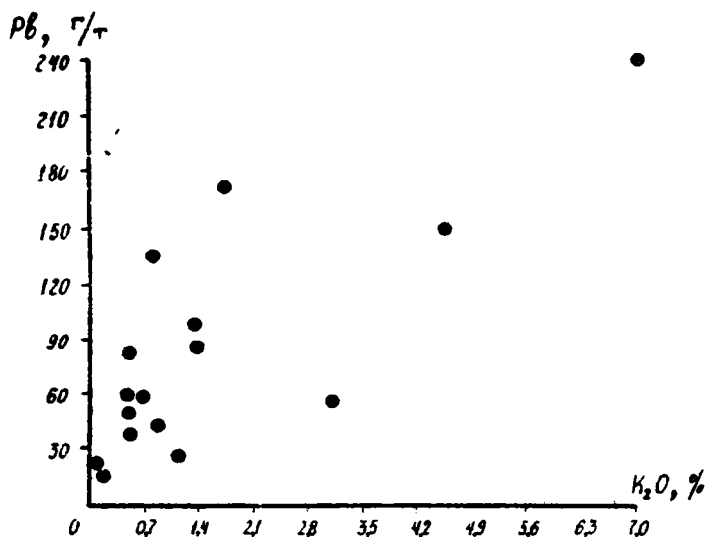


Рис. 32. Характер зависимости  $Pb$  от  $K_2O$  в сланцах пачки Б.  $Pb$  приурочены к зернам кварца (до 95 г/т), а содержания  $Pb$  в квантите сериы кейв и свиты хизвара почти одинаковые (см. табл. I0, I6). Но главным концентратором  $Pb$  в квантитовых сланцах, видимо, является пирротин, в котором содержания  $Pb$  достигает 3000 г/т /I23/.

Молибден также в значительной мере накапливается в пирротинах свиты (3–300 г/т) /I23/, причем  $Mo$  является элементом, характерным для пирротинов осадочного происхождения. Повышенные концентрации  $Mo$  в кварце и особенно гранате (см. табл. I6), по-видимому, объясняются присутствием в этих минералах каких-либо молибденсодержащих включений (сульфидов?).

Германий в высокоглиноземистых сланцах содержится в несколько повышенных количествах (см. табл. I5) относительно глин и сланцев /2I/, и в общем отвечает средним содержаниям  $Ge$  в бок-

ситах фанерозоя – 2,0–3,0 г/т (среднее 2,2 г/т Ge) /II5/. Значительные содержания Ge в ставролитах (см.табл.I6), видимо, говорят о том, что в осадке Ge больше сорбировался железистыми, чем глинистыми минералами. Содержание Ge в породах и минералах серии кейв заметно, меньше, чем в аналогичных отложениях свиты хизовара (см.табл.9,I0), что, по-видимому, свидетельствует о различных концентрациях его в породах областей сноса.

Таким образом, пониженные содержания ряда элементов (Cr, Ni, Co, Cu, Mn, последний кроме сланцев пачки А) с одной стороны, и повышенные содержания (Pb, U, Sc, Ti, р.з.э., Zr, Li) с другой стороны (см.табл.I4–I6) могут указывать на то, что материнскими породами области питания были наряду с гранитоидными породами, также и породы более основного состава.

#### б) Элементы-индикаторы палеоклиматических условий

Ванадий, титан, галлий. Наибольшие концентраторы этих элементов приурочены к наиболее глиноземистым породам серии, причем наблюдается корреляционная зависимость V, Ti и Ga от содержания  $Al_2O_3$  (рис.33), которая лучше всего выражена у Ga. Главными концентраторами этих элементов являются ставролит и кианит (см.табл.I6).

Повышенные концентрации Ti, V, Ga, Al, а также Zn, Hf могут свидетельствовать: о глубоком химическом выветривании на пенеппенизированном континенте: о том, что область сноса и палеобассейн седиментации были расположены в непосредственной близости друг от друга. Кроме того, повышенные содержания этих элементов и зависимость их от количества  $Al_2O_3$  указывают на гумидный климат и каолиновый состав кор выветривания /89 и др./. На гумидный палеоклимат и коры глубокого химического выветривания указывают и низкие концентрации Ga в кварцитах пачки В.

Содержание фтора в кианитовых сланцах ( $5,5 \cdot 10^{-2}\%$  F) и кварцитах ( $0,5 \cdot 10^{-2}\%$  F) также указывают на гумидные условия седиментогенеза, причем концентрация F в кианитовых сланцах свиты близка к гумидным; именно, континентальным глинам ( $6,0 \cdot 10^{-2}\%$  F) /85/.

Литий, рубидий в осадочных породах концентрируются, главным образом, в глинистых минералах, причем максимальные значения Li (310 г/т) устанавливаются в каолинитовых, а

Таблица 15

Содержание редких элементов и серы в породах серии кейв, (г/т)

| Пачка | Порода                               | S                            | Ge                           | Pb                        | Mo                          | U                        | Au      | Σ р.э.э.                       |
|-------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------|--------------------------------|
| A     | Мусковит-ставролит-гранатовые сланцы | не опр.                      | не опр.                      | 90                        | не опр.                     | не опр.                  | 7,2(5)  | <u>0,013-0,03</u><br>0,024(3)  |
| B     | Кианит-серицитовые сланцы (I)        | 1800                         | 1,5                          | 240                       | 4,6                         | не опр.                  | не опр. | не опр.                        |
|       | Кианитовые сланцы                    | <u>1600-9500</u><br>3725(I2) | <u>1,60-4,30</u><br>2,53(I0) | <u>20-175</u><br>81,5(I2) | <u>2,0-10,0</u><br>4,30(I2) | <u>3,9-6,2</u><br>5,0(4) | 2,7(I2) | <u>0,222-0,320</u><br>0,271(2) |
|       | Ставролит-кианитовые сланцы          | <u>3100-5100</u><br>4033(3)  | <u>1,8-3,0</u><br>2,33(3)    | <u>28-56</u><br>42,7(3)   | <u>1,5-2,7</u><br>2,0(3)    | 5,3(I)                   | 3,3(37) | <u>0,04-0,12</u><br>0,062(5)   |
|       | Глины и сланцы                       | 3000                         | 2                            | 20                        | 2                           | 3,2                      | I       | -                              |
|       | Песчаники                            | 240                          | 0,8                          | 7                         | 0,2                         | 0,45                     | -       | -                              |
|       | Основные породы                      | 300                          | 1,5                          | 8                         | 1,4                         | 0,5                      | 4       | -                              |
|       | Кислые породы                        | 400                          | 1,4                          | 20                        | I                           | 3,5                      | 4,5     | -                              |

Примечание. Au в мг/т, Σ р.э.э. в %. В скобках - количество анализов.

Таблица составлена по данным автора с привлечением данных Б.В.Гавриленко /25/ и Б.Г.Лутца /61/.

Содержания микроэлементов в осадочных и магматических породах даны по А.П.Виноградову /21/ и К.К.Турекян, К.Н.Wedepohl /143/.

Таблица 16

Содержание микроэлементов в минералах, (г/т)

| Минерал                            | Cr                   | Ni                   | V                       | Cu                   | Co                      | Pb                   | Ba                      | Ce                      | Mo                      |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Ставролит из<br>сланцев пачки Г(3) | <u>27-45</u><br>33,3 | <u>88-160</u><br>114 | <u>130-205</u><br>158,3 | <u>20-40</u><br>26,7 | <u>212-282</u><br>239,7 | <u>10-11</u><br>10,3 | <u>250-360</u><br>313,3 | <u>8,3-16,5</u><br>12,0 | <u>1,5-2,3</u><br>1,8   |
| Кварц из сланцев<br>пачки Б (2)    | <u>10</u><br>10      | <u>10</u><br>10      | <u>39-56</u><br>47,5    | <u>20</u><br>20      | <u>10</u><br>10         | <u>41-95</u><br>68   | <u>10-29</u><br>19,5    | <u>1,5</u><br>1,5       | <u>3,9-10,0</u><br>6,95 |
| Кианит из сланцев<br>пачки Б (7)   | <u>10-39</u><br>20,9 | <u>10</u><br>10      | <u>48-95</u><br>59,3    | <u>20-46</u><br>23,7 | <u>10</u><br>10         | <u>10-47</u><br>18,1 | <u>38-130</u><br>68,7   | <u>6,4-13,0</u><br>9,2  | <u>1,5-4,3</u><br>2,6   |
| Гранат из сланцев<br>пачки А (1)   | <u>10</u><br>10      | <u>10</u><br>10      | <u>15</u><br>15         | <u>20</u><br>20      | <u>19</u><br>19         | <u>12</u><br>12      | <u>16</u><br>16         | <u>1,5</u><br>1,5       | <u>50,0</u><br>50,0     |

Примечание. В скобках - количество проанализированных образцов.

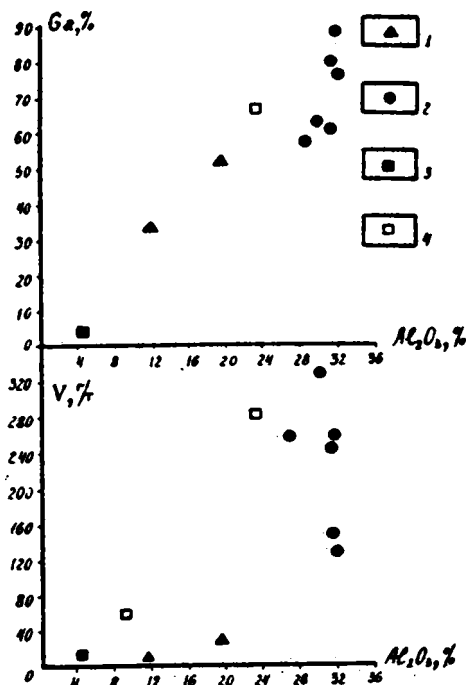


Рис.33. Характер зависимости Ga и V от содержаний  $Al_2O_3$  в сланцах серии кейв. I - сланцы пачки А, 2 - сланцы пачки Б, 3 - кварциты пачки В, 4 - сланцы пачки Г.

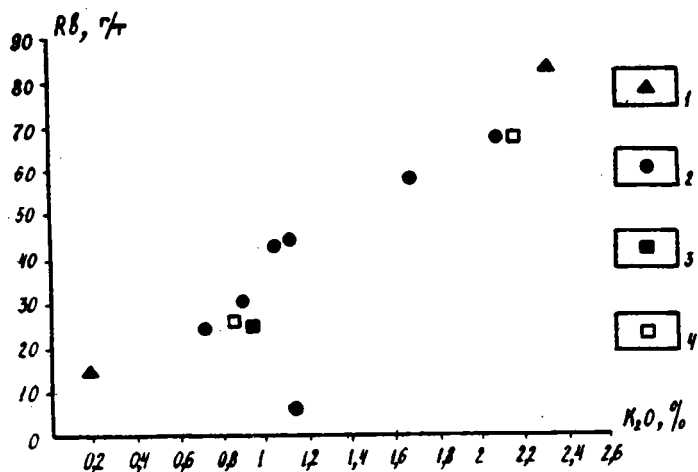


Рис.34. Характер зависимости Rb от содержаний  $K_2O$  в породах серии кейв. I - сланцы пачки А, 2 - сланцы пачки Б, 3 - кварциты пачки В, 4 - сланцы пачки Г.

Rb (500 г/т) в гидрослюдистых глинах, что отражает связь Li с Al, Rb с K в экзогенных условиях /52,90/. При этом зависимость Rb от  $K_2O$  четко проявлена и в метаморфических породах серии кейв (рис.34).

В корах глубокого химического выветривания концентрация Li увеличивается от исходных пород вверх по профилю. В нашем случае сланцы пачки А являются производными самых верхних частей кор выветривания и они содержат наибольшие количества Li (см.табл. I4). О том, что именно верхняя часть коры выветривания поставила вещество в палеобассейн седиментации свидетельствует и повышенная концентрация Fe в породах пачки А (до 8-10% и более).

#### в) Определение типа палеобассейна и его солености

Бор. Содержание бора в исследованных породах серии кейв равномерное и в среднем не превышает 5-6 г/т (см.табл.I4), хотя по другим данным /I06/ содержание бора в сланцах пачки колеблется в пределах 20-30 г/т. Такие содержания бора свидетельствуют о пресноводных континентальных условиях седиментации (глины континентальных бассейнов 10-50 г/т В, морские глины - 100-200 г/т ) /37 и др./. При этом, присутствие в сланцах серии углеродистого вещества, по-видимому, не оказывало заметного влияния на концентрацию бора, т.е. бор преимущественно связан с глинистыми минералами осадка (гидрослюдой, каолинитом). Эти выводы согласуются с данными П.П.Тимофеева и др. / I18/ о поведении бора в континентальных отложениях, причем содержания бора в сланцах серии лежат ближе всего к концентрациям бора в глинистой фракции аллювиально-озерных, озерно-болотных и аллювиальных обстановок седиментации (37-57 г/т) /I6/.

Стронций, барий. Различное геохимическое поведение этих элементов в зоне гипергенеза позволяет использовать значения их отношений (  $Sz/Ba$  ) для определения пресноводных или морских отложений /44 и др./. В пресноводных глинах  $Sz/Ba < 1$ , в морских глинах больше 1. Данное отношение в исследованных породах всегда меньше 1 (0,1-0,8). Это может свидетельствовать о накоплении существенно глинистого осадка в условиях пресноводного палеобассейна.

Галлий и титан. Повышенные содержания этих элементов и зависимость их от количества  $Al_2O_3$  также указывает на континен-

тальный тип палеобассейна /10,89 и др./.

На пресноводный характер палеобассейна указывает и расположение фигуративных точек сланцев серии кейв на диаграммах В-Са (рис.35),  $K_2O-V'$  (рис.36) и В-Li.

г) В породах серии обычно присутствует углеродистое вещество, причем наибольшие содержания его отмечаются в пачке Б (до 2-3%), но определенной зависимости концентраций микроэлементов (Co, Ni, V, U) от количества  $C_{орг}$  не наблюдается и только у Mo можно отметить небольшую зависимость от содержания  $C_{орг}$ . Это, по-видимому, объясняется более тесной связью этих микроэлементов с  $Al_2O_3$  и FeO (см. табл.16).

Микроэлементами, связанными с Fe и глинистым веществом пород являются также S, Au, р.з.э.

Сера. В породах серии кейв постоянно присутствуют сульфиды, причем в приповерхностных частях пирит, а глубже пирротин. Содержания S вал в сланцах пачки Б колеблются от 0,16, до 0,95%, при среднем содержании по 16 образцам - 0,37%, что, в общем, отвечает количеству S в глинах и сланцах фанерозоя /21,77 и др./. Очевидно, что главными концентраторами S в породах серии являются сульфиды Fe (пирит и пирротин).

Золото. В ряде работ приводятся данные о содержании Au в различных сланцах серии кейв (см. табл.15) /25 и др./. При этом отмечается, что небольшими содержаниями Au характеризуются первично монтмориллонит-гидрослюдистые осадки, сейчас представленные гранат-ставролитовыми сланцами, что объясняется большой сорбционной емкостью гидрослюд и монтмориллонита.

Редкие земли. В осадочных породах фанерозоя наблюдается корреляционная зависимость содержаний р.з.э. от глиноземистости пород, а также от количества органического вещества. Как видно, из таблицы 15 максимальные концентрации  $\Sigma$  р.з.э. в сланцах серии кейв приурочены, именно, к наиболее глиноземистым и углеродистым породам. Главным концентратором р.з.э. в сланцах серии кейв, по-видимому, является ортит, в котором содержится: 0,97%  $ThO_2$ , 2,51%  $Ce_2O_3$ , 2,97%  $(Di, La)_2O_3$ , 0,48%  $Y_2O_3$  /5/.

х

х

х

Таким образом, породы серии кейв (пачки А-Г) являются, видимо, производными кор глубокого химического выветривания,

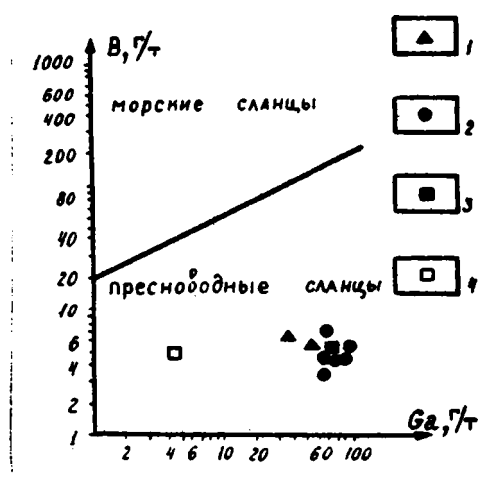


Рис.35. Фигуративные точки пород серии кейв на диаграмме В-Са. I - сланцы пачки А, 2 - сланцы пачки Б, 3 - кварциты пачки В, 4 - сланцы пачки Г.

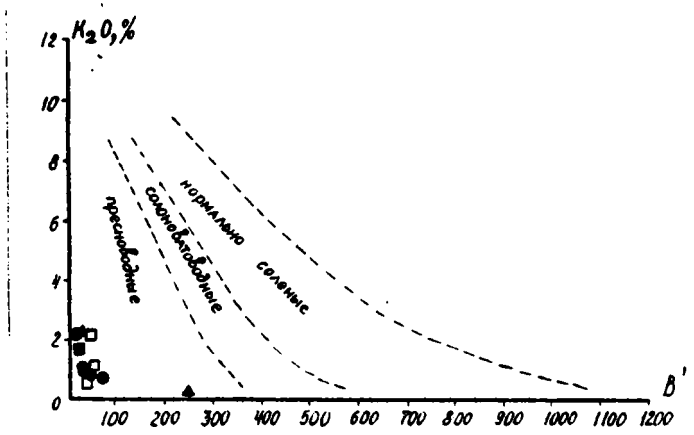


Рис.36. Фигуративные точки пород серии кейв на диаграмме К<sub>2</sub>О-В'. Условные обозначения на рис.35.



которые были развиты на породах гранитоидного и в меньшей мере основного состава в условиях влажного, жаркого палеоклимата и спокойной тектонической обстановки, существовавшей длительное время.

Осадки отлагались в обширном, по-видимому, пресноводном бассейне, в котором была развита органическая жизнь, представленная главным образом, синезелеными водорослями.

### 3. Породы свиты хирвинаволок

#### а) Элементы-индикаторы области сноса

Хром, ванадий. Содержания этих элементов наибольших значений достигают в параамфиболитах (табл.17), хотя и в большинстве других пород они содержатся в повышенных количествах относительно осадочных пород /21,143/. Это, по-видимому, объясняется присутствием значительных количеств этих элементов в первичных осадках, а в метаморфических породах значительная часть  $Cr$  и  $V$ , видимо, находится в минералах-концентраторах - биотите, гранате, амфиболе (см.табл.18).

Скандий определялся только в параамфиболитах и гранат-биотитовых сланцах свиты (см.табл.17). Повышенные количества  $Sc$  в этих породах, видимо, объясняются повышенными содержаниями его в материнских породах области питания и возможной примесью вулканогенного материала основного состава, так как, именно, в породах основного состава, богатых темноцветными минералами, содержание  $Sc$  более высокое, чем в кислых породах. В метаморфических породах также отмечается положительная корреляция  $Sc$  с  $Ca$ ,  $Fe$  и  $Mg$ , и основными концентраторами являются гранат, амфибол и биотит /53/.

Титан во всех породах находится в повышенных содержаниях относительно осадочных пород, также, как  $Cr$ ,  $V$ ,  $Sc$ , но максимальные концентрации его отмечаются в углеродистых сланцах (см.табл.17).

Марганец. Содержания  $Mn$  в породах свиты хирвинаволок колеблется от 80 г/т до 4400 г/т (см.табл.17), что, по-видимому, обусловлено широким спектром первичных осадков (от песков до карбонатных илов), отложившихся в палеобассейне.

Никель, кобальт, медь, цинк являются более подвижными элементами, чем  $Cr$ ,  $Sc$ ,  $Ti$ , и поэтому концентрируются в более тонкозернистых осадках. Кроме того, они обычно связаны с  $Fe$  (рис.37,38) (см.табл.18), а также являются биофильными элемен-

Таблица 17

Средние содержания и интервалы колебаний микроэлементов в породах свиты хирвинаволок, г/т

| Порода  | Cr                   | V                     | Sc                    | Ti                        | Ni                   | Co                  | Cu                  | Zn                       |
|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Параамфиболиты (8)                                | <u>75-740</u><br>230 | <u>120-310</u><br>256 | <u>24-60</u><br>40(7) | <u>2700-9000</u><br>6575  | <u>65-130</u><br>109 | <u>43-88</u><br>55  | <u>13-300</u><br>92 | <u>130-300</u><br>230    |
| Кварцит (I)                                       | 40                   | 64                    | не опр.               | 1500                      | 27                   | 14                  | 155                 | 31                       |
| Карбонатные породы (10)                           | <u>3-10</u><br>6,4   | <u>3-15</u><br>7,8    | "-                    | <u>0-1400</u><br>480      | <u>3-10</u><br>6,6   | <u>3-10</u><br>5,2  | <u>5-20</u><br>12   | <u>32-51</u><br>42(2)    |
| Углеродсодержащие<br>сланцы (II)                  | <u>79-265</u><br>150 | <u>87-450</u><br>221  | "-                    | <u>3717-9952</u><br>6469  | <u>35-125</u><br>75  | <u>15-58</u><br>37  | <u>22-280</u><br>69 | не опр.                  |
| Углеродистые сланцы (10)                          | <u>30-232</u><br>137 | <u>67-297</u><br>209  | "-                    | <u>3837-16366</u><br>8255 | <u>11-121</u><br>52  | <u>8-56</u><br>35,5 | <u>11-165</u><br>86 | не опр.                  |
| Гранат-биотитовые<br>сланцы (5)                   | 141(3)               | 156                   | 31                    | 5500(3)                   | 105                  | 34(3)               | 93                  | 207                      |
| Графитистые (высокоугле-<br>родистые) породы (12) | <u>48-122</u><br>75  | <u>89-241</u><br>150  | не опр.               | <u>1799-4616</u><br>3317  | <u>3-595</u><br>238  | <u>4-38</u><br>21   | <u>5-184</u><br>98  | <u>30-1500</u><br>540(6) |
| Глины и сланцы                                    | 100                  | 130                   | 10                    | 4500                      | 95                   | 20                  | 57                  | 80                       |
| Песчаники   | 35                   | 20                    | 1                     | 1500                      | 2                    | 0,3                 | -                   | 16                       |
| Карбонатные породы                                | 11                   | 20                    | 1                     | 400                       | 20                   | 0,1                 | 4                   | 20                       |
| Основные породы                                   | 200                  | 200                   | 24                    | 9000                      | 160                  | 45                  | 100                 | 130                      |

| Mn       | Ge      | Ga    | Pb     | Mo       | Zr      | B       | Li      | Rb      | Sr      | Ba      | U       |
|----------|---------|-------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 600-1900 | не опр. | 14-21 | 0,4-16 | 0,2-2,4  | 40-110  | 5-80    | 34-74   | 5-70    | 50-300  | 100-720 | не опр. |
| 1138     |         | 17(5) | 7,3    | 0,8      | 74(7)   | 21(7)   | 53(7)   | 26,4(7) | 124(7)  | 246(7)  |         |
| 150      | 0,9     | 4     | 8      | 0,5      | 36      | не опр. | не опр. | не опр. | не опр. | не опр. | 0,3     |
| 150-4400 | 0,5-2,4 | 3-5   | 3-10   | 0,5-1,5  | 48-62   | "-      | "-      | "-      | "-      | "-      | 0,3-0,4 |
| 1185     | 0,94    | 3,4   | 5      | 0,7      | 55(2)   |         |         |         |         |         | 0,33    |
| 77-2246  | -       | -     | -      | -        | не опр. | "-      | "-      | "-      | "-      | "-      | не опр. |
| 1231     |         |       |        |          |         |         |         |         |         |         |         |
| 77-1549  | 1,0-3,9 | 11-55 | 3-12   | 0,5-3,0  | "-      | "-      | "-      | "-      | "-      | "-      | 0,3-0,5 |
| 767      | 2,25    | 23    | 7,2    | 1,1      |         |         |         |         |         |         | 0,4(4)  |
| 287(3)   | 2,9(3)  | 24(3) | 6      | 1,5      | 120     | 48      | 87      | 72      | 228     | 425     | не опр. |
| 77-465   | 1,2-2,0 | 6-38  | 5-29   | 0,5-12,6 | не опр. | 6-8     | 2-27    | 0-69    | 60-190  | 80-2900 | 0,4(1)  |
| 219      | 1,6     | 14    | 14     | 4,4      |         | 6,3(6)  | 14(6)   | 31(6)   | 122(6)  | 1152(6) |         |
| 670      | 2       | 30    | 20     | 2        | 200     | 100     | 60      | 200     | 450     | 800     | 2,2     |
| -        | 0,8     | 12    | 7      | 0,2      | 220     | 35      | 15      | 60      | 20      | -       | 0,45    |
| 1100     | 0,2     | 4     | 9      | 0,4      | 19      | 20      | 5       | 3       | 610     | 10      | 2,2     |
| 2000     | 1,5     | 18    | 8      | 1,4      | 100     | 5       | 15      | 45      | 440     | 300     | 0,5     |

Примечание. В скобках - количество проанализированных образцов. Содержания микроэлементов в осадочных и магматических породах даны по А.П.Виноградову /21/ и К.К.Тилекіан, К.Н.ВедерхІ /143/.

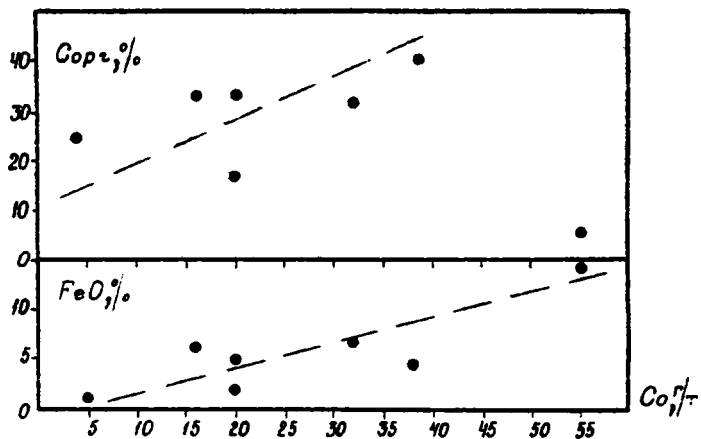


Рис.37. Характер зависимости  $Co$  от содержаний  $FeO$  и углеродистого вещества ( $C_{org}$ ) в породах У пачки

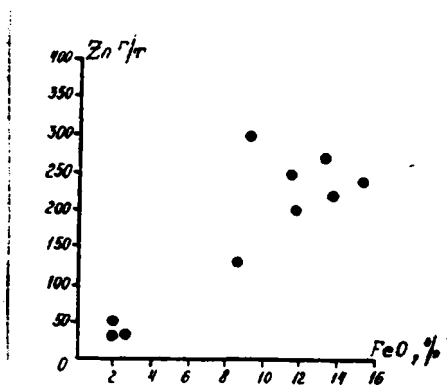


Рис.38. Характер зависимости  $Zn$  от содержаний  $Fe$  в породах свиты хирвинаволока.

тами (см.рис.37). В исследуемых породах эти элементы содержатся в повышенных количествах (см.табл.17) относительно кларка в осадочных породах и часто концентрируются в минералах с повышенной железо-магнезиальной составляющей (биотит, амфиболы и др.) (см.табл.18).

Свинец, молибден также являются подвижными элементами и значительная часть их также связана с сульфидами пород, но в исследованных породах (см.табл.17) содержания этих элементов в большинстве случаев ниже их содержаний в осадочных породах /21,143/ и в отличие от других элементов (Cr, V, Ni и т.д.) они не концентрируются ни в гранате, ни в амфиболе (см.табл.18).

Цирконий. Количество Zr в породах (см.табл.17) определяется, главным образом, содержанием этого элемента в породах области сноса и количеством терригенной примеси в отложениях (например в карбонатных), с которой обычно связан циркон - главный концентратор этого элемента в осадочных породах. Небольшие его содержания в породах, видимо, могут свидетельствовать о незначительных его концентрациях в материнских породах области сноса.

Уран также содержится в небольших количествах (см.табл.17), что, по-видимому, также обусловлено низкими содержаниями его в породах области питания.

Таким образом, повышенные содержания в породах свиты хирвинаволоок ряда элементов - Cr, V, Ti, Sc, Ni, Co с одной стороны и пониженные (Zr, Rb, U) с другой, по-видимому, могут свидетельствовать о породах области сноса, как породах основного состава.

Таблица 18

Содержание микроэлементов в гранатах (I) и амфиболах (II) сланцев III пачки, г/т

|        | Cr      | V       | Ni    | Co    | Cu    | Pb | Ca    | Ce       | Mo  |
|--------|---------|---------|-------|-------|-------|----|-------|----------|-----|
| I (4)  | 90-136  | 45-54   | 10-21 | 18-28 | 20-42 | 10 | 10    | 9,6-13,2 | 1,5 |
|        | 112     | 51,5    | 14,5  | 23,5  | 25,5  | 10 | 10    | 10,5     | 1,5 |
| II (4) | 210-242 | 392-500 | 54-82 | 39-51 | 29-83 | 10 | 22-23 | 6,6-9,2  | 1,5 |
|        | 226     | 460,5   | 68,2  | 45,2  | 51,7  | 10 | 22,2  | 7,6      | 1,5 |

б) Элементы-индикаторы палеоклиматических условий

Марганец. Распределение Mn в отложениях свиты (см.табл. I7) (рис.39) в общем согласуется с распределением Mn в породах гумидных зон /87/, причем не только характер распределения, но и концентрации Mn близки к гумидным отложениям.

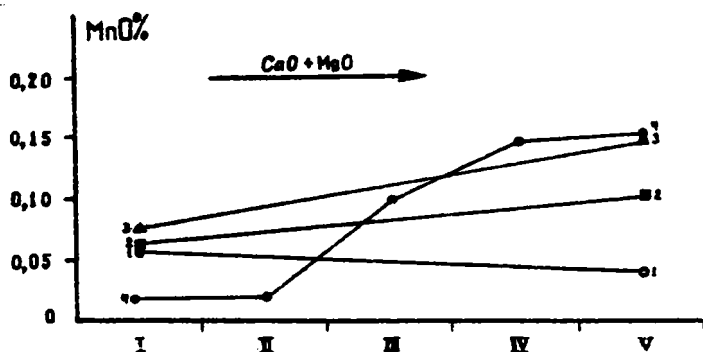


Рис.39. Распределение MnO в осадочных породах и породах свиты хирвинаволок. I - кварцит ( $CaO+MgO=2,63\%$ ), II - графитистые породы ( $CaO+MgO=5,68\%$ ), III - углеродистые сланцы ( $CaO+MgO=10,61\%$ ), IV - параамфиболиты ( $CaO+MgO=17,08\%$ ), V - карбонатные породы.

I - отложения аридных зон, 2 - отложения гумидных зон, 3 - отложения прибрежно-морских зон Русской платформы (I-3 по данным А.Б.Ронова и др. /87/), 4 - породы свиты хирвинаволок.

Галлий. Содержания Ga в минералах кор выветривания зависит, прежде всего, от состава материнских пород. В поверхностных условиях при жарком гумидном климате наблюдается четкая связь Ga с Al, похожая зависимость отмечается и в исследованных породах.

О гумидных условиях свидетельствует и корреляционная зависимость Ti от Al, отмечаемая в различных породах свиты.

в) Определение типа палеобассейна и его солёности

Бор, литий, рубидий. В экзогенных условиях эти элементы обычно приурочены к глинистым отложениям, чем, по-видимому, и объясняются их повышенные содержания в глиноземистых сланцах свиты (см.табл. I7), причем наблюдаемая в осадочных породах зависимость Li от  $Al_2O_3$ , а Rb и бора (B) от  $K_2O$  в той или иной мере отмечается

в исследованных отложениях.

Данные элементы и их соотношения являются индикаторами морских или пресноводных отложений. Средние содержания бора в породах свиты (см. табл. I7) и расположения фигуративных точек на диаграммах  $K_2O-V'$ ,  $B-Ga$  и  $B-Li$  (рис. 40, 41) дают возможность предположить, что формирование исходных пород происходило в пресноводных палеобассейнах.

Стронций, барий. Отношения этих элементов в исследованных породах свиты (см. табл. I7) всегда меньше 1, т.е. эти породы, видимо, образовались в условиях пресноводного палеобассейна.

Содержания марганца в сланцах и карбонатных породах свиты отвечают концентрациям  $Mn$  в континентальных и прибрежно-морских фациях гумидных зон.

Палеосоленость вод бассейна, определенная по формуле  $S = (V/27,9)^{2,32}$  (I37) равна - 0,41 и 3,5, что отвечает значениям пресноводных бассейнов.

г) Наличие в породах значительных концентраций  $C_{орг}$  (до 30-41%) и  $S$  (до 2 и более %) свидетельствует об обогащенности осадков этими элементами и сероводородном заражении дна палеобассейна, что, в свою очередь, способствовало накоплению и сохранению органического вещества, причем количество его увеличивается вверх по разрезу вплоть до образования пачки графитистых (высокоуглеродистых) пород.

Германий. Содержания  $Ge$  в породах свиты близко к среднему содержанию его в осадочных породах (см. табл. I7). Повышенные концентрации  $Ge$  в некоторых породах (до 2,8-3,4 г/т  $Ge$ ), видимо, объясняются присутствием в них минералов-концентраторов (граната, ставролита, амфибола) (см. табл. I8).

Какой-либо зависимости  $Ge$  от  $C_{орг}$ , содержащегося в значительных количествах (до 41%), в отложениях свиты не наблюдается. В то же время известно, что органическое вещество гумусового ряда (угли) является одним из концентраторов  $Ge$  /41 и др./.. Отсутствие связи между  $Ge$  и  $C_{орг}$  объясняется, по-видимому, тем, что органическое вещество сапропелевого типа, преобладающее в докембрийских отложениях, не является концентратором  $Ge$ .

Галлий также накапливается в углях фанерозоя, где он часто связан с органическим веществом углей, но в исследованных породах не отмечается зависимости  $Ga$  от  $C_{орг}$ , что, видимо, объяс-

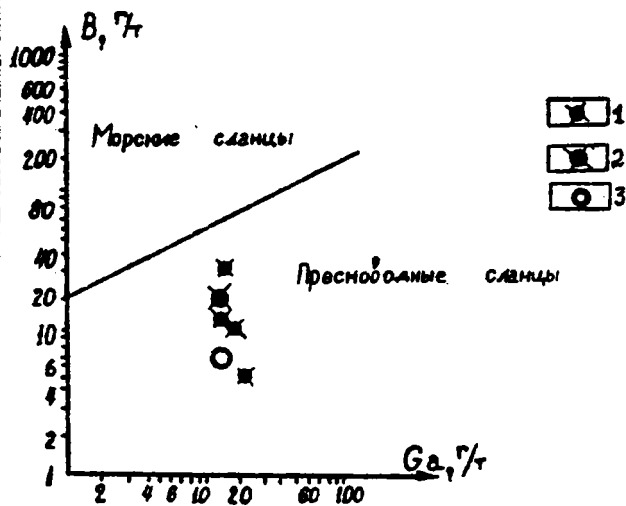


Рис.40. Фигуративные точки пород свиты хирвинаволоок на диаграмме В-Ga.

1 - параамфиболиты, 2 - среднее значение по 18 обр. параамфиболитов, 3 - среднее значение по 12 обр. графитистых пород

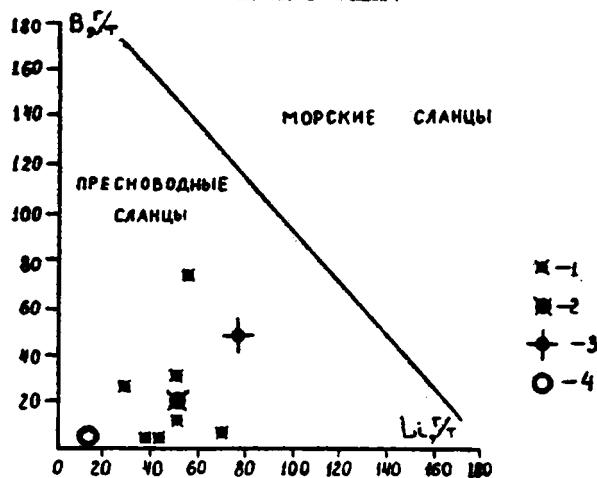


Рис.41. Фигуративные точки пород свиты хирвинаволоок на диаграмме В-Li.

1 - параамфиболиты, 2 - среднее значение для параамфиболитов, 3 - среднее значение для гранат-биотитовых сланцев, 4 - среднее значение для графитистых пород.



няется теми же причинами, что и для Се.

Можно отметить, что горючие сланцы фанерозоя, производные главным образом органического вещества сапропелевого ряда, также не содержат повышенных концентраций этих элементов.

Никель, кобальт, медь, молибден, свинец являются биофильными элементами. Значительные количества  $Ni$  (до 322 г/т),  $Cu$  (до 139 г/т),  $Co$  (до 55 г/т) в высокоуглеродистых породах;  $Ni$  (до 27 г/т),  $Cu$  (до 155 г/т) в кварците, а также  $Zn$  (до 51г/т) в карбонатных породах можно объяснить биофильностью этих элементов, о чем свидетельствуют соотношения этих элементов с  $C_{орг}$  (рис.42).

д) Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов

В карбонатных породах свиты были произведены измерения изотопных отношений углерода и кислорода (табл.19). Особенностью исследованных карбонатов является небольшие значения  $\delta^{18}O$  (+12,6+ +19,5‰, среднее - +16,6‰), что характерно для метаморфизованных карбонатных пород докембрия /13/. Изотопные значения  $\delta^{13}C$  карбонатов колеблются от +8,6‰ до -17,2‰, причем только три значения  $\delta^{13}C$  (-1,1‰ +0,5‰ и +3,3‰) отвечают значениям нормально морских (хемогенно-осадочных) карбонатов. Изотопно-аномальные значения  $\delta^{13}C$ , по-видимому, объясняются значительной ролью ОБ биогенного происхождения в формировании исходного карбонатного осадка в условиях восстановительной среды со следами сероводородного заражения. При этом, в исследованных породах отмечается корреляционная зависимость  $\delta^{13}C$  от присутствующего в породах  $C_{орг}$  (см.табл.19).

На диагностической диаграмме  $\delta^{13}C - \delta^{18}O$  /13 и др./ часть фигуративных точек исследованных карбонатов ложатся в поле пресноводных осадков, часть - в поле метаморфизованных (докембрийских) карбонатов, а часть точек лежит выше этого поля, но ни одна точка не попадает в поле нормальных морских карбонатов.

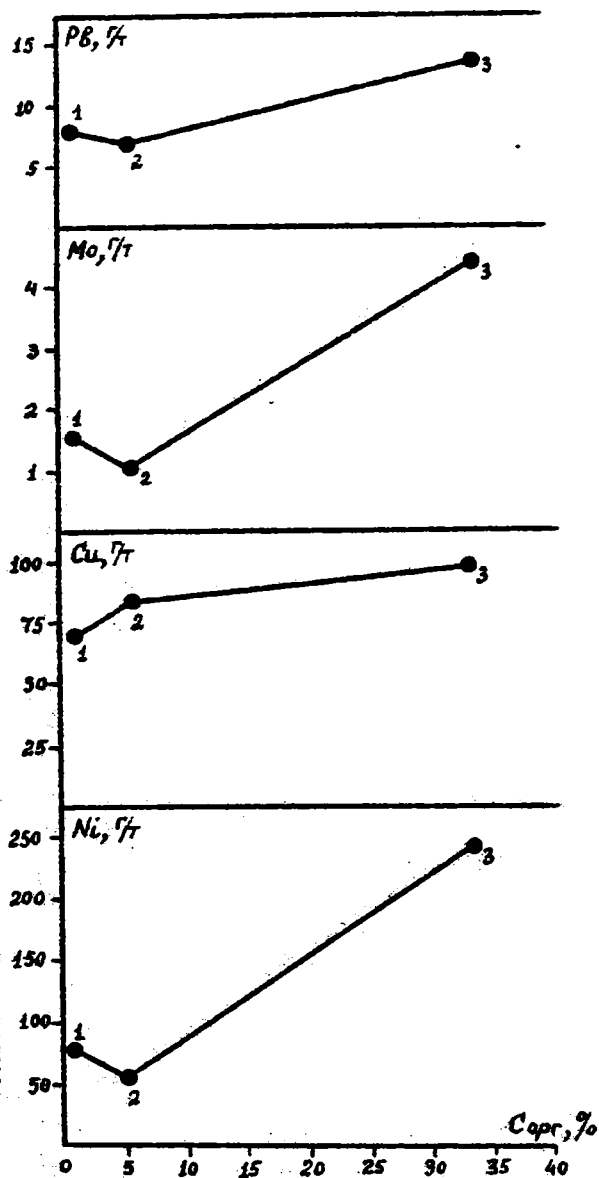


Рис.42. Характер зависимости  $Ni$ ,  $Cu$ ,  $Mo$ ,  $Pb$  от содержания  $C_{орг}$  в породах свиты хирвинаволок.  
 1 - углеродсодержащие сланцы (среднее по 11 образцам,  $C_{орг}$  - 0,69%), 2 - углеродистые сланцы (среднее по 10 образцам,  $C_{орг}$  - 5,34%), 3 - графитистые породы (среднее по 12 образцам,  $C_{орг}$  - 33,26%).

Таблица I9

Изотопный состав углерода и кислорода карбонатных пород  
свиты хирвинаволоок

| № обр.   | Порода                | $\delta^{13}\text{C}, \text{‰ (PDB)}$ | $\delta^{18}\text{O}, \text{‰ (SMOW)}$ | $\text{C}_{\text{орг}}, \%$ |
|----------|-----------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------|
| KY-3/4   | известняк             | -10,8                                 | +15,7                                  | 2,32                        |
| KY-6/3   | "                     | +4,4                                  | +18,4                                  | 0,79                        |
| KY-6/5   | доломит               | +0,5                                  | +14,5                                  | -                           |
| KY-10/17 | известняк             | +4,1                                  | +17,6                                  | -                           |
| KY-20/2  | доломит               | -1,1                                  | +15,6                                  | 1,80                        |
| KY-23/4  | карбонатный<br>сланец | +3,3                                  | +17,8                                  | -                           |
| KY-23/5  | "                     | +8,6                                  | +19,4                                  | -                           |
| KY-24/5  | "                     | -15,6                                 | +14,5                                  | 4,78                        |
| KY-26/1  | "                     | +5,2                                  | +19,0                                  | -                           |
| KY-26/3  | "                     | +6,8                                  | +18,9                                  | -                           |
| KY-30    | "                     | +7,5                                  | +19,5                                  | -                           |
| KY-62в   | известняк             | +6,9                                  | +16,0                                  | -                           |
| KY-62г   | доломит               | +6,8                                  | +18,8                                  | 0,30                        |
| KY-62д   | "                     | -11,9                                 | +12,6                                  | 1,44                        |
| KY-62д   | "                     | -12,0                                 | +12,9                                  | 1,44                        |
| KY-62н   | карбонатный<br>сланец | -17,2                                 | +14,3                                  | 8,20                        |

Анализы выполнены в Лаборатории изотопной геологии ИЛС  
АН СССР на приборе Варман-МАТ-250. Аналитик Н.А.Степанова.

x

x

x

Таким образом, на основе анализа содержаний, характера распределений и величин отношений ряда малых и редких элементов в различных породах свиты хирвинаволоок, а также значений изотопного состава углерода и кислорода в карбонатных породах можно сделать следующие выводы: 1. материнскими породами свиты, видимо, являлись продукты размыва пород основного состава, не исключается и добавка туфогенного материала; 2. палеоклимат эпохи осадкообразования, возможно, был гумидного типа, а седиментация происходила в континентальных, прибрежно-морских условиях, причем палеобассейн седиментации имел пресноводный характер; 3. присутствие значительных количеств  $\text{C}_{\text{орг}}$

(до 41%) может свидетельствовать о благоприятных условиях (наличие достаточного количества элементов минерального питания, умеренный палеоклимат, более или менее спокойный тектонический режим и т.д.) для развития органической жизни в палеобассейне; 4. для целого ряда элементов ( $Ni$ ,  $Co$ ,  $Mo$ ,  $Zn$  и др.) наблюдается зависимость их от количества  $C_{орг}$ , что является характерной чертой углеродистых формаций фанерозоя. В то же время, отсутствие корреляции между  $C_{орг}$  и  $Ge$ .  $C_{орг}$  и  $Ge$ , видимо, объясняется сапропелевым типом органического вещества, захороненного в отложениях свиты хирвинаволоков, которое не является концентратором этих элементов.

#### 4. Породы свиты соваярви

В разрезе свиты отмечаются следующие первично-осадочные породы: лидиты?, карбонатные породы (главным образом доломиты), разнообразные сланцы (биотит-кварцевые, амфибол-биотит-кварцевые, хлоритсодержащие и т.д.), часто содержащие примесь углеродистого вещества, а также высокоуглеродистые породы.

##### а) Элементы-индикаторы области сноса

Хром, ванадий в значительной части пород содержатся выше кларковых концентраций (табл.20), причем их содержания увеличиваются вверх по разрезу, что объясняется увеличением вулканокластического материала в осадках верхних частей разреза /3/. В сланцах наблюдается зависимость  $V$  от  $FeO$ , что по-видимому, говорит о вхождении  $V$  в состав магнетизально-железистых минералов (амфиболов, биотитов, хлоритов).

Титан, марганец. Концентрация  $Ti$  и  $Mn$  в различных типах пород колеблется довольно широко (см.табл.20), причем содержание  $Ti$  повышается вверх по разрезу до 2-2,50%  $Ti O_2$ .  $Mn$  в осадочных (песках, глинах) и магматических породах обычно связан с  $Fe$  /87/. Подобная связь отмечается и в исследуемых породах (рис.43). В них же отмечается и зависимость  $Ti O_2$  от  $FeO$  (см.рис.43), что, по-видимому, свидетельствует о присутствии в составе первичных отложений примеси вулканогенного материала основного состава, так как, в ортопородах связь  $Ti$  и  $Fe$  - значимая.

Небольшие содержания  $Ti$  и  $Mn$  в лидитах свиты, возможно, указывают на их хомогенное происхождение.

Средние содержания и интервалы колебаний микроэлементов в породах свиты соварви, г/т

| Порода                        | Сл                     | V                       | Tl                        | Ml                     | Co                 | Cu                    | Mn                     |
|-------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Лидиты (6)                    | <u>10-48</u><br>23,5   | <u>10-70</u><br>37,7    | <u>0-540</u><br>180       | <u>10-13</u><br>11,2   | <u>10-19</u><br>14 | <u>20-87</u><br>49    | <u>0-77</u><br>15,4    |
| Углеродсодержащие сланцы (II) | <u>61-225</u><br>130   | <u>61-315</u><br>162    | <u>2038-12769</u><br>6812 | <u>26-145</u><br>65    | <u>10-70</u><br>30 | <u>15-155</u><br>43   | <u>0-1394</u><br>788   |
| Углеродистые сланцы (6)       | <u>97-150</u><br>129,5 | <u>71-230</u><br>162    | <u>3537-7674</u><br>5516  | <u>34-53</u><br>45     | <u>13-40</u><br>28 | <u>20-112</u><br>38   | <u>230-1626</u><br>684 |
| Высокоуглеродистые породы (4) | <u>92-143</u><br>119,7 | <u>177-245</u><br>198,5 | <u>3057-5096</u><br>4061  | <u>18-212</u><br>112,3 | <u>5-42</u><br>20  | <u>11-172</u><br>66   | <u>0-232</u><br>85     |
| Карбонатные породы (Ю)        | 13                     | 10                      | <u>0-1799</u><br>694      | 12                     | 10                 | <u>15-415</u><br>84,5 | <u>465-2169</u><br>996 |
| Глины и сланцы                | 100                    | 130                     | 4500                      | 95                     | 20                 | 57                    | 670                    |
| Песчаники                     | 35                     | 20                      | 1500                      | 2                      | 0,3                | -                     | -                      |
| Карбонатные породы            | 11                     | 20                      | 400                       | 20                     | 0,1                | 4                     | 1100                   |
| Основные породы               | 200                    | 200                     | 9000                      | 160                    | 45                 | 100                   | 2000                   |

| Ge             | Ga           | Mo              | Pb          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % | Ba              | Sr            | C <sub>орг</sub> , % |
|----------------|--------------|-----------------|-------------|-----------------------------------|-----------------|---------------|----------------------|
| <u>1,0-1,5</u> | <u>5-10</u>  | <u>1,5-1,9</u>  | <u>5-10</u> | <u>0,0-0,27</u>                   | -               | -             | <u>0,0-5,09</u>      |
| 1,1            | 8,3          | 1,6             | 7,5         | 0,062                             | -               | -             | 1,82                 |
| <u>1,0-2,9</u> | <u>11-30</u> | <u>0,5-4,9</u>  | <u>3-10</u> | -                                 | -               | -             | <u>0,0-1,80</u>      |
| 1,9            | 19,2         | 1,8             | 6,2         | -                                 | -               | -             | 0,82                 |
| <u>1,0-2,9</u> | <u>10-24</u> | <u>0,5-2,7</u>  | <u>3-5</u>  | <u>0,3-0,10</u>                   | <u>420-1100</u> | <u>62-118</u> | <u>2,15-7,80</u>     |
| 1,9            | 16,5         | 1,0             | 4,8         | 0,065                             | 664             | 88            | 3,80                 |
| <u>1,0-1,2</u> | <u>10-37</u> | <u>0,5-15,0</u> | <u>3-13</u> | <u>0,01-0,05</u>                  | -               | -             | <u>20,49-32,14</u>   |
| 1,1            | 22           | 5,5             | 7,8         | 0,02                              | -               | -             | 26,65                |
| 1,4            | 10           | 1,4             | <u>5-10</u> | <u>0,01-0,23</u>                  | -               | -             | -                    |
|                |              |                 | 6           | 0,10                              |                 |               |                      |
| 2              | 30           | 2               | 20          |                                   | 800             | 450           | 1,0                  |
| 0,8            | 12           | 0,2             | 7           |                                   | -               | 20            | -                    |
| 0,2            | 4            | 0,4             | 9           |                                   | 10              | 610           | -                    |
| 1,5            | 18           | 1,4             | 8           |                                   | 300             | 440           | 0,01                 |

Примечание. В скобках - количество проанализированных образцов. Содержания микроэлементов в осадочных и основных породах даны по А.П.Виноградову /21/ и К.К.Тутекиан, К.Н.Северов /143/.

Никель, кобальт, медь. Содержания этих элементов в породах свиты колеблется в широких пределах (см. табл. 20), что определяется их подвижностью в поверхностных условиях. В осадочных породах эти элементы обычно связаны с сульфидами, органическим и глинистым веществом. В исследуемых сланцах отмечается связь этих элементов с FeO, т.е. с темноперецветными компонентами пород (сидерит, амфибол) и сульфидами.

Наиболее высокие концентрации  $Cu$  и  $Co$ , относительно кларка наблюдаются для  $Cu$  в карбонатных породах, а  $Co$  в лидитах (табл. 21), что, по-видимому, обусловлено присутствием в этих породах шпирита и халькопирита.

Интересно сравнить содержания малых элементов в лидитах свиты соваярви, во фтанитах Урала /128/ и лидитах Южной Карелии /26/.

Таблица 21  
Средние содержания малых элементов во фтанитах (1), лидитах Южной Карелии (2) и лидитах свиты соваярви (3)

|        | $Cu$ | $Ni$ | $V$ | $Mn$ | $Co$ | $Cu$ | $Mo$ | $Pb$ | $Ge$ | $C_{орг}$ |
|--------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----------|
| 1 (45) | 44   | 46   | 216 | 62   | 5    | 73   | 10   | 7    | 2,08 | 1,32      |
| 2 (5)  | 100  | 120  | 110 | 40   | 22   | 90   | -    | 15   | -    | 4,46      |
| 3 (4)  | 22   | 11   | 36  | 19   | 14   | 47   | 1,7  | 7,5  | 1,0  | 1,46      |

Пониженные содержания малых элементов, относительно фтанитов и лидитов Южной Карелии, в исследованных породах (см. табл. 21), по-видимому, свидетельствуют о незначительном влиянии вулканогенных процессов на состав осадка. Так, как метасилициаты отдаленно вулканогенных фаций обычно обеднены малыми элементами /65/.

Таким образом, повышенные содержания ряда элементов ( $Cu$ ,  $Ti$ ,  $Fe$ ,  $Co$ ,  $Cu$ ,  $V$ ) и пониженные количества  $Pb$ , видимо, могут говорить о присутствии в области сноса пород основного состава и возможном присутствии в осадках вулканогенного материала.

#### б) Элементы-индикаторы палеоклиматических условий

Марганец. Характер распределения марганца в породах свиты (от кварцитов до карбонатных пород) (рис. 44) согласуется с распределением  $Mn$  в гумидных зонах фанерозоя /87/.

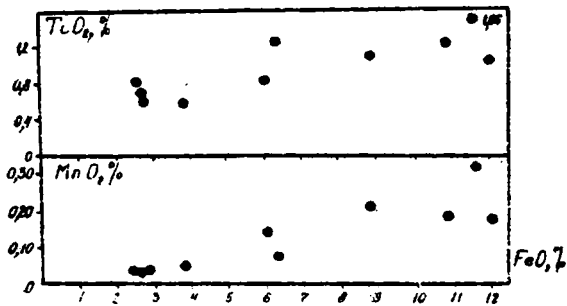


Рис. 43. Характер зависимости  $Ti$  и  $Mn$  от содержания  $FeO$  в углеродистых сланцах свиты соваарви.

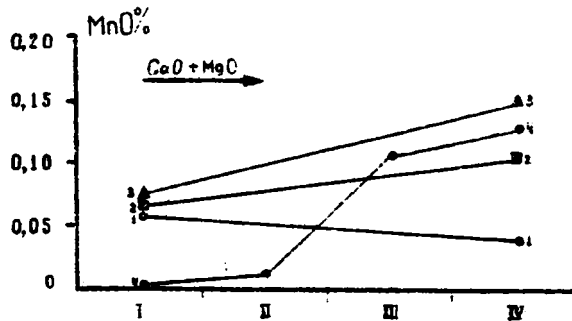


Рис. 44. Распределение  $MnO$  в осадочных породах и породах свиты соваарви. I - лидиты, II - высокоуглеродистые прорды, III - углеродистые сланцы, IV - карбонатные породы I - отложения аридных зон, 2 - отложения гумидных зон, 3 - отложения прибрежно-морских зон Русской платформы (I-3 по А.Б.Ронову и др. /87/, 4 - породы свиты соваарви.



Галлий. Содержание Ga в породах свиты довольно равномерное (см. табл. 20) и в общем близко к кларкам Ga в осадочных породах. Ga в осадочных породах обычно связан с Al, причем эта связь наиболее полно проявляется в глинистых породах гумидного климата, т.е. продуктах глубокого химического выветривания. В исследуемых породах, которые, возможно, накапливались в условиях гумидного климата эта связь проявлена менее четко, что, видимо, связано с присутствием в разрезе производных грубозернистых осадков, типа граувакк, в которых, возможно, присутствовал и пепловый материал.

Аналогично обстоят дела и с корреляцией Ti и V с  $Al_2O_3$ .

в) Определение типа палеобассейна и его солености.

Характер распределения Mn от кремнистых до карбонатных пород в свите соварики (рис. 44) хорошо согласуется с отложениями гумидных зон прибрежно-морских фаций. О морском бассейне и нормально соленой воде говорит и количество бора (180 г/т В) в углеродистых сланцах свиты.

Барий, стронций. Особенностью содержания этих элементов в породах свиты (см. табл. 20) является пониженная концентрация Sr относительно Ba, причем их средние содержания близки к концентрациям Sr и Ba в континентальных углеродистых сланцах карбона (Ba-610 г/т, Sr-100 г/т) /34/. По величине отношения этих элементов (0,13) исследуемые породы относятся к пресноводным образованиям.

Таким образом, в данном случае использование микроэлементов в качестве индикаторов типа палеобассейна привело к противоречивым результатам.

Можно только отметить, что наличие пластов высокоуглеродистых пород и  $S_{вал}$  (до 3,31%) говорят о восстановительных условиях на дне палеобассейна.

г) Значительная часть пород свиты содержит  $C_{орг}$  вплоть до образования высокоуглеродистых пород (до 32,14% C), причем для ряда элементов (V, Ni, Cu, Mo) отмечается коррелятивная зависимость от концентраций  $C_{орг}$  (рис. 45), что может свидетельствовать о широко развитой органической жизни в палеобассейне.

Германий в породах свиты (см. табл. 20) содержится в небольших количествах, близких к кларковым содержаниям Ge в осадочных породах. Несколько повышенные содержания Ge в части

пород (до 2,9 г/т) могут быть вызваны концентрацией железа (до 12% FeO) в этих породах, поскольку Ge может изоморфно замещать Fe<sup>2+</sup>. Об этом может свидетельствовать и некоторая зависимость Ge от количества FeO в углеродистых сланцах.

В высокоуглеродистых породах данной свиты, как и в свите Хирвинаволок, также не отмечается зависимости между содержаниями Ge и C<sub>орг.</sub> что, по-видимому, также объясняется сапропелевым типом органического вещества.

Фосфор в осадочных породах часто бывает связан с органическим веществом, что не наблюдается в породах свиты (см. табл. 20), причем содержание его здесь отличается низкими величинами.

#### д) Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов

Проведенные измерения изотопного состава углерода и кислорода карбонатных пород свиты соаварви (табл. 22) показали, что характерной особенностью данных пород является то, что все величины  $\delta^{13}\text{C}$  имеют плюсовые значения и большинство проанализированных карбонатов имеют изотопно-тяжелый углерод (+4,1 + 10,0%) и только два значения  $\delta^{13}\text{C}$  (+0,5 и +2,6%) отвечают значениям нормальных морских карбонатов. Можно отметить, что карбонатные породы докембрия с аномально тяжелым углеродом встречаются довольно часто: "тяжелые" доломиты формации Ломатунди (Зимбабве) имеют среднее значение  $\delta^{13}\text{C}$  по II образцам равное  $+9,4 \pm 2,0\%$ , доломиты Финляндии  $+4,3 \pm 1,1\%$ , в карбонатах Канады и Индии диапазон значений  $\delta^{13}\text{C}$  колеблется от +4 до +6% и т.д. /141 и др./ . Характерно, как для карбонатов свиты соаварви (см. табл. 22), так и для карбонатов Хирвинаволокской свиты (см. табл. 19), что породы имеющие изотопно-тяжелый углерод не содержат или содержат в небольших количествах углеродистое вещество.

Величины значений  $\delta^{18}\text{O}$  определенные в карбонатных породах свиты (см. табл. 22) колеблются в пределах свойственных докембрийским метаморфизованным карбонатам  $\delta^{18}\text{O} = +12 \pm 2\%$  /13/.

На диагностической диаграмме  $\delta^{13}\text{C} - \delta^{18}\text{O}$  /13/ фигуративные точки исследованных карбонатов лежат выше поля или в поле метаморфизованных карбонатов.

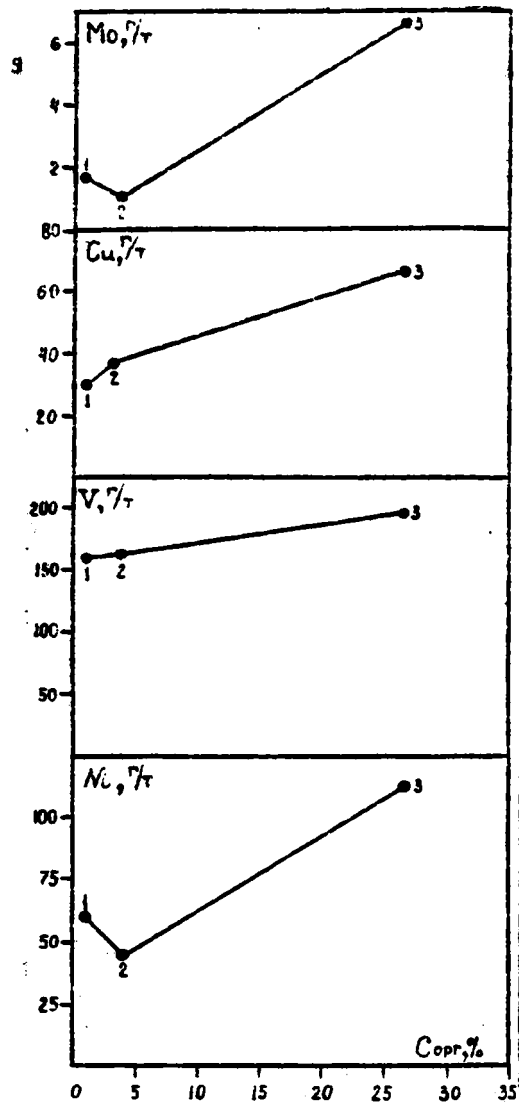


Рис.45. Характер зависимости  $Ni$ ,  $V$ ,  $Cu$  и  $Mo$  от содержания  $C_{орг}$  в углеродсодержащих-высокоуглеродистых породах СВИТЫ соваюрви.

1 - углеродсодержащие сланцы (среднее по 12 обр.,  $C_{орг}$  - 0,82%), 2 - углеродистые сланцы (среднее по 6 обр.,  $C_{орг}$  - 3,80%), 3 - высокоуглеродистые породы (среднее по 4 обр.,  $C_{орг}$  - 26,65%).

Изотопный состав углерода и кислорода доломитов свиты  
соваярви

| № обр.  | Порода  | $\delta^{13}\text{C},\%$ (PDB) | $\delta^{18}\text{O},\%$ (SMOW) | $\text{C}_{\text{орг}},\%$ |
|---------|---------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| П-10/17 | доломит | + 6,9                          | +22,6                           | 0,11                       |
| П-17/1  | "-      | + 6,8                          | +19,5                           |                            |
| П-17/2  | "-      | + 2,6                          | +15,1                           |                            |
| П-17/3  | "-      | + 0,5                          | +14,7                           |                            |
| П-17/5  | "-      | + 4,1                          | +15,8                           |                            |
| П-20/2  | "-      | +10,0                          | +17,7                           |                            |

Анализы выполнены в Лаборатории изотопной геологии ИС АН СССР на приборе Варьян-МАТ-250. Аналитик Н.А.Степанова.

X X

X

Вещество для формирования отложений свиты соваярви представляли области сноса сложенные эффузивными породами основного состава, гнейсами и амфиболитами беломорской серии, а, также, возможна примесь вулканогенного материала, т.е. материнскими породами свиты являлись породы "обогащенные" Fe, Ti, V, Co, Mg.

Осадки отлагались в мелководном палеобассейне, в котором была развита органическая жизнь, а в придонной части существовали восстановительные условия. Палеоклимат эпохи седиментогенеза, по-видимому, был умеренный, гумидный, а рельеф области питания довольно расчлененный, о чем свидетельствуют плохо проявленные связи Ga, Ti, V с Al.

#### 5. Выводы

Углеродсодержащие породы свиты хизовара и серии кейв (кейвский уровень  $PR_1$ ) по данным распределения микроэлементов являются переотложениями продуктами кор глубокого химического выветривания, развитых на равнинных континентах в условиях теплого, жаркого гумидного палеоклимата. Для углеродсодержащих отложений этого стратиграфического уровня характерна следующая ассоциация элементов: Al, V, Ga, Zn, причем в каждой из свит отмечаются свои специфические ассоциации элементов. Для серии кейв это - Zn, Mo, р.з.э., для свиты хизовара - Ge, Cr, Co, S.

Для углеродсодержащих отложений лядисовля (смиты и хривин-аволок и соватри) характерна другая ассоциация элементов - Co, Zn, V, Cu, что, видимо, обусловлено присутствием основных пород в областях сноса и, возможно, влиянием основного синхронного вулканизма. Для данного уровня был характерен более активный тектонический режим, что объясняет грубозернистый характер осадков.

Характер распределения индикаторных элементов и величины их отношений (B, Ga, B-Ga, B-Li, Sr-Ba и др.) указывает, что углеродсодержащие отложения в своем большинстве формировались в пресноводных, мелководных континентальных, прибрежно-морских палеобассейнах в условиях теплого, жаркого, влажного палеоклимата.

И в фанерозое значительная часть аналогичных образований ("черных сланцев") накапливалась в сходных условиях: прибрежно-морские "черные сланцы" Восточной Атлантики, сланцы бассейна Грин-Ривер, производные крупного озерного бассейна и т.д. /8 и др./.

Поступление значительных количеств элементов минерального питания в палеобассейн PR<sub>1</sub> приводило к бурному развитию простейших организмов (главным образом синезеленых водорослей) и соответственно к увеличению объема захороненного органического вещества и ассоциирующих с ним элементов (Fe, V, Cu, Zn, Mo, Ni, Co и т.д.). Так, значительная часть известных месторождений и рудопроявлений Al, FeS<sub>2</sub>, V, Co, Cu, Mo, Ni и других полезных ископаемых в нижнем протерозое Балтийского щита (Оутокумпу, Выханги, Парандово, Хаутовара, Печенга и т.д.), так или иначе связаны с уровнями развития углеродсодержащих отложений.

## Б. Петрохимическая характеристика пород и условия их формирования

Как известно, региональный метаморфизм докембрийских комплексов привел к существенному изменению структурных, иногда текстурных особенностей и минерального состава терригенных, в особенности глинистых отложений. В то же время химический состав указанных образований при региональном метаморфизме не претерпевает существенных изменений вплоть до самых высоких его ступеней /20, 31, 55, 62, 91 и др./. Именно поэтому, изучение химического состава пород имеет большое значение для реконструкции первичной природы и условий формирования осадочно-метаморфических пород.

### Методы реконструкции первичной природы и условий формирования пород

Для выявления первичной природы углеродсодержащих пород и условий их формирования использовался ряд петрохимических диаграмм /31, 74, 82, 134/, а также величины отношений между некоторыми петрогенными элементами ( $Al_2O_3/SiO_2$ ,  $K_2O/Na_2O$ ,  $Al_2O_3/Na_2O$  и др.).

Петрохимические диаграммы А.А.Предовского /82/ и значения их параметров использовались для выяснения первичной природы как силикатных (ГСК), так и карбонатных (МК) пород, а также для распознавания генетических типов метапелитов. Нами используется правое поле диаграммы ГСК (ГА), являющееся наиболее информативной и по существу наиболее употребительной диаграммой.

Значения М, А и К для расшифровки карбонатных и смешанных пород вычисляются соответственно  $M = MgO/CaO$  (мол. кол-во) и  $A = Al_2O_3 - (K_2O + Na_2O)$  (мол. кол-во), а параметр К рассчитывается так же, как и для силикатных осадков.

Для определения пара- и ортоамфиболитов свиты хизовара использовалась менее употребительная диаграмма  $CaO - Na_2O$  /134/, более простая и удобная для работы.

Недостатком этих диаграмм (ГА,  $CaO - Na_2O$ ) является то, что они не рассчитаны на высокоуглеродистые породы и то, что осадочные породы, содержащие известковую примесь и  $Na_2O > K_2O$ , иногда сказываются в полях ортопород.

Для диагностики исследуемых пород всех четырех свит была использована диаграмма  $(Al_2O_3 + TiO_2) - (SiO_2 + K_2O) -$  (сумма остальных компонентов) /74/, предназначенная для выделения полей пород пелит-псаммитовой группы и мергелей. Данная диаграмма является наиболее информативной и более простой, чем диаграмма ГА.

После выявления первичной природы углеродсодержащих пород для определения исходного минерального состава исследуемых пород использовались литохимические пересчеты силикатных анализов по методике О.М.Розена /84/. Данные количественно-минералогические пересчеты складываются из вычисления минералов группы глин и полевых шпатов, а затем карбонатов и окислов (гетит, сидерит, пиролюзит). Затем в зависимости от результатов этих пересчетов менее дифференцированные осадки (содержащие значительные количества полевых шпатов, хлорита и др.) наносились на треугольную диаграмму: полевые шпаты - глины - кварц /80/, а более дифференцированные - на треугольную диаграмму АКМ /31/. Параметры этой диаграммы рассчитываются по весовым процентам ( $A = Al_2O_3$ ,  $K = K_2O$ ,  $M = MgO$ ), и поля различных глин не перекрываются, в отличие от диаграммы ГА.

Для качественного определения первичной природы метapelитов пород свиты хизовара использовалась диаграмма эталонных групп глин /82/. В этой диаграмме на основе соотношений  $Al_2O_3$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mg$ ,  $Na$  и  $K$  (в молекулярных количествах) определяется исходный состав глинистых минералов метapelитов.

Кроме вышеперечисленных диаграмм, нами были использованы ряд индикаторных отношений некоторых петрогенных элементов. Так, кремневый модуль ( $Al_2O_3/SiO_2$ ) существенно различен в глинах (0,27-0,56), алевролитах и песчаниках (0,07-0,20), граувакках - 0,23, то есть этот модуль отражает гранулометрическую дифференциацию в процессе седиментации /88 и др./. Отношения  $Al_2O_3/Na_2O$  и  $K_2O/Na_2O$  определяют интенсивность химического выветривания, а карбонатный модуль ( $CaO+MgO/SiO_2$ ) в глинисто-пеллитовых породах отражает фациальные условия их образования /86 и др./. Отношение  $Al_2O_3/TiO_2$  является показателем палеоклиматических условий седиментации (величина меньше 20 характеризует гумидные, выше 30 - аридные климатические условия, а от 20 до 30 соответствует переходному климату) /1/. О палеоклимате эпохи накопления граувакковых комплексов может указывать отношение  $Na_2O/K_2O$ . Так, величина этого отношения меньше 3,5 свидетельствует о гумидных, а больше 3,5 - об аридных условиях /49/.

Нами также использовались отношения ( $K_2O/MgO$ ,  $K_2O/Al_2O_3$ ;  $\sum c+шз/Al_2O_3$ , где  $ш = Na+K$ , а  $шз = CaO+MgO$ ), благодаря которым можно подразделять глины по их минеральному составу /31/. Отношение  $Na_2O+K_2O/Al_2O_3$  (коэффициент Мидлтона) использовалось для оценки связи калия (K) с глинистыми минералами (если коэффи-

циент меньше 0,5) или с калиевыми полевыми шпатами (коэффициент больше 0,5).

Интересно рассмотреть влияние вулканизма на формирование пород исследуемых свит, так как в некоторых разностях (амфиболиты, амфиболовые сланцы) возможна примесь вулканогенного материала. Но кроме пирокластических продуктов вулканизма на химический и минеральный состав осадков влияет поствулканическая газовой-гидротермальная деятельность. Для выявления возможного эксгальтационного привноса элементов нами используется железо-марганцевый модуль ( $Fe+Mn / Ti$ ), предложенный Н.М.Страховым /114/. На основании большого материала было выяснено, что при отсутствии эксгальтационно привнесенных Fe и Mn величина модуля для осадочных отложений лежит в пределах  $(10-20) \pm 5$ , а повышенные и высокие значения говорят о присутствии в осадке эксгальтационного материала.

И в заключении определялся ассоциативный тип исследуемых углеродсодержащих пород, в соответствии с ассоциациями углеродистых отложений докембрия и фанерозоя, для чего использовалась диаграмма  $A-S-C$ , где  $A = Al_2O_3 - (CaO+K_2O+Na_2O)$ ,  $S = SiO_2 - (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + CaO+MgO)$ , выраженные в молекулярных количествах, и  $C = CaO+MgO$  (%) /35/.

### 1. Породы свиты хизовара

Комплекс метаморфических пород свиты хизовара подразделяется на шесть пачек. Наибольший интерес представляет III пачка свиты пестротой ее состава (сланцы, гнейсы, амфиболиты), наличием в составе пород высокоглиноземистых минералов (кванит, ставролит, гранат) и углеродистого вещества (см. приложение I). Остальные пачки свиты (I, II, IV, VI) представлены амфиболитами и в меньшей мере лейкократовыми биотитовыми и биотит-амфиболовыми гнейсами являются производными главным образом основных эффузивов /50 и др./.

Гнейсы и сланцы III пачки многими исследователями /12, 24, 29/ рассматриваются как первично-осадочные породы. Также первично-осадочными считаются и амфиболиты III пачки /33 и др./, что подтверждается расположением фигуративных точек амфиболитов на диаграмме  $CaO-Na_2O$  /134/ в поле осадочных (известково-глинистых) пород.

Мусковитовые и двуслюдяно-гранатовые сланцы и серые, темноселые мелкозернистые биотитовые и двуслюдяные гнейсы. Последние отличаются от сланцев присутствием в том или ином количестве полевого шпата. На диаграмме А.Н.Неелова /74/ (рис.46) фигуративные точки гнейсов ложатся в поле слабо и умеренно дифференцированных



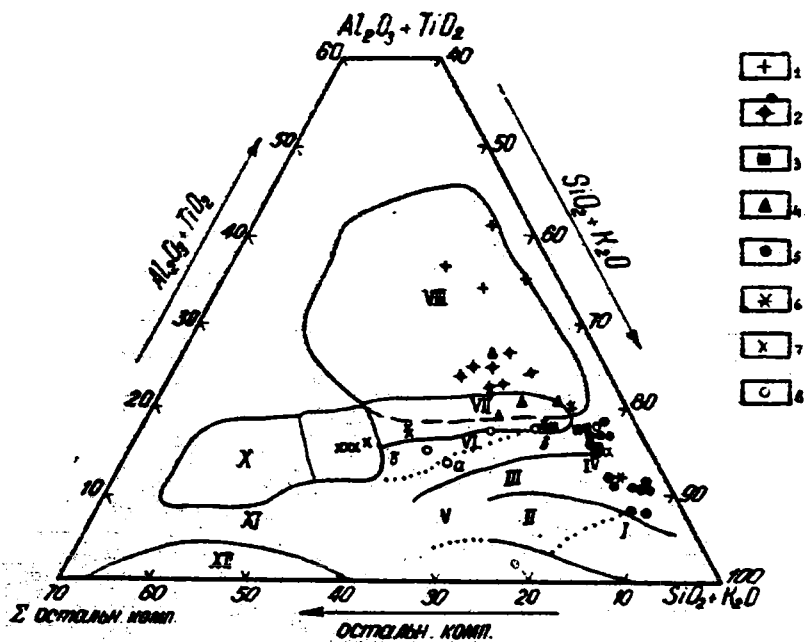


Рис. 46. Фигуративные точки пород свиты хизовара на диаграмме А.Н.Неелова /74/.

Поля: I - кварцевые песчаники, кварциты; II - олигомиктовые песчаники; III - полимиктовые песчаники; IV - аркозовые песчаники; V - известковые песчаники, железистые песчаники и др.; VI - слабо дифференцированные в химическом отношении осадки: а - преимущественно граувакки, б - преимущественно полимиктовые алевролиты, в - песчаники с глинистым цементом и континентальные глины холодного и умеренного климата; VII - умеренно дифференцированные в химическом отношении глины, морские, континентальные глины холодного и умеренного климата; VIII - сильно дифференцированные в химическом отношении глины гумидного климата; IX - карбонатные и железистые глины; X - мергели; XI - кремнистые мергели, железистые песчаники и др.; XII - железистые кварциты.

Условные обозначения: 1 - кианитовые сланцы, 2 - гранат-биотит-кианитовые гнейсы, 3 - ставролитовые сланцы, 4 - амфибол-биотит-кианитовые гнейсы, 5 - кианит-кварцевые сланцы, 6 - мусковитовые и двуслюдяные сланцы, 7 - параамфиболиты, 8 - биотитовые и двуслюдяные гнейсы.

## Нормативный минеральный состав пород III пачки свиты Кизовара

| Компоненты исходных пород      |                 | Радиально-лучистые кианитовые сланцы (4) | Кианит-кварцевые сланцы (14) | Гранат-биотит-кианитовые гнейсы (8) | Лиотит-амазонит-кианитовые гнейсы (4) |
|--------------------------------|-----------------|--|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Минеральные группы             | Минералы        | 1  | 2                            | 3                                   | 4                                     |
| Обломочная                     | Кварц           | <u>5,73-17,24</u>                        | <u>42,66-76,10</u>           | <u>6,20-27,01</u>                   | <u>10,77-37,85</u>                    |
|                                |                 | 11,93                                    | 60,75                        | 12,98                               | 27,39                                 |
|                                | Плагиоклаз      | <u>0,0-3,03</u>                          | <u>0,0-3,61</u>              | <u>1,07-28,30</u>                   | <u>0,0-21,17</u>                      |
|                                |                 | 1,60                                     | 0,72                         | 9,71                                | 7,06                                  |
| Ортоклаз                       | <u>0,0-0,49</u> | нет                                      | нет                          | нет                                 |                                       |
|                                | 0,12            |  |                              |                                     |                                       |
| Сумма                          |                 | 13,65                                    | 61,47                        | 22,69                               | 34,47                                 |
|                                | Глинистая       | Каолинит                                 | <u>56,30-86,12</u>           | <u>13,80-38,50</u>                  | <u>0,0-22,13</u>                      |
| 69,70                          |                 |  | 23,65                        | 5,63                                | 25,82                                 |
|                                | Гидро-слюда     | <u>0,0-11,35</u>                         | <u>1,39-8,86</u>             | <u>13,30-22,87</u>                  | <u>0,69-2,81</u>                      |
|                                |                 | 3,90                                     | 2,61                         | 19,14                               | 1,92                                  |
|                                | Монтмо-риллонит | <u>0,0-6,36</u>                          | <u>2,03-18,49</u>            | <u>0,0-58,11</u>                    | <u>16,10-28,79</u>                    |
|                                |                 | 3,61                                     | 4,91                         | 40,38                               | 23,52                                 |
|                                | Хлорит          | <u>0,0-2,43</u>                          | <u>0,0-3,76</u>              | <u>0,0-11,29</u>                    | <u>0,0-6,00</u>                       |
|                                |                 | 0,61                                     | 0,96                         | 3,36                                | 3,45                                  |
|                                | Серпентин       | нет                                      | нет                          | нет                                 | нет                                   |
|                                |                 | Сумма                                    | 77,82                        | 33,13                               | 68,51                                 |
| Железистая                     | Гетит           | <u>0,0-3,73</u>                          | <u>0,0-1,86</u>              | <u>0,0-2,30</u>                     | нет                                   |
|                                |                 | 0,97                                     | 0,30                         | 0,75                                |                                       |
| Карбонатная                    | Кальцит         | <u>0,0-1,32</u>                          | <u>0,0-4,81</u>              | <u>0,0-2,63</u>                     | <u>0,43-8,05</u>                      |
|                                |                 | 0,33                                     | 0,89                         | 0,36                                | 4,45                                  |
|                                | Доломит         | нет                                      | нет                          | <u>0,0-0,19</u>                     | нет                                   |
|                                |                 |  |                              | 0,02                                |                                       |
|                                | Анкерит         | <u>0,0-6,12</u>                          | <u>0,0-6,12</u>              | <u>3,08-8,54</u>                    | <u>1,70-7,60</u>                      |
|                                |                 | 2,32                                     | 3,03                         | 5,40                                | 4,14                                  |
|                                | Сидерит         | <u>0,0-7,99</u>                          | нет                          | <u>0,0-2,00</u>                     | нет                                   |
|                                |                 | 2,00                                     |                              | 0,48                                |                                       |
|                                | Сумма           | 4,64                                     | 3,92                         | 6,28                                | 8,59                                  |
|                                |                 | Углерод                                  | нет                          | <u>0,0-3,01</u>                     | <u>0,07-0,81</u>                      |
|                                |                 |  | 0,85                         | 0,36                                |                                       |
| Минералы титана, фосфора и др. |                 | <u>0,94-4,95</u>                         | <u>0,40-4,46</u>             | <u>1,17-1,53</u>                    | <u>1,75-3,04</u>                      |
|                                |                 | 2,92                                     | 1,26                         | 1,39                                | 2,24                                  |

Таблица 23 (продолжение)

| Компоненты исходных пород      |                  | Ставролит-содержащие сланцы (3) | Мусковитовые и двусланцевые (6) | Бiotитовые, двусланцевые гнейсы (5) | Параамфиболиты (4)          |
|--------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Минеральные группы             | Минералы         | 5                               | 6                               | 7                                   | 8                           |
| Однокристаллическая            | Кварц            | <u>37,34-52,63</u><br>47,53     | <u>31,42-60,58</u><br>46,75     | <u>20,00-46,05</u><br>31,01         | <u>17,64-27,19</u><br>23,77 |
|                                | Плагиоклаз       | <u>0,0-8,26</u><br>2,75         | <u>5-83-19,25</u><br>13,60      | <u>30,0-49,36</u><br>26,58          | <u>0,0-6,77</u><br>2,82     |
|                                | Ортоклаз         | нет                             | <u>0,0-14,95</u><br>2,70        | <u>0,0-6,35</u><br>2,30             | нет                         |
|                                | Сумма            | 50,28                           | 63,05                           | 59,89                               | 26,89                       |
|                                | Гипс-каолинит    | <u>17,77-33,28</u><br>26,51     | <u>0,83-12,94</u><br>7,82       | <u>0,0-17,40</u><br>6,29            | <u>0,0-9,23</u><br>3,70     |
| Глинистая                      | Гидро-сланца     | <u>1,42-4,4,37</u><br>2,89      | <u>5,90-25,83</u><br>19,23      | <u>1,36-17,14</u><br>10,15          | <u>2,03-8,63</u><br>4,20    |
|                                | Монтмо-риллионит | <u>2,09-25,63</u><br>10,65      | <u>0,0-28,13</u><br>5,83        | <u>0,0-22,90</u><br>6,58            | <u>0,0-21,82</u><br>12,54   |
|                                | Клорит           | <u>0,0-8,97</u><br>5,81         | нет                             | <u>0,0-17,38</u><br>3,48            | <u>20,56-38,83</u><br>31,84 |
|                                | Серпентин        | нет                             | нет                             | <u>0,0-4,22</u><br>0,84             | нет                         |
|                                | Сумма            | 45,86                           | 32,88                           | 27,34                               | 52,28                       |
| Лептосидеритовая               | Лептосидерит     | <u>0,30-5,80</u><br>2,19        | <u>0,0-1,73</u><br>0,29         | <u>0,0-9,25</u><br>1,85             | нет                         |
|                                | Карбонатная      | нет                             | <u>0,0-1,43</u><br>0,44         | <u>0,0-9,20</u><br>2,43             | <u>13,48-17,94</u><br>15,78 |
| Доломитовая                    | Доломит          | нет                             | нет                             | <u>0,0-10,37</u><br>4,74            | нет                         |
|                                | Анкерит          | <u>0,0-1,45</u><br>0,82         | <u>0,0-5,94</u><br>2,65         | <u>0,0-5,13</u><br>1,46             | <u>1,73-4,59</u><br>2,91    |
|                                | Сидерит          | нет                             | нет                             | <u>0,0-6,15</u><br>1,23             | нет                         |
|                                | Сумма            | 0,82                            | 3,09                            | 9,86                                | 18,69                       |
|                                | Углерод          | нет                             | нет                             | <u>0,0-0,38</u><br>0,08             | <u>0,0-0,10</u><br>0,05     |
| Минералы титана, ванадия и др. |                  | <u>0,80-0,89</u><br>0,84        | <u>0,47-1,19</u><br>0,70        | <u>0,71-4,67</u><br>1,69            | <u>1,22-3,60</u><br>2,09    |

### Примечание к таблице 23

Вероятные типы исходных отложений:

1. Каолинитовая глина с кварцевым материалом.
2. Глинистый кварцевый песчаник.
3. Песчанистая глина.
4. Карбонат-песчаная глина.
5. Глинистый кварцевый песчаник.
6. Глинистый, существенно кварцевый песчаник.
7. Глинистый полевошпатовый песчаник.
8. Карбонат-песчано-глинистая порода.

Пересчеты произведены по методике О.М.Розена /84/.

Термины "песчаник", "песчаный" используются здесь и далее для простоты изложения, фактически в равной мере вероятны и алевритовые исходные породы.

В скобках количество проанализированных образцов. В числителе - пределы колебаний, в знаменателе - средние значения.

осадков. На диаграмме FA они попадают также в поле граувакк, суб-граувакк и в поле глин. Мусковитовые и двуслюдяные сланцы на этих же диаграммах ложатся в поле аркозовых песчаников, а также глин (см. рис.46).

Данные литохимических пересчетов (табл.23, п.6-7) указывают, что исходными породами сланцев и гнейсов были глинистые алевролиты, песчаники, в которых обломочная часть состояла из кварца и полевого шпата (чаще всего кислые плагиоклазы), а глинистая - была представлена гидрослюдами, монтмориллонитом, реже каолинитом, хлоритом. Это подтверждается и расположением фигуративных точек этих пород на диаграмме АКМ. Две точки на диаграмме резко смещены в сторону  $MgO$ , что, возможно, свидетельствует о наличии в исходном составе каких-то высокомагнезиальных минералов (хлорит, серпентин) или указывают на присутствие в исходном осадке вулканогенного материала основного состава. Величины ряда индикаторных отношений (табл. 24) указывают на относительно слабую интенсивность химического выветривания исходного вещества, на возможное присутствие полевошпатового, главным образом, плагиоклазового материала.

Такие породы (песчаники с глинистым цементом, глинистые алевролиты), по-видимому, могли формироваться в условиях умеренного, влажного климата (присутствие гидромусковита, каолинита) и относительно спокойной палеотектонической обстановки при относительно расчлененной области сноса, откуда могли поступать обломочные по-

роды, иногда существенно послевошпатового состава.

Параамфиболиты в газрезе III пачки свиты переслаиваются с гранат-биотит-кианитовыми гнейсами, гранат-ставролитовыми, кианит-кварцевыми сланцами, то есть с породами породами первично-осадочного происхождения. Литохимический пересчет анализов параамфиболитов (см. табл. 23, п. 8) показал, что они первоначально представляли собой карбонат-алевролит-глинистые осадки (песчанистый мергель) и, по-видимому, являются производными кор выветривания, развитых на основных породах. Аналогичные результаты получены и О.В. Горбачевым /33/. Значения ряда отношений  $Al_2O_3/SiO_2$ ,  $Al_2O_3/Na_2O$ ,  $Al_2O_3/K_2O$  и др. (см. табл. 24) говорят о невысокой зрелости первичных осадков и возможном присутствии в них вулканогенного материала.

Другая группа пород III пачки — биотит-амфибол-кианитовые и гранат-биотит-кианитовые гнейсы, содержат повышенные количества  $Al_2O_3$  (18–25%) и одновременно относительно высокие содержания щелочей и щелочно-земельных элементов (6,60–12,51% в среднем (9,01%) для гранат-биотит-кианитовых гнейсов и 5,10–8,93%, в среднем (7,44%) для биотит-амфибол-кианитовых гнейсов). Кремневый модуль этих гнейсов (см. табл. 24) отвечает значениям модуля глин (0,27–0,37). На диаграмме А.Н. Неелова /74/ (см. рис. 46) эти гнейсы попадают в поле умеренно и сильно дифференцированных в химическом отношении глин, а на диаграмме ГА в поле перекрытия гидроследистых и монтмориллонитовых глин.

Данные литохимических пересчетов (табл. 22, п. 3–4) подтверждают полученные результаты. Так, относительно высокое положение точек гранат-биотит-кианитовых гнейсов на диаграмме А.Н. Неелова (см. рис. 46) объясняется более глинистым (в среднем 68,51%) составом первичных осадков, а более низкое положение на диаграмме ГА — преимущественно гидроследисто-монтмориллонитовым составом. Положение точек биотит-амфибол-кианитовых гнейсов на указанных диаграммах (см. рис. 46) объясняется, с одной стороны, более значительной примесью обломочной составляющей (в среднем 33,34%) и, с другой, присутствием в исходном составе каолинистых глин (см. табл. 23, п. 3–4). На возможность присутствия в первичном осадке этих гнейсов монтмориллонитовых и каолинистых глин указывают и значения ряда индикаторных отношений (см. табл. 24). В то время, как для гранат-биотит-кианитовых гнейсов значения тех же отношений (см. табл. 24) свидетельствуют о гидроследисто-монтмориллонитовом составе исходного осадка. Это подтверждается и расположением

Таблица 24

## Индикаторные отношения в породах свиты хизовара

| №/п  | Порода                               | Степень зрелости осадка<br>( $Al_2O_3/SiO_2$ )   | Интенсивность химического выветривания  |                 |
|--|--------------------------------------|--|---|-----------------|
|  |                                      |  | $Al_2O_3/Na_2O$   | $K_2O/Na_2O$    |
| 1.   | Мусковитовые сланцы (6)              | 0,15-0,28(0,21)  | 7,5-20,6  | 4,2-0,3(2,6)    |
| 2.   | Бiotитовые гнейсы (5)                | 0,21-0,26(0,24)  | 2,8-38,3  | 0,27-2,72(0,8)  |
| 3.   | Параамфиболиты (4)                   | 0,26-0,33(0,29)  | 11,2-27,1(21,7)   | 0,29-2,04(0,81) |
| 4.   | Амфибол-биотит-кианитовые гнейсы (4) | 0,28-0,39(0,31)  | 7,4-41,6(21,3)  | 0,12-0,51(0,23) |
| 5.   | Гранат-биотит-кианитовые гнейсы (8)  | 0,34-0,42(0,38)  | 6,07-16,30(10,30)   | 0,55-1,84(1,21) |
| 6.   | Кианитовые сланцы (4)                | 0,56-0,73(0,63)  | 55,4-340,8(194,1)   | 0,45-5,32(1,77) |
| 7.   | Ставролит-гранатовые сланцы (3)      | 0,22-0,24(0,23)  | 11,8-424,2(202,3)   | 0,33-3,70(2,43) |
| 8.   | Кианит-кварцевые сланцы (14)         | 0,08-0,23(0,15)  | 10,0-293,0(98,2)  | 0,45-2,60(1,40) |
| Индикаторные отношения в осадочных породах |                                      | Глины: 0,27-0,37<br>Алевриты, песчаники: 0,07-0,20<br>Граувакки: 0,23<br>Глины жаркого, влажного климата: 0,56 | 30 > низкая < 8<br>30-60 средняя 8-15<br>60-150 высокая 15-30<br>150 очень высокая 30 |                 |

Таблица 24 (продолжение)

Индикаторные отношения в породах свиты хизовара.

| №№<br>п/п  | Генетический тип глин                      |                                 |  | Коэффициент<br>Мидлтона<br>( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) | Фашиальные<br>условия<br>( $\text{CaO}+\text{MgO}/\text{SiO}_2$ )            | Эксплятивный<br>привнос элементов<br>( $\text{Fe}+\text{Mn}/\text{Ti}$ ) |
|--|--|---------------------------------|--|---|--|--|
|  | $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{K}_2\text{O}/\text{MgO}$ | $\Sigma\text{щ}+\text{щз}/\text{Al}_2\text{O}_3$ |   |  |  |
| 1.   | 0,17                                       | 4,32                            | 0,39   | 0,26  | 0,027  | 4,00-8,64  |
| 2.   | 0,098                                      | 1,97                            | 0,76   | 0,29  | 0,108  | 4,73-15,68   |
| 3.   | 0,04                                       | 0,09                            | 1,11   | 0,08  | -  | 6,61-17,63   |
| 4.   | 0,014                                      | 0,20                            | 0,37   | 0,09  | 0,085  | 1,33-13,56   |
| 5.   | 0,10                                       | 1,27                            | 0,40   | 0,20  | 0,074  | 3,25-8,48  |
| 6.   | 0,014                                      | 1,78                            | 0,058  | 0,02  | 0,023  | 2,16-8,10  |
| 7.   | 0,02                                       | 0,30                            | 0,37   | 0,05  | 0,022  | 13,40-17,24  |
| 8.   | 0,02                                       | 0,90                            | 0,19   | 0,04  | 0,022  | 0,53-10,78   |
| Глины каолиновые<br>0,01-0,04   I, I-2,3   0,04-0,11<br>Глины гидрослюдистые<br>0,14-0,21   I,0-2,6   0,30-0,60<br>Глины монтмориллонитовые<br>0,02-0,11   0,1-0,4   0,40-0,50 |  |                                 |  | К связан с гли-<br>нами < 0,5;<br>К связан с кали-<br>евыми полевыми<br>шпатами > 0,5.        | Глины жаркого<br>влажного кли-<br>мата; 0,028.<br>Пески гумид-<br>ные: 0,030 | Больше 25 наличие<br>эксплятивного<br>привноса                           |

точек данных гнейсов на диаграмме АКМ.

На основании всего вышесказанного и исходя из значений титанового модуля ( $TiO_2/Al_2O_3$ ), равного в среднем 0,05 (биотит-амфибол-кварцитовые гнейсы) и 0,043 (гранат-биотит-кварцитовые гнейсы), можно предполагать, что палеоклимат той эпохи был умеренный гумидный, а продукты выветривания были связаны с размыром пород основного состава.

Присутствие в составе III пачки кварцитовых сланцев, содержащих повышенные количества  $Al_2O_3$  (до 30-39%) и незначительные количества щелочных и щелочно-земельных элементов (1,09-3,90) свидетельствуют, по-видимому, о наличии в разрезе дометаморфических пород III пачки осадков типа каолинистых глин.

На диаграмме А.Н.Неелова (см.рис.46) анализы этих сланцев попадают в поле сильно дифференцированных в химическом отношении глин гумидного климата, причем точка средних содержания (по 4 анализам) располагается даже выше, чем точка средних составов континентальных глин влажного и жаркого (тропического) климата. О существенно каолинистом составе глин исходного осадка говорят и результаты литохимических пересчетов (см.табл.23, п.1). Величина кремневого модуля кварцитовых сланцев колеблется в пределах значений 0,56-0,73, что даже несколько выше значения данного модуля (0,56) для континентальных глин гумидного климата /88/, и характерно для глин каолинистовой группы. Величина титанового модуля (0,039) также может свидетельствовать о глубоком химическом выветривании, так как значение его лежит ближе всего к значению модуля для континентальных глин жаркого, влажного климата (0,041). Поскольку это отношение может дать представление о вероятном составе пород области сноса /31/, то значения этого модуля (0,024-0,054, в среднем 0,037) позволяют предположить, что выветриваемые породы в области сноса были представлены породами типа гранодиоритов, для которых средняя величина модуля равна 0,036-0,039 (рассчитано по данным А.П.Лисицына /56/ и др.).

Весьма малые значения отношений  $K_2O/Al_2O_3$ ,  $Na_2O/Al_2O_3$ ,  $K_2O+Na_2O/Al_2O_3$  (см.табл.24) свидетельствуют о том, что Al и K в основном связаны с глинистыми минералами, а не с полевыми шпатами, что подтверждается и литохимическими пересчетами (см.табл.23, п.1). Отличительной чертой данных сланцев является незначительное (1,09-3,90%) количество окислов щелочных и щелочноземельных элементов. Несколько повышенное содержание суммы этих элементов



(3,90%) в одном образце объясняется присутствием в исходном осадке примеси глин гидрослюдистой группы, на что указывает литохимический пересчет данного анализа (10,80% гидрослюдистых глин), а высокое значение  $K_2O/MgO = 4,38$  дает возможность предположить, что примесь в данном образце была представлена гидромусковитом, который относительно устойчив даже в условиях каолинового выветривания.

Для кианитовых сланцев величина индикаторного отношения  $Al_2O_3/Na_2O$  колеблется от 55 до 341, составляя в среднем 194, что свидетельствует об очень высокой зрелости вещества пород /1/.

О глубоком химическом выветривании и спокойной палеотектонической обстановке в период формирования исходных осадков может свидетельствовать и присутствие в разрезе кианит-кварцевых-сланцев, кремневый модуль которых составляет в среднем 0,15, что достаточно близко к значению этого модуля для песков и алевролитов (0,14) гумидного климата /88/. Повышенное значение модуля объясняется значительным количеством глиноземистых минералов в существенно кварцевых песчаниках. Литохимический пересчет анализов этих сланцев показал (см. табл. 28, п. 2), что первоначально это, по-видимому, были кварцевые песчаники со значительной примесью глинистого, главным образом, каолинитового материала. Такие породы образуются вблизи каолиновых кор выветривания, развитых на кислых кристаллических породах. Так, кварцевые пески и песчаники банерозоя, сформировавшиеся недалеко от каолиновых кор выветривания, всегда содержат значительную примесь каолинита /93/. По среднему значению титанового модуля (0,070) эти породы относятся к прибрежно-морским отложениям.

На диаграмме А.Н.Неелова (см. рис. 46) точки данных сланцев протягиваются полосой от поля кварцевых песчаников до поля глилн гумидного климата.

На диаграмме ГА данные анализы попадают либо в высокоглинистые песчаники, либо лежат между полями песчаников и каолиновых глилн, что характерно для кварцевых песчаников, содержащих в кремнеземистом цементе серицит, каолинит /82/. На то, что в данных сланцах присутствовал первоначально именно каолинит, указывает и положение точек данных сланцев на диаграмме АКМ и на гистограмме А.А.Предовского /82/. В этих диаграммах исключено влияние  $SiO_2$ , содержание которого в качестве кварцевой примеси является преобладающим в данных сланцах.

Таким образом, данные сланцы также по всем параметрам являются производными каолиновых кор выветривания и первоначально, по-видимому, были представлены кварцевыми песчаниками со значительной примесью каолинитовой глины.

Производными переотложенных продуктов каолиновых кор выветривания являются и ставролитовые, гранат-ставролитовые сланцы, имеющие повышенные содержания  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и Fe и пониженные - щелочных и щелочно-земельных элементов ( в среднем 2,48%). На диаграмме А.Н.Неелова (см.рис.46) данные сланцы попадают в поле песчаников с глинистым цементом, а на диаграмме FA в поле монтмориллонитовых и гидрослюдистых глин вблизи поля каолинитовых глин. Литохимический пересчет данных сланцев (см.табл.23, п.5) показал, что в глинистой части пород, наряду с каолинитом, присутствовали монтмориллонит, гидрослюда, хлорит.

Значения отношений  $K_2O/MgO$  и  $K_2O/Al_2O_3$  (см.табл.24) также указывают на возможность присутствия как каолинитовых, так и монтмориллонитовых глин. На диаграмме АГК точки сланцев располагаются между полями каолинитовых и монтмориллонитовых глин, хотя и сдвинуты несколько в сторону каолинитовых глин, а на гистограмме А.А.Предовского /82/ они попадают в поле каолинитовых глин. В общем, исходными осадками данных сланцев, по-видимому, были глинистые кварцевые песчаники, где глинистая часть была представлена в основном каолинитом с примесью монтмориллонитовых, хлоритовых и гидрослюдистых компонентов. Значения отношений  $Al_2O_3/Na_2O$  (до 424) свидетельствуют об очень высокой интенсивности химического выветривания материнских пород.

По значениям карбонатного модуля исследуемые породы разбиваются на две группы. В I группу попадают породы, содержащие небольшие значения карбонатного модуля 0,023 (кианитовые сланцы), 0,022 (ставролитовые), 0,022 (кианит-кварцевые) и 0,027 (мусковитовые), что весьма близко к значениям этого модуля в континентальных каолинистых глинах жаркого и влажного климата (0,028), а также континентальных песках Русской платформы (0,030).

Вторая группа пород имеет более высокие значения карбонатного модуля: гранат-биотит-кианитовые гнейсы (0,074), биотит-амфибол-кианитовые гнейсы (0,085), биотитовые и двуслюдные гнейсы (0,108), что относительно близко к значениям данного модуля для прибрежно-морских глин Русской платформы (0,104) или для континентальных глин (0,088) (рассчитано по данным /86/).

Поскольку первично-осадочные отложения III пачки тесно ассоциируют с метаморфизованными основными вулканитами /39,50/, представляется интересным на основании анализа величин отношения  $Fe+Mn/Ti$  определить влияние эксгальвативного привноса элементов в период формирования этой пачки. Величины значений данного модуля для всех типов пород III пачки (см. табл. 24) не превышают критической величины этого модуля для собственно осадочных пород (10-20<sup>±</sup>5), что свидетельствует об отсутствии влияния эксгальвативного материала на формирование осадков свиты хизовара.

На основании реконструкции исходных отложений III пачки свиты были построены восстановленный разрез (рис. 47) и продольный палеолитологический профиль (рис. 48), на которых видна ритмичность осадконакопления. Так, I и II ритм (подпачка IIIa, IIIб) начинается глинистыми (каолинит-гидрослюдистыми) существенно кварцевыми песчаниками (мусковитовые сланцы), а заканчиваются песчаными глинами каолинит-гидрослюдисто-монтмориллонитового состава (гранат-биотит-кцианитовые гнейсы). В III ритм, вероятно, можно включить подпачки IIIв и IIIг, тогда он также начинается с глинистых песчаников, как и два предыдущих, и вверх увеличивается количество глинистого (существенно каолинитового) вещества, но кончается он полимиктовыми песчаниками (см. рис. 47, 48).

Палеобассейн седиментации, по-видимому, был мелководный, на что указывают часто линзовидные формы залегания пород, не выдержанность пластов по горизонтали, а также сочетание в разрезе существенно кварцевых песков и каолинитовых глин.

В составе III пачки свиты имеются два типа углеродсодержащих пород: гнейсы и сланцы. Для отнесения их к определенному ассоциативному типу углеродистых отложений докембрия и фанерозоя используем диаграмму *ASC* (рис. 49). Фигуративные точки гранат-биотит-кцианитовых гнейсов ложатся в поле углеродисто-терригенной ассоциации, сдвигаясь в нижней части диаграммы в сторону углеродисто-карбонатной ассоциации, что, по-видимому, свидетельствует о значительной примеси в этих породах минералов, содержащих  $CaO$  и  $MgO$  в данном случае - монтмориллонитовых глин (см. табл. 23, п. 3). Углеродсодержащие кцианит-кварцевые сланцы лежат, в большинстве своем, в поле углеродисто-кремнистой ассоциации, но значительная часть точек смещена в сторону углеродисто-терригенной ассоциации, что, в общем-то, объясняется иногда заметным присутствием в данных сланцах глинистой составляющей.

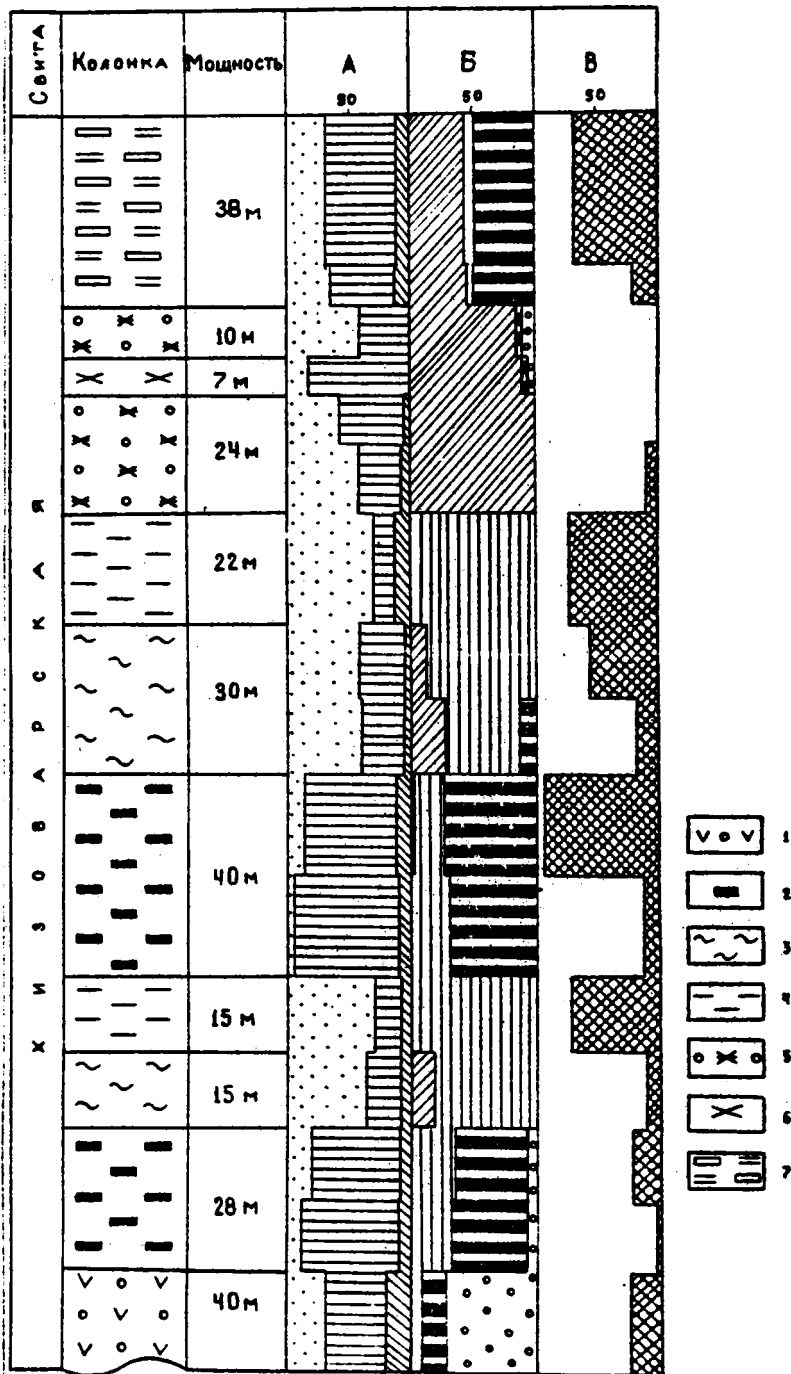


Рис. 47. Восстановленный разрез центральной части III пачки свиты хизовара.

Условные обозначения к рисунку 47.

1. - гранатовые амфиболиты, 2 - гранат-биотит-клянитовые гнейсы, 3 - мусковитовые, гранат-мусковитовые сланцы, 4 - биотитовые гнейсы, 5 - клянит-кварцевые сланцы, 6 - клянитовые сланцы, 7 - амфибол-биотит-клянитовые гнейсы.

А-соотношение песчаной, глинистой и карбонатной фракций в первичных породах:



Б-соотношение различных минеральных видов глин в глинистой фракции



В-соотношение кварца и полевых шпатов в песчаной фракции:



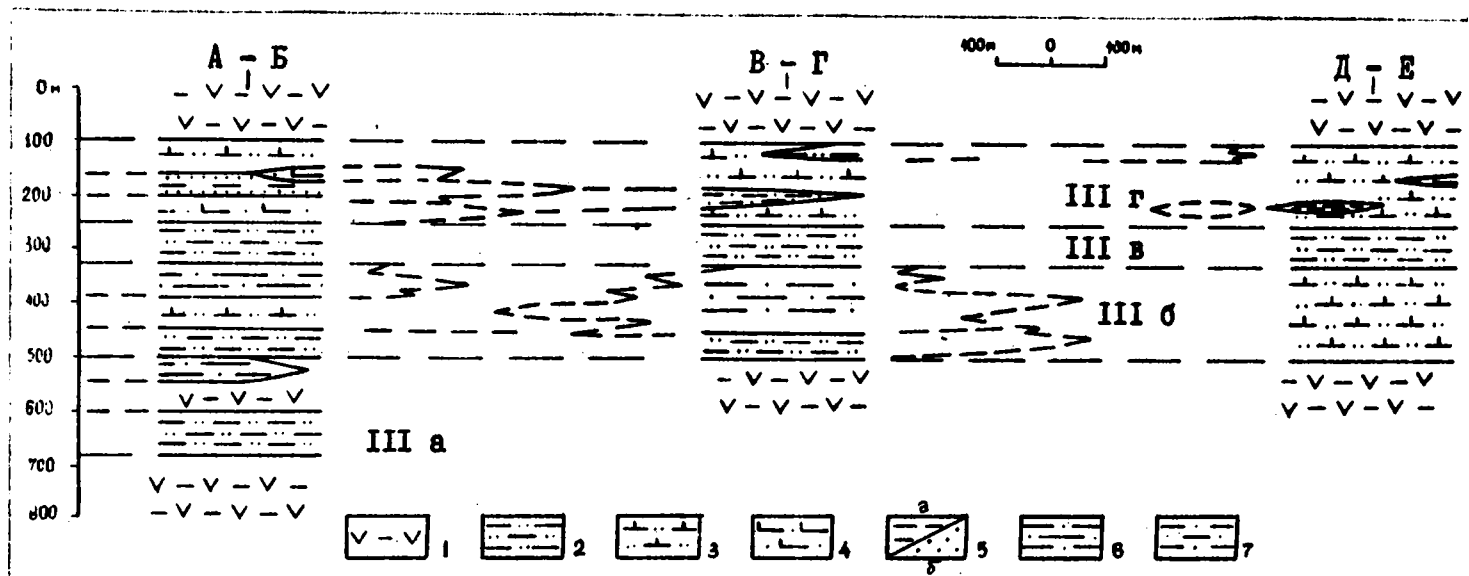


Рис.48. Схематический продольный палеолитологический профиль III пачки.

1 - амфиболиты, 2 - глинистые (каолинит-гидрослюдистые), существенно кварцевые песчаники (мусковитовые, гранат-мусковитовые сланцы), 3 - глинистые полимиктовые песчаники (биотитовые гнейсы), 4 - песчаные (существенно кварцевые) глины (монтмориллонит-каолинитовые) (биотит-амфибол-кианитовые гнейсы) 5а - каолинитовые глины с кварцем (кианитовые сланцы), 5б - каолинит-кварцевый песчаник (кианит-кварцевые сланцы), 6 - песчаные глины (каолинит-гидрослюдисто-монтмориллонитовые) (гранат-биотит-кианитовые гнейсы), 7 - глинистые (монтмориллонит-каолинитовые) кварцевые песчаники (ставролит-гранатовые сланцы).

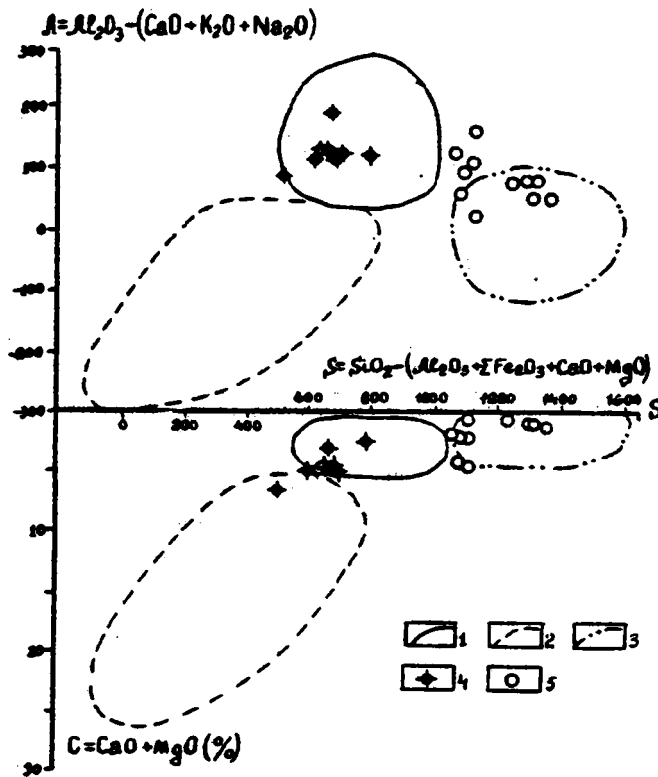


Рис. 49. Углеродсодержащие породы свиты хизовара на диаграмме *ASC*.

1 - углеродисто-терригенная ассоциация, 2 - углеродисто-карбонатная ассоциация, 3 - углеродисто-кремнистая ассоциация, 4 - гранат-биотит-кварцевые гнейсы, 5 - кварцит-кварцевые сланцы.

Таким образом, исходные отложения свиты хизовара сформировались в условиях теплого, иногда жаркого, влажного палеоклимата и относительно спокойной тектонической обстановки. Область сноса была, по-видимому, сложена в основном породами среднего - основного состава, на которых были развиты коры химического выветривания, причем выветривание пород иногда достигало каолинитовой стадии. Отложение осадков происходило вблизи или в некотором удалении от кор выветривания в относительно небольшом, возможно, пресноводном континентальном палеобассейне, в котором были развиты простейшие организмы

## 2. Породы серии кейв

В пачке А, начинающей разрез серии, наблюдаются два типа сланцев: гранат-мусковитовые и ставролит-гранатовые.

Гранат-мусковитовые сланцы по величинам индикаторных отношений (табл.25) и соотношению  $SiO_2$  (77,60%) и  $\Sigma_{ш+щз}$  (3,89%) относятся к существенно кварцевым песчаникам, где глинистая часть породы была, видимо, представлена главным образом гидрослюдистыми глинами гидромусковитового ряда, причем  $Al_2O_3$  и  $K_2O$  в большинстве случаев были связаны именно с глинистыми минералами. Химическая зрелость исходного материала была сравнительно высокой (см.табл.25), что подтверждает и преобладание К среди щелочных и щелочно-земельных элементов, а содержание  $Na+Ca$  весьма незначительное ( $\Sigma Ca + Na = 1,20$ ). На диаграмме А.Н.Неелова /74/ (рис.50) эти сланцы попадают в поле аркозовых песчаников, что, видимо, связано с относительно высоким содержанием  $K_2O$  (2,06%). Литохимический пересчет гранат-мусковитовых сланцев (табл.26, п.1) также показал, что первоначально это были кварцевые песчаники, в которых значительную роль играли гидрослюдистые глины. Это подтверждается и положением фигуративных точек на диаграмме АК1 (рис.51), где они располагаются вблизи поля гидрослюдистых глин.

Вышележащие ставролит-гранатовые сланцы по соотношению основных компонентов ( $SiO_2=67,22\%$ ,  $Al_2O_3=16,99\%$ ,  $FeO_{сум}=11,29\%$ ,  $\Sigma_{ш+щз}=1,94$ ) первоначально могли быть существенно кварцевым глинистым осадком с заметной примесью железосодержащих или железистых минералов. На диаграмме А.Н.Неелова (см.рис.50) данные сланцы попадают в поле умеренно дифференцированных в химическом отношении глин. Величины ряда отношений (см.табл.25) сви-



## Индикаторные отношения в породах серии кейв

| Порода                                     | Степень зрелости осадка  | Интенсивность химического выветривания  |              | Генетический тип глин   |            |                       |
|--|--|---|--------------|---|------------|-----------------------|
|  | $Al_2O_3/SiO_2$  | $Al_2O_3/Na_2O$   | $K_2O/Na_2O$ | $K_2O/Al_2O_3$  | $K_2O/MgO$ | $\Sigma щ+щз/Al_2O_3$ |
| Гранат-мусковитовые сланцы (I2)            | 0.13   | 33  | 6.4          | 0.20  | 3.3        | 0.37                  |
| Ставролит-гранатовые сланцы (I2)           | 0.25   | 81  | 0.66         | 0.008   | 0.16       | 0.11                  |
| Филлитовидный сланец (I)                   | 0.40   | 20  | 4.25         | 0.21  | -          | 0.28                  |
| Кианитовые сланцы (I6)                     | 0.44-0.53  | 72-372  |              | 0.008-0.03  | 1.4-3.6    | 0.02-0.14             |
| Кианит-ставролитовые плагиосланцы          | 0.51-0.59  | 16-38   | 1.03-1.74    | 0.05-0.06   | 2.30-3.08  | 0.10-0.18             |
| Мусковитовые кварциты                      | 0.04   | 12-18   | 2.5-3.7      | 0.21  | 4-7        | 0.40                  |
| Мусковит-кварцевые сланцы (2)              | 0.11   | 21.5  | 2.0          | 0.09  | 4.94       | 0.27                  |
| Плагиоклаз-ставролитовые сланцы (I)        | 0.38   | 10  | 0.74         | 0.07  | 2.24       | 0.26                  |
| Кианит-ставролитовые сланцы (I0)           | 0.39   | 13.35   | 0.90         | 0.07  | 2.04       | 0.21                  |
| Индикаторные отношения в осадочных породах | Глины: 0.27-0.37; глевролиты, песчаники: 0.07-0.20; глины жаркого влажного климата: 0.56 | 30 > низкая < 8<br>30-60 средняя 8-15<br>60-150 высокая 15-30<br>150 < очень высокая > 30 |              | глины каолинитовые<br>0.01-0.04   1.1-2.3   0.04-0.11<br>глины гидрослюдистые<br>0.14-0.21   1.0-2.6   0.30-0.60<br>глины монтмориллонитовые<br>0.02-0.11   0.1-0.4   0.40-0.50 |            |                       |

Таблица 25 (продолжение)

## Индикаторные отношения в породах серии кейв

| Порода                                     | Коэффициент Мид-лтона<br>( $N_{a_2O+K_2O}/Al_2O_3$ )                  | Фациальные условия<br>( $CaO+MgO/SiO_2$ )                      | Эксплазивный привнос элементов<br>( $Fe+Mn/Ti$ ) |
|--|---|--|--|
| Гранат-мусковитовые сланцы (I2)            | 0.23  | 0.019  | 22.26  |
| Ставролит-гранатовые сланцы (I2)           | 0.02  | 0.024  | 15.94  |
| Филлитовидный сланец                       | 0.26  | 0.006  | 4.25   |
| Кианитовые сланцы (I6)                     | 0.013-0.043   | 0.006-0.013  | 1.52-5.04  |
| Кианит-ставролитовые плагиосланцы          | 0.07-0.12   | 0.017-0.028  | 2.22-2.60  |
| Мусковитовые кварциты                      | 0.26-0.29   | 0.006-0.007  | 2.00   |
| Мусковит-кварцевые сланцы (2)              | 0.14  | 0.014  | 5.47   |
| Плагиоклаз-ставролитовые сланцы (I)        | 0.17  | 0.032  | -  |
| Кианит-ставролитовые плагиосланцы (I0)     | 0.14  | 0.027  | 3.34   |
| Индикаторные отношения в осадочных породах | К связан с глинами < 0.5; К связан с калиевыми полевыми шпатами > 0.5 | Глины жаркого, влажного климата: 0.028. Пески гумидные: 0.030. | > 25 наличие эксплазивного привноса              |

Индикаторные отношения рассчитаны по данным И.В.Велькова и др. /6/ и автора.

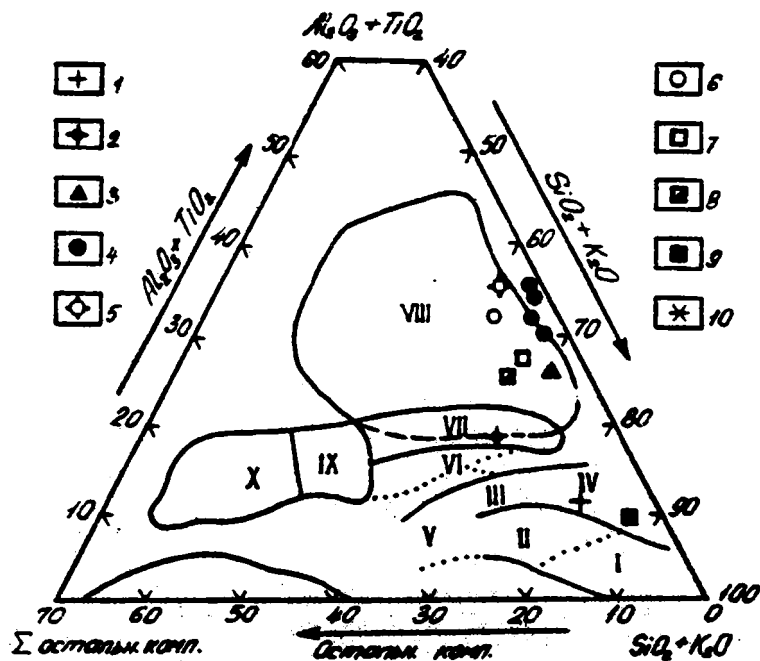


Рис. 50. Фигуративные точки пород серии кейв на диаграмме А.Н.Неелова /74/.

Поля: I - кварцевые песчаники, кварциты; II - олигомиктовые песчаники; III - полимиктовые песчаники; IV - аркозовые песчаники; V - известковистые железистые песчаники; VI - слабодифференцированные в химическом отношении осадки: а - преимущественно граувакки, б - преимущественно полимиктовые алевролиты, в - песчаники с глинистым цементом и континентальные глины холодного и умеренного климата; VII - умеренно дифференцированные в химическом отношении глины, морские, континентальные глины холодного и умеренного климата; VIII - сильно дифференцированные в химическом отношении глины гумидного климата; IX - карбонатные и железистые глины; X - мергели; XI - кремнистые мергели, железистые песчаники; XII - железистые кварциты.

Сланцы. Пачка А: I - гранат-мусковитовые, 2 - ставролит-гранатовые. Пачка Б: 3 - феллитовидные, 4 - клинцовые различных морфологические типов, 5 - ставролит-клинцовые, 6 - ставролит-клинцовые плагиосланцы. Пачка Г: 7 - порфиробластические клинцит-ставролитовые, 8 - порфиробластические плагиоклаз-ставролитовые, 9 - мусковит-кварцевые сланцы. Пачка В: 10 - мусковитовые кварциты.

детальнее, что Al и K в этих сланцах связаны с глинистыми минералами, которые видимо были представлены каолинитом, монтмориллонитом и хлоритом, о последних говорят высокая железистость сланцев ( $F=0,88$ ), а также резкое преобладание  $MgO$  над  $K_2O$ . Литохимический пересчет ставролит-гранатовых сланцев (см. табл. 26, п. 2) показал, что исходными отложениями могли быть кварцевые глины, причем пелитовая составляющая осадка представляла собой смесь монтмориллонита, высокожелезистого хлорита ( $0,47 MgO \cdot 3,83FeO \cdot 1,48Al_2O_3 \cdot 2,74 SiO_2$ ) и каолинита. Исходным материалом для подобного типа отложений, по-видимому, служили верхние части (кираса) существенно каолинитовой коры выветривания. Фигуративная точка среднего состава этих сланцев на диаграмме АКd (см. рис. 51) попадает между полями каолинитовых и монтмориллонитовых глин, тяготея к полю каолинитовых глин.

Значения титанового модуля ( $TiO_2:Al_2O_3$ ) гранат-мусковитовых и ставролит-гранатовых сланцев (0,036 и 0,055 соответственно), видимо, объясняются присутствием аксессуарных титановых минералов в исходных песчаных породах. Значения карбонатного модуля (0,019 и 0,024) (см. табл. 25) лежат ближе всего к значениям карбонатного модуля для континентальных песков (0,028) (рассчитано по данным /86/.

Все сланцы пачки А в той или иной мере содержат углеродистое вещество (0,03–0,51%С), причем в некоторых прослоях сланцев содержание  $C_{орг}$  достигает 1–2%.

Пачка Б полностью сложена высокоглиноземистыми кристаллическими сланцами (см. приложение II). Начинается она феллитовидными серицитовыми сланцами с переменным количеством ксанита, которые являются переходными от сланцев пачки А к сланцам пачки Е. По данным кремневого модуля (0,40) феллитовидные сланцы лежат ближе к континентальным гумидным глинам (0,37). При незначительных количествах  $CaO+MgO$  (0,40–0,83%) весьма резко выделяется содержание  $K_2O$  (5,23–6,97%) ( $K_2O/MgO = 25,8$  по 2 анализам),  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . Таким образом, судя по химическим анализам, первоначально это были какие-то глинистые алевролиты, причем глинистая часть, по-видимому, была представлена, главным образом, каолинитом или даже гиббситом. В то же время обломочная часть, возможно, была олигомиктовой, то есть наряду с кварцем присутствовали полевые шпаты.

## Нормативный минеральный состав пород серии кельв

| Компоненты исходных пород             |                | Типы метаморфических пород    |                                  |                                     |   |                                   |  |
|---------------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|--|
|                                       |                | Пачка А                       |                                  | Пачка Б                             |   |                                   |  |
| Минеральные группы                    | Минералы       | Слюдяно-гранатовые сланцы (5) | Ставролит-гранатовые сланцы (12) | Филлитовидный сланец с кианитом (1) | Крупноконкреционные параморфические кианитовые сланцы (7) | Сноповидно-волокнистые сланцы (6) | Мелкопараморфические ставролит-кианитовые сланцы (7) |
|                                       |                | 1                             | 2                                | 4                                   | 5   | 6                                 | 7  |
| Обломочная                            | Кварц          | 58,75                         | 41,97                            | 14,66                               | 20,05   | 19,12                             | 21,50  |
|                                       | Плагиоклаз     | 1,58                          | -                                | 11,25                               | 0,45  | 3,11                              | 2,89   |
|                                       | Ортоклаз       | -                             | -                                | 30,19                               | -   | -                                 | -  |
|                                       | Сумма          | 60,34                         | 41,97                            | 56,10                               | 20,50   | 22,23                             | 24,39  |
| Глинистая                             | Каолинит       | 4,13                          | 24,76                            | 40,64                               | 72,73   | 68,83                             | 60,09  |
|                                       | Гидрослюда     | 21,35                         | 1,41                             | -                                   | 3,27  | 5,28                              | 8,70   |
|                                       | Монтмориллонит | 5,01                          | 7,02                             | -                                   | 1,16  | 0,86                              | 2,82   |
|                                       | Хлорит         | -                             | 18,24                            | -                                   | -   | -                                 | -  |
|                                       | Сумма          | 30,48                         | 51,42                            | 40,64                               | 77,16   | 74,37                             | 71,61  |
| Железистая                            | Гетит          | 5,59                          | 2,80                             | 2,16                                | 1,12  | 1,18                              | 1,46   |
| Карбонатная                           | Анкерит        | 3,17                          | 2,68                             | 0,37                                | 0,56  | 0,51                              | 1,46   |
|                                       | Доломит        | -                             | -                                | -                                   | -   | -                                 | -  |
|                                       | Сумма          | 3,17                          | 2,68                             | 0,37                                | 0,56  | 0,51                              | 1,46   |
| Прочие минералы титана, фосфора и др. |                | 0,37                          | 1,12                             | 0,73                                | 0,65  | 1,12                              | 1,08   |

Таблица 26 (продолжение)

| Компоненты исходных пород             |                | Типы метаморфических пород                    |   |                                       |                           |  |                                     |   |
|---------------------------------------|----------------|---|---|---------------------------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|---|
|                                       |                | Пачка Б                                       |   |                                       | Пачка В                   | Пачка Г                                |                                     |   |
| Минеральные группы                    | Минералы       | Параллельно-волокнистые киабитовые сланцы (2) | Мелкоконкреционные ставролит-кианитовые сланцы с плагиоклазом (5) | Ставролит-кианитовые плагиосланцы (5) | Мусковитовые кварциты (6) | Киабит-ставролитовые плагиосланцы (10) | Плагиоклаз-ставролитовые сланцы (1) | Мусковит-кварцевые сланцы со ставролитом и киабитом (2) |
|                                       |                | 8   | 9   | 10                                    | 11                        | 12                                     | 13                                  | 14  |
| Обломочная                            | Кварц          | 27,20   | 9,92  | 10,27                                 | 85,39                     | 20,81                                  | 20,29                               | 69,30   |
|                                       | Плагиоклаз     | 0,33  | 6,55  | 13,00                                 | 1,91                      | 13,24                                  | 18,42                               | 3,84  |
|                                       | Ортоклаз       | -   | -   | -                                     | -                         | -                                      | -                                   | 0,26  |
|                                       | Сумма          | 27,50   | 16,47   | 23,27                                 | 87,30                     | 34,05                                  | 38,71                               | 73,41   |
| Глинистая                             | Каолинит       | 63,62   | 60,15   | 41,54                                 | 1,27                      | 31,11                                  | 26,16                               | 13,28   |
|                                       | Гидрослюда     | 2,36  | 15,28   | 18,49                                 | 8,90                      | 16,77                                  | 17,89                               | 8,30  |
|                                       | Монтмориллонит | 2,97  | 4,30  | 10,39                                 | 0,75                      | 11,86                                  | 10,59                               | -   |
|                                       | Хлорит         | -   | -   | -                                     | -                         | -                                      | -                                   | -   |
|                                       | Сумма          | 68,95   | 79,73   | 70,41                                 | 10,92                     | 59,73                                  | 54,63                               | 21,58   |
| Железистая                            | Гетит          | 1,55  | 1,35  | 2,61                                  | 0,38                      | 2,58                                   | 2,23                                | 0,89  |
| Карбонатная                           | Анкерит        | 0,72  | 1,19  | 1,96                                  | 1,29                      | 2,23                                   | 2,68                                | 3,59  |
|                                       | Доломит        | -   | -   | -                                     | -                         | -                                      | -                                   | -   |
|                                       | Сумма          | 0,72  | 1,19  | 1,96                                  | 1,29                      | 2,23                                   | 2,68                                | 3,59  |
| Прочие минералы титана, фосфора и др. |                | 1,25  | 1,27  | 1,74                                  | 0,11                      | 1,40                                   | 1,75                                | 0,53  |

Вероятные типы исходных отложений:

1. Глинистый кварцевый песчаник.
2. Кварцево-глинистая порода.
4. Каолинитовый полевошпатовый алевролит (каолинитовый арков).
- 5-8. Песчаные, песчанистые глины (каолинитовые глины с кварцевым материалом).
- 9-10. Песчанистая существенно каолинитовая глина.
- II. Слабоглинистые кварцевые песчаники (кварцевые песчаники с глинистым цементом).
12. Песчаные глины.
13. Песчано-глинистая порода.
14. Глинистые кварцевые песчаники:

Пересчет произведен по методике О.М.Розена /84/.

Литохимические пересчеты сделаны по данным И.В.Белькова /6/.

Проведенные литохимические пересчеты (см. табл. 26, п. 4) подтверждают, что первоначально это были каолинитовые кварц-полевошпатовые алевролиты (каолинитовые аркозы).

На диаграмме А.Н.Неелова (см. рис. 50) данные сланцы попадают в поле сильно дифференцированных в химическом отношении глин гумидного климата. На основании литохимических пересчетов были определены количества  $Al_2O_3$ ,  $MgO$  и  $K_2O$ , приходящиеся на глины, и эти расчетные данные нанесены на диаграмму АКМ (см. рис. 51), из которой видно, что глинистая часть породы была представлена каолинитом.

Фигуративные точки ксанитовых сланцев на диаграмме А.Н.Неелова (см. рис. 50) ложатся в поле глин гумидного климата, причем точки сдвинуты к стороне  $Al_2O_3-SiO_2$ , что говорит о незначительных содержаниях в этих сланцах других компонентов ( $CaO$ ,  $Na_2O$  и т.д.). На диаграмме FA данные сланцы ложатся в поле перекрытия каолинитовых и гидроследистых глин калиевого уклона. О существенном каолинитовом составе осадков и высокой зрелости вещества исходных пород говорят как небольшие количества  $\Sigma_{II+III}=0,72-2,07\%$ , так и значения индикаторных отношений ксанитовых сланцев (табл. 25). По литохимическим пересчетам (см. табл. 26, п. 5-8) ксанитовые сланцы первоначально были представлены кварц-каолинитовыми глинами. На диаграмме АКМ (см. рис. 51) эти сланцы лежат в поле каолинитовых глин. По значениям карбонатного модуля (0,006-0,013) киа-

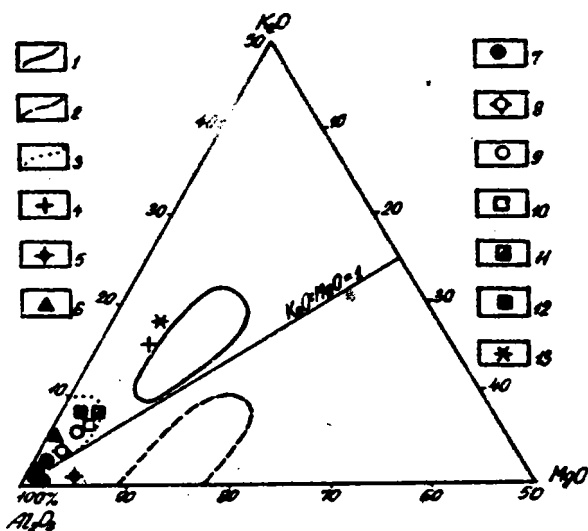


Рис. 51. Фигуративные точки пород серии кейв на диаграмме АКМ ( $Al_2O_3-K_2O-MgO$ )

I - граница поля гидрослюдистых глин, 2 - граница поля монтмо-  
риллонитовых глин, 3 - граница поля каолилитовых глин.  
Сланцы. Пачка А: 4 - гранат - мусковитовые, 5 - ставролит-гранат-  
тоновые; пачка Б: 6 - феллитовидные, 7 - кванитовые различных  
морфологических типов, 8 - ставролит-кванитовые, 9 - ставролит-  
кванитовые плагиосланцы; пачка Г: 10 - порфиробластические кван-  
нит-ставролитовые, II - порфиробластические плагиоклаз-ставро-  
литовые, 12 - мусковит-кварцевые сланцы. Пачка В: 13 - мускови-  
товые кварциты.



нитовые сланцы ближе всего к значениям модуля континентальных глин жаркого климата (0,028).

Другая группа пород пачки Б кианит-ставролитовые плагиосланцы по величине кремневого модуля (0,51-0,59) также относятся к континентальным гумидным глинам, содержащим повышенные количества щелочных и щелочноземельных элементов ( $\Sigma_{щ+щз}=3,26-5,18\%$ ). Индикаторные отношения (см. табл. 25) указывают на более низкую степень дифференциации вещества, чем в кианитовых сланцах, что, по-видимому, объясняется присутствием в первичном осадке монтмориллонит-гидрослюдистого и полевошпатового материала. Литохимические пересчеты также показали (см. табл. 26, п. 9-10), что в исходных породах содержались заметные количества полевых шпатов и гидрослюдистых глин, хотя главную роль играли все же каолининовые глины, что также хорошо видно на диаграмме АКС (см. рис. 41). По величине карбонатного модуля (см. табл. 25) кианит-ставролитовые сланцы пачки Б относятся к континентальным глинам гумидного климата.

Сланцы пачки Б являются наиболее углеродистыми породами серии кейв, причем содержание  $C_{орг}$  достигает 2-3%.

На сланцах пачки Б согласно лежат мусковитовые кварциты пачки В, которые иногда содержат углеродистое вещество. На диаграмме FA эти кварциты ложатся в поле нормально глинистых полевошпат-кварцевых, слюдисто-кварцевых песчаников, а на диаграмме А.Н. Неелова (см. рис. 50) - в поле кварцевых песчаников, кварцитов вблизи точки ортокварцитов. Карбонатный модуль мусковитовых кварцитов (см. табл. 25) наиболее близок к значению модуля континентальных гумидных песков (0,028-0,030).

Породы, слагающие пачку Г, представлены крупнопорфиробластическими кианит-ставролитовыми, плагиоклаз-ставролитовыми и в меньшей мере мусковит-кварцевыми сланцами со ставролитом и кианитом.

По величинам кремневого модуля (см. табл. 25) порфиробластические сланцы относятся к континентальным глинам гумидного климата, а мусковит-кварцевые сланцы к пескам и алевролитам. Содержания щелочных и щелочноземельных элементов в порфиробластических сланцах достигает 5-6%, причем большую часть составляют  $K_2O$  и  $Na_2O$ . В мусковит-кварцевых сланцах  $\Sigma_{щ+щз}=2,46\%$ , т.е. в пределах колебаний этих элементов для каолининовых глин (1-3%). По данным ряда отношений (см. табл. 25) следует, что большая

часть АІ и К в этих породах была связана с различными глинистыми минералами, т.е. глинистая составляющая пород была смешанной, что подтверждают и результаты литохимических пересчетов (см.табл. 26, п.І2-І4), а также расположение фигуративных точек этих сланцев на диаграмме АКМ (см.рис.5І). Для порфиробластических сланцев характерным является повышенное содержание  $TiO_2=1,45$  (среднее по 10 анализам крупнопорфиробластических сланцев) и соответственно титанового модуля ( $TiO_2/Al_2O_3$ ) 0,059 - крупнопорфиробластические, 0,069 - порфиробластические и 0,059 - мусковит-кварцевые сланцы. Это может в какой-то мере указывать на присутствие основных пород в области сноса. Небольшие величины отношений  $Al_2O_3/Na_2O=9,95-21,5$  и  $K_2O/Na_2O(0,74-2,00)$  свидетельствуют о невысокой степени дифференциации вещества, что может быть объяснено вовлечением в процесс седиментации менее выветрелых пород в области сноса. Это подтверждается и литохимическими пересчетами (см.табл.26) - присутствием в первичном осадке примеси полевошпатового материала и монтмориллонит-гидрослюдистых глин. По величине карбонатного модуля сланцы пачки Г (0,014-0,032) лежат ближе всего к континентальным глинам и пескам Русской платформы (0,028-0,055).

Проведенная реконструкция исходных отложений позволила построить восстановленный разрез серии кейв (рис.52) и продольный профиль кейвского палеобассейна (рис.53,Б), на которых хорошо видны ритмы осадконакопления (І ритм - пачки А-Б, ІІ ритм - пачки В-Г, ІІІ - ритм - пачка Д). Каждый ритм начинается существенно песчаными осадками, верхняя часть ритма представлена существенно глинистыми отложениями, причем доля песчаных составляющих увеличивается от ритма І к ІІІ. Вверх по разрезу уменьшается количество кварца и каолинита и увеличивается доля гидрослюды, монтмориллонита и полевых шпатов. Это может свидетельствовать об уменьшении степени выветривания пород области питания и принос в палеобассейн менее устойчивых минералов.

Палеобассейн седиментации отложений серии кейв, вероятно, был вытянут в субширотном направлении и занимал более значительную площадь, чем занимают сейчас породы свиты. Об этом говорят выходы аналогичных пород к югу и северо-западу от района распространения метаморфических пород серии кейв. Характерной особенностью палеобассейна, по-видимому, был прогиб в центральной части (см.рис.53 А,Б), где накапливались мощные толщи существенно кварц-каолинитового состава. Условия седиментогенеза

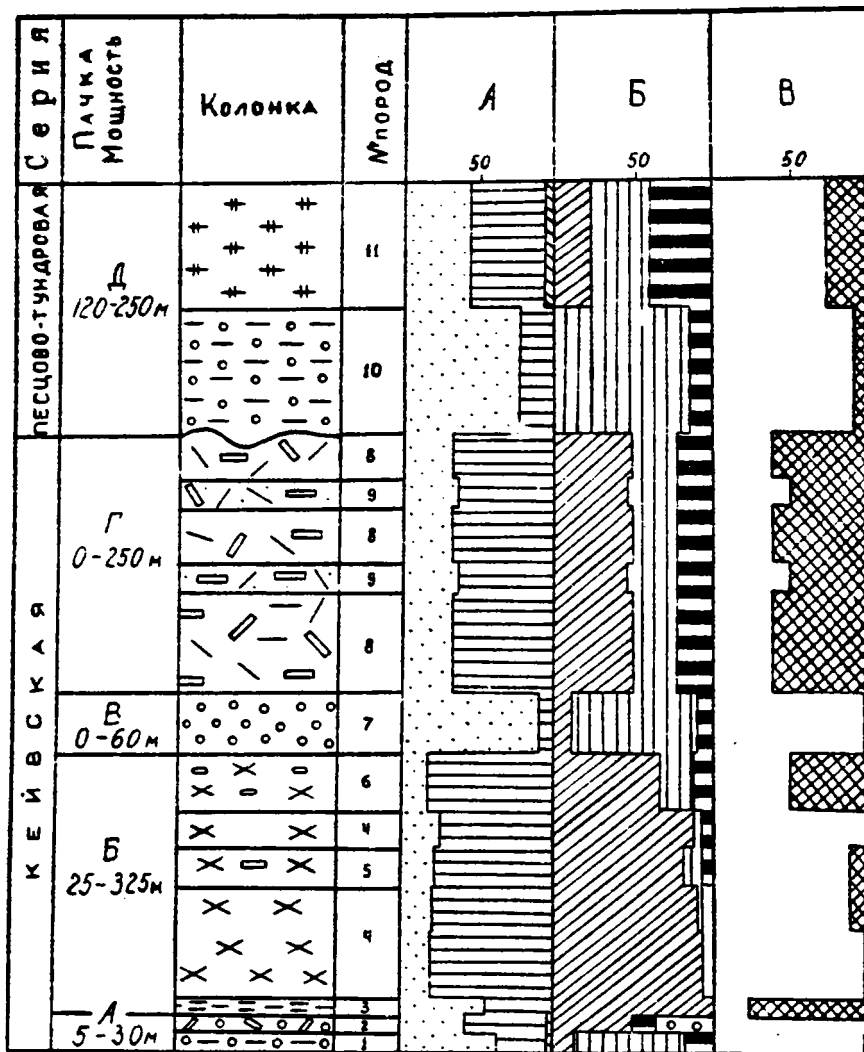


Рис. 52. Литолого-стратиграфическая колонка и восстановленный разрез серии кейв.

1 - мусковит-гранат-кварцевые сланцы, 2 - ставролит-гранат-кварцевые сланцы, 3 - филлитовидные сланцы, 4 - кианитовые сланцы, 5 - ставролит-кианитовые сланцы, 6 - ставролит-кианитовые плаггиосланцы, 7 - мусковитовые кварциты, 8 - порфиробластические кианит-ставролитовые сланцы, 9 - мусковит-кварцевые сланцы с кианитом и ставролитом, 10 - мусковит-кварцевые сланцы, II - двуслюдяные с кианитом и ставролитом.

Условные обозначения к А, Б и В на рис. 47.

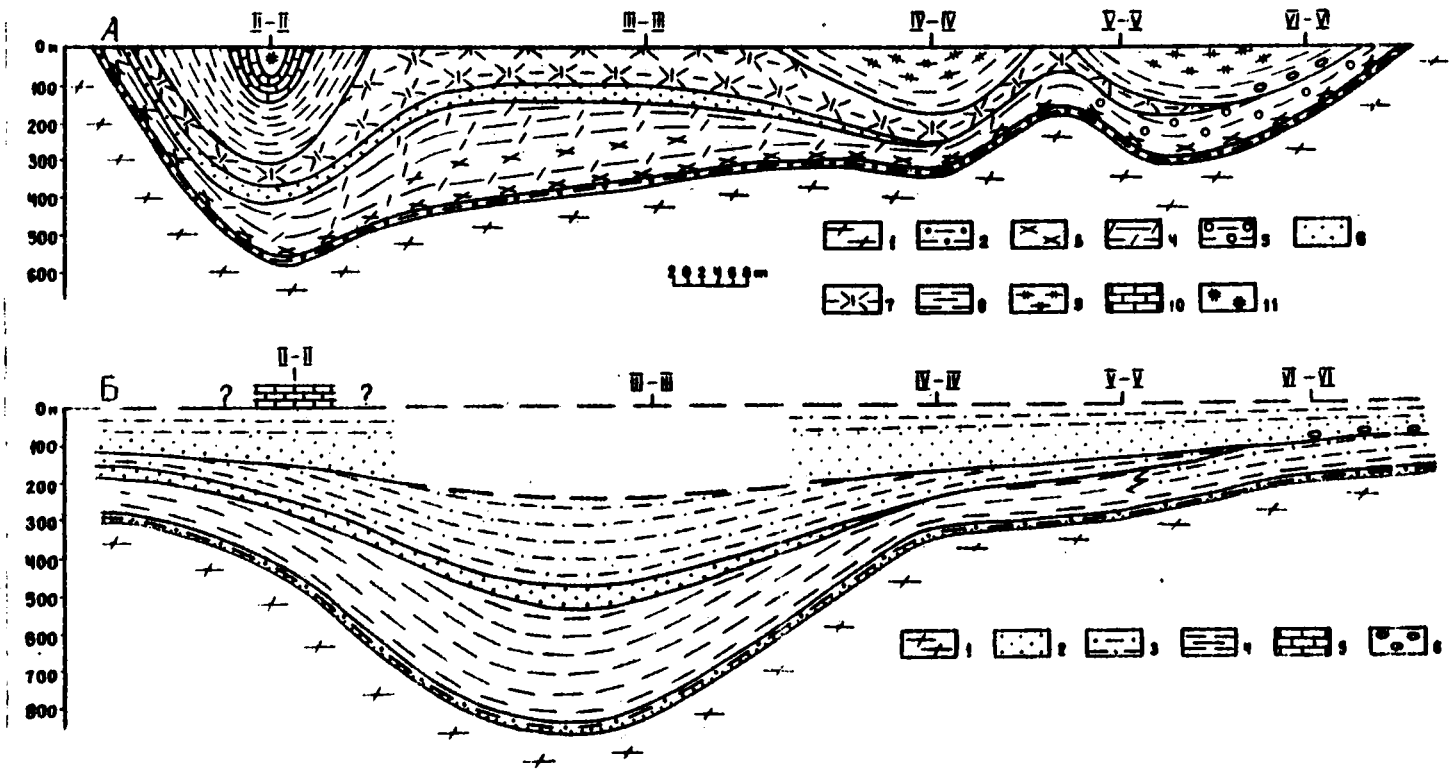


Рис. 53. А. Схематический продольный профиль серии кельв. Составлен по данным И.В.Гелькова /5/.  
 Б. Схематический продольный литологический профиль Кельвского палеобассейна.

Условные обозначения к рисунку 53.

- А. I - гнейсы лебяжинской свиты;  
2 - слюдяно-гранатовые, ставролит-гранатовые сланцы пачки А;  
Пачка Б: 3 - кианитовые сланцы;  
4 - кианит-ставролитовые сланцы;  
5 - кианит-ставролитовые плагиосланцы;  
6 - мусковитовые кварциты пачки В;  
7 - порфиробластические кианит-ставролитовые плагиосланцы и  
плагиоклаз-ставролитовые сланцы пачки Г;  
8 - мусковит-кварцевые сланцы пачки Д;  
9 - двуслюдяные ставролит- и гранатсодержащие сланцы пачки Д;  
Ю - доломитизированные песчаники, доломиты пачки Е;  
II - двуслюдяные сланцы, кварцито-гнейсы пачки Ж.
- Б. I - осадочно-вулканогенные породы;  
2 - существенно кварцевые песчаники;  
3 - песчаные глины;  
4 - существенно каолининовые глины;  
5 - карбонатные породы;  
6 - конгломераты.
- II-П, III-III и другие поперечные разрезы (см.рис.7).

в восточной части палеобассейна имели свои особенности, о чем ныне свидетельствуют присутствие здесь плагиосланцев пачки Б (песчаные глины со значительной долей полевых шпатов, гидрослюд и монтмориллонитов), наличие прослоев с галькой в пачке Д и отсутствие в разрезе пачек В и Г. Для данного палеобассейна характерна выдержанность литологического состава пород на большие расстояния (см. рис. 53 А, Б), сочетание в разрезе каолининовых глин с кварцевыми песками. В породах серии иногда удается наблюдать знаки ряби /5/.

Эти данные, по-видимому, могут указывать на спокойный гидродинамический режим и глубины порядка 150-200 м.

Почти все породы серии кейв содержат углеродистое вещество, причем наиболее обогащены им сланцы пачки Б. Для отнесения углеродсодержащих сланцев серии к определенной ассоциации углеродистых отложений была использована диаграмма АСС (рис.54), из которой видно, что большинство углеродсодержащих сланцев попадают в поле или лежат вблизи поля углеродисто-терригенной ассоциации. В поле углеродисто-кремнистой ассоциации лежат только

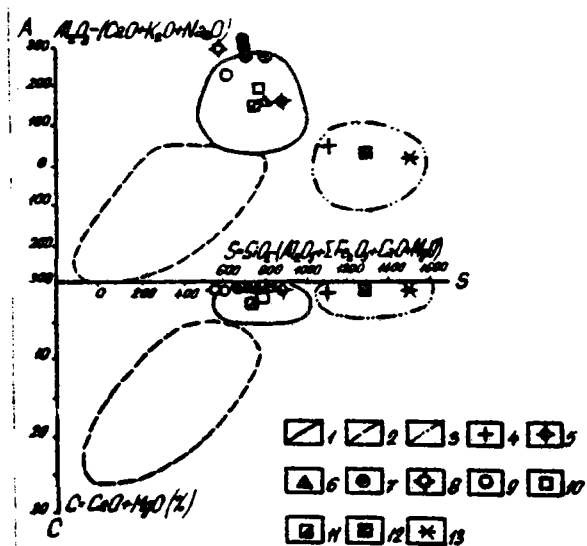


Рис.54. Углеродсодержащие породы серии кейв на диаграмме А S C.

I - углеродисто-терригенная ассоциация, 2 - углеродисто-карбонатная ассоциация, 3 - углеродисто-кремнистая ассоциация. Сланцы. Пачка А: 4 - гранат-мусковитовые, 5 - ставролит-гранатовые; пачка Б: 6 - филлитовидные, 7 - кианитовые различных морфологических типов, 8 - ставролит-кианитовые, 9 - ставролит-кианитовые плагиосланцы; пачка Г: 10 - порфиробластические кианит-ставролитовые, 11 - порфиробластические плагиоклаз-ставролитовые, 12 - мусковит-кварцевые сланцы. Пачка В: 13 - мусковитовые кварциты.

следяно-гранатовые и мусковит-кварцевые сланцы пачки А и Г и кварциты пачки В.

х х х

Таким образом, из рассмотрения петрохимических особенностей пород пачек А-Г следует, что формирование исходных стложений происходило в континентальном палеобассейне. Коры клубокого химического выветривания, поставившие материал, были расположены на равнинном палеоконтиненте и существовали длительное время. Вещество, поступавшее в палеобассейн, было типично терригенного характера и хорошо дифференцировано (каолинитовые глины - кварцевые пески), а палеоклимат эпохи седиментогенеза был влажный, жаркий. Уменьшение в верхней части разреза кварца и каолинита и увеличение количества гидрослюда и полевого шпата указывают на вовлечение в процесс седиментации менее выветрелых пород.

### 3. Породы свиты хирвинаволок

Значения индикаторных отношений в параамфиболитах и сланцах I и II пачек (табл.27) указывают на невысокую зрелость осадков, возможное присутствие в них вулканогенного материала, но калий в основном был связан с глинистыми минералами, а седиментация происходила при гумидных условиях.

По величинам отношений  $TiO_2/Al_2O_3$  (0.08-0.106) можно предположить, что значительную роль в первичном осадке этих пород играл песчаный материал, или, что первичные осадки данных пачек образовались за счет выветривания пород основного состава у которых данный модуль равен 0.07-0.20.

На диаграмме  $CaO-Na_2O / I34/$  породы I-II пачек ложатся в поле осадочных пород, а на диаграмме А.Н.Неелова (рис.55) фигуративные точки параамфиболитов попадают в поле карбонатных глин, а сланцев - в поле слабодифференцированных осадков. Литохимические пересчеты показали (табл.28, п. I-3), что исходными отложениями, видимо, были карбонат-песчаные глины, карбонат-глинистые песчаники, иногда содержащие значительные количества полевых шпатов и магнезиально-железистых хлоритов. Колебания коэффициента железистости пород  $F = 0.31-0.70$ . Значительные количества плагиоклазов и магнезиально-железистых хлоритов, по-видимому, могут свидетельствовать о присутствии в составе пород вулканогенного материала. Результаты литохимических пересчетов нанесенные на диаграмму Ф.Петтиджона попадают в поле

Таблица 27

## Индикаторные отношения в породах свиты хирвинавслок

| № п/п                           | Пачка | Порода                         | Степень зрелости осадка ( $Al_2O_3/SiO_2$ )                         | Интенсивность химического выветривания                       |                 | Генетический тип глин   |                 |
|---------------------------------|-------|--------------------------------|---|--|-----------------|---|-----------------|
|                                 |       |                                |   | $Al_2O_3/Na_2O$  | $K_2O/Na_2O$    | $K_2O/Al_2O_3$  | $K_2O/MgO$      |
| 1.                              | I     | Амфибол-гранатовый сланец      | 0,25  | 20,0   | 0,86            | 0,04  | 0,18            |
| 2.                              | I     | Амфиболит                      | 0,28  | 12,0   | 0,44            | 0,04  | 0,04            |
| 3.                              | II    | Кварцит                        | 0,03  | 2,8  | 0,15            | 0,05  | 0,12            |
| 4.                              | II    | Амфиболит                      | 0,26  | 3,1  | 0,02            | 0,006   | 0,013           |
| 5.                              | III   | Ставролитсодержащие сланцы (4) | 0,19-0,35(0,28)   | 9,5-67,3 (30,5)  | 1,03-5,0(2,8)   | 0,05-0,21(0,11)   | 0,13-0,79(0,36) |
| 6.                              | III   | Углеродистые сланцы (6)        | 0,11-0,37(0,22)   | 3,5-14,1   | 0,11-4,15(0,84) | 0,02-0,3(0,08)  | 0,04-4,73(0,85) |
| 7.                              | III   | Амфиболиты (6)                 | 0,2-0,34(0,28)  | 4,5-18,7   | 0,04-1,63(0,68) | 0,01-0,15(0,06)   | 0,02-0,26(0,09) |
| 8.                              | IV    | Сланцы (3)                     | 0,21-0,25(0,23)   | 3,2-7,4  | 0,51-1,67(1,11) | 0,15-0,27(0,19)   | 0,35-0,45       |
| 9.                              | IV    | Амфиболиты (5)                 | 0,28-0,46(0,36)   | 5,0-19,8   | 0,03-2,51(0,61) | 0,006-0,13(0,04)  | 0,01-0,41(0,10) |
| 10.                             | V     | Высокоуглеродистые породы (12) | 0,16-0,27(0,22)   | 2,7-18,9   | 0,21-5,93(1,59) | 0,02-0,31(0,13)   | 0,06-1,69(0,59) |
| II. Осадочные породы фанерозоя: |       |                                | глины: 0,27-0,37; алевролиты, песчаники: 0,07-0,20; граувакки: 0,23 | <30 низкая <8<br>30-60 средняя 8-15<br>60-150 высокая >15-30 |                 | глины каолиновые<br>0,01-0,04   1,1-2,3<br>глины гидрослюдистые<br>0,14-0,21   1,0-2,6<br>глины монтмориллонитовые<br>0,02-0,11   0,1-0,4 |                 |



Индикаторные отношения в породах свиты хирвиноволок

| № пп | $\Sigma_{\text{д+цз}} \text{Al}_2\text{O}_3$  | Коэффициент Мидлтона $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3)$   | Фашиальные условия $(\text{CaO}+\text{MgO}/\text{SiO}_2)$   | Эксталятивный привнос элементов $(\text{Fe}+\text{Mn}/\text{Ti})$ | Показатель палеоклимата              |  |
|------|---|---|---|---|--------------------------------------|--|
|      |   |   |   |   | $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ | $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ |
| 1.   | 0,84  | 0,09  | 0,19  | 12,31   | 9,40                                 | 1,16                                     |
| 2.   | 1,73  | 0,12  | 0,46  | 11,63   | 12,71                                | 2,26                                     |
| 3.   | 1,47  | 0,41  | 0,03  | 13,80   | 9,92                                 | -  |
| 4.   | 1,25  | 0,33  | 0,24  | 12,57   | 9,60                                 | -  |
| 5.   | 0,52-0,84(0,70)   | 0,08-0,29(0,17)   | 0,08-0,25(0,15)   | 4,88-14,25  | 10,76-16,09                          | -  |
| 6.   | 0,52-1,54(1,10)   | 0,09-0,37(0,27)   | 0,05-0,21(0,16)   | 3,27-21,30  | 5,37-29,69(12,37)                    | 0,17-9,13(3,12)                          |
| 7.   | 1,30-1,70(1,45)   | 0,11-0,36(0,21)   | -   | 18,64   | 8,70-27,72(17,41)                    | -  |
| 8.   | 0,85-1,43(1,16)   | 0,29-0,47   | 0,12-0,25(0,17)   | 7,90-20,13  | 12,38-20,99                          | 0,60-9,40(3,38)                          |
| 9.   | 1,04-1,60(1,31)   | 0,10-0,21   | 0,27-0,51(0,41)   | 10,39-14,31   | 9,75-16,10                           | -  |
| 10.  | 0,69-1,31(0,95)   | 0,04-0,48(0,25)   | 0,09-0,19(0,15)   | 1,96-42,18  | 10,72-18,45                          | 0,17-4,72(1,24)                          |
| II.  | Глины каолини-<br>товые 0,04-0,11<br>глины гидрослю-<br>дистые 0,30-<br>0,60; глины<br>монтмориллонит-<br>товые 0,40-0,50 | К связан с гли-<br>нами <0,5<br>К связан с ка-<br>лиевыми поле-<br>выми шпатами<br>>0,5 | Гумидные конти-<br>нентальные пес-<br>ки-0,03; при-<br>брежно-морские<br>пески, глины<br>геосинклинальной<br>зоны (0,16-0,18) | >25 наличие<br>эксталятив-<br>ного прив-<br>носа                  | <20 - гумидные<br>>30 - аридные      | <3,5 - гумидные<br>>3,5 - аридные        |

граувакк и субграувакк.

Среди пород II пачки свиты наиболее интересным фактом является то, что среди параамфиболитов и сланцев (биотитовых, биотит-амфиболовых и др.) изредка присутствуют кварциты, слюдистые кварциты. Так, исследуемый черный кварцит по значению кремневого модуля (0,028) отвечает значению этого модуля для кварцевых песчаников (0,012-0,041). По данным карбонатного модуля (0,030) анализированный кварцит отвечает континентальным пескам гумидной зоны (0,028-0,030). По значению отношения  $CaO/MgO = 1,35$  исследуемый кварцит также лежит ближе всего к континентальным пескам Русской платформы (1.50) /86/. Литохимический пересчет показал (см. табл. 28, п. 4), что первоначально это был существенно кварцевый песчаник и фигуративная точка этого кварцита попадает в поле кварцевых песчаников на диаграмме А.Н. Неелова (рис. 55). По-видимому, материал для образования кварцитов поставляли коры выветривания, развитые на каких-то кислых породах, а присутствие повышенных содержаний  $C_{орг}$  (2,90) свидетельствует о восстановительных условиях в палеобассейне седиментации.

В пределах III пачки наиболее полно представлены различные типы первично-осадочных пород: сланцы, параамфиболиты, карбонатные породы, причем значительная часть их содержит в своем составе углеродистое органическое вещество (до 8-10% C) (см. приложение III).

В осадочных породах фанерозоя, сложенных умеренно зрелым терригенным материалом K преобладает над Na, а Mg над Ca, что полностью выполняется в ставролитсодержащих сланцах. На диаграммах FA и  $CaO-Na_2O$  эти сланцы ложатся в поле осадочных пород, в то время как часть углеродсодержащих сланцев и амфиболитов попадает в поле смешанных и магматических пород, что, видимо, свидетельствует о присутствии в их составе примеси вулканогенного материала.

Значения индикаторных отношений пород III пачки (сланцы, параамфиболиты) (см. табл. 27) в общем свидетельствуют о невысокой зрелости первичных осадков. Но для части сланцев (ставролитсодержащих) те же отношения указывают на более высокую степень химического выветривания материнских пород области сноса. По величине титанового модуля ( $TiO_2/Al_2O_3$ ) для глиноземистых сланцев - 0,061, углеродсодержащих - 0,115 и амфиболитов - 0,066 можно предположить о присутствии в первичном осадке материала

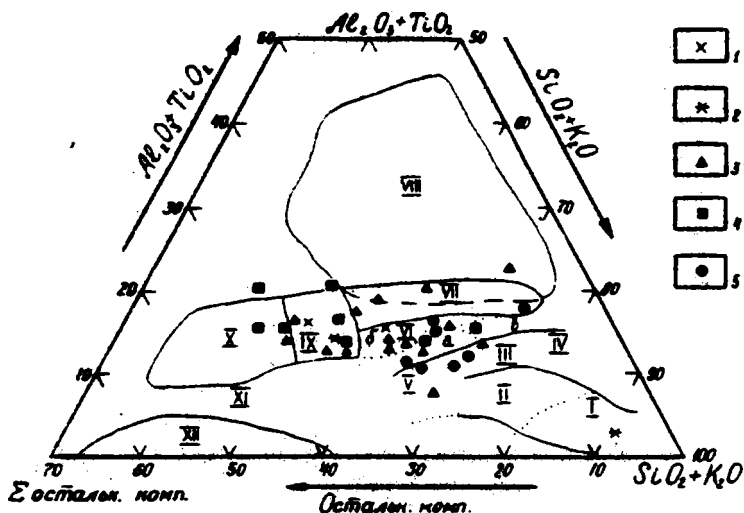


Рис.55. Фигуративные точки пород свиты хирвинаволока на диаграмме А.Н.Неелова /74/.

I - кварцевые песчаники, II - олигомиктовые песчаники, III - полимиктовые песчаники, IV - аркозовые песчаники, V - известковистые песчаники, железистые песчаники и др., VI - слабо дифференцированные в химическом отношении осадки: а - преимущественно граувакки, б - преимущественно полимиктовые алевролиты, в - песчаники с глинистым цементом, VII - умеренно дифференцированные в химическом отношении глины, VIII - сильно дифференцированные в химическом отношении глины гумидного климата, IX - карбонатные и железистые глины, X - мергели, XI - кремнистые мергели, XII - железистые кварциты.

I - породы I пачки, 2 - породы II пачки, 3 - породы III пачки, 4 - породы IV пачки, 5 - породы V пачки.

Таблица 28

Нормативный минеральный состав пород свиты хирвинаволоок

| Минеральные группы                    | Минералы       | I пачка                     |                               | II пачка                    |             |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
|                                       |                | Полевшпатовый амфиболит (I) | Амфибол-гранатовый сланец (I) | Полевшпатовый амфиболит (I) | Кварцит (I) |
|                                       |                | 1                           | 2                             | 3                           | 4           |
| Обломочная                            | Кварц          | 24,44                       | 28,15                         | 16,32                       | 79,19       |
|                                       | Плагиоклаз     | 9,32                        | -                             | 38,07                       | 8,15        |
|                                       | Ортоклаз       | -                           | -                             | -                           | -           |
|                                       | Сумма          | 33,76                       | 28,15                         | 54,39                       | 87,34       |
| Глинистая                             | Каолинит       | -                           | 0,87                          | -                           | -           |
|                                       | Гидрослюда     | 3,36                        | 4,15                          | 0,68                        | 1,36        |
|                                       | Монтмориллонит | -                           | 22,28                         | -                           | -           |
|                                       | Хлорит         | 35,80                       | 23,71                         | 21,78                       | 1,28        |
|                                       | Серпентин      | -                           | -                             | -                           | -           |
|                                       | Сумма          | 39,16                       | 51,01                         | 22,46                       | 2,64        |
|                                       | Гетит          | -                           | -                             | 6,17                        | 2,55        |
| Карбонатная                           | Кальцит        | 3,40                        | 5,43                          | -                           | -           |
|                                       | Анкерит        | 6,64                        | 13,70                         | 1,48                        | 0,24        |
|                                       | Доломит        | 15,63                       | -                             | 13,64                       | 4,10        |
|                                       | Сумма          | 25,67                       | 19,13                         | 15,12                       | 4,34        |
|                                       | Углерод        | -                           | -                             | -                           | 2,84        |
| Прочие минералы титана, фосфора и др. |                | 1,41                        | 1,71                          | 1,86                        | 0,27        |

Таблица 28 (продолжение)  
 Нормативный минеральный состав пород свиты хирриनावолок

| Минеральные группы | Минералы                                    | III пачка                         |                               |                          |                        |
|--------------------|---|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|
|                    |   | Амфиболиты с С <sub>орг</sub> (6) | Сланцы с С <sub>орг</sub> (6) | Глиноземистые сланцы (4) | Карбонатные породы (3) |
|                    |   | 5                                 | 6                             | 7                        | 8                      |
| Сло-<br>ночная     | Кварц                                       | <u>17,83-28,12</u>                | <u>15,21-45,38</u>            | <u>23,71-44,01</u>       | <u>0,0-2,94</u>        |
|                    |   | 22,70                             | 29,35                         | 32,64                    | 0,98                   |
|                    | Плагио-<br>клас                             | <u>6,83-27,15</u>                 | <u>0,0-34,39</u>              | <u>0,0-15,42</u>         | <u>2,52-2,83</u>       |
| Глинис-<br>тая     | Ортоклас                                    | 14,60                             | 18,66                         | 7,58                     | 2,66                   |
|                    |   | -                                 | <u>0,0-11,88</u>              | -                        | <u>0,0-1,12</u>        |
|                    | Сумма                                       | 37,30                             | 49,99                         | 40,22                    | 44,01                  |
|                    |   | Каолинит                          | <u>0,0-1,32</u>               | -                        | <u>0,0-10,87</u>       |
|                    | Линит                                       | 0,22                              | -                             | 4,34                     | 0,59                   |
|                    | Гидро-<br>слюда                             | <u>0,68-15,70</u>                 | <u>1,34-39,68</u>             | <u>5,34-32,75</u>        | <u>0,0-1,10</u>        |
|                    |   | 6,08                              | 8,74                          | 16,16                    | 0,37                   |
|                    | Монтмо-<br>риллионит                        | -                                 | <u>0,0-25,59</u>              | <u>0,0-13,43</u>         | -                      |
|                    |   | -                                 | 4,26                          | 5,67                     | -                      |
|                    | Хлорит                                      | <u>3,36-45-90</u>                 | <u>0,0-26,19</u>              | <u>10,13-31-08</u>       | -                      |
| 32,37              |   | 23,44                             | 24,59                         | -                        |                        |
| -                  |   | <u>0,0-2,54</u>                   | -                             | -                        |                        |
| Серпен-<br>тин     | -   | 0,65                              | -                             | -                        |                        |
|                    | Сумма                                       | 38,67                             | 37,09                         | 50,76                    | 0,96                   |
|                    | Гетит                                       | <u>0,0-7,97</u>                   | <u>0,0-8,09</u>               | <u>0,0-2,87</u>          | -                      |
| Меле-<br>зистая    | Кальцит                                     | 1,38                              | 2,51                          | 0,72                     | -                      |
|                    |   | <u>0,0-14,51</u>                  | <u>0,0-4,68</u>               | <u>0,0-3,94</u>          | <u>11,60-65,23</u>     |
|                    | 4,63  | 1,42                              | 1,70                          | 41,03                    |                        |
|                    | Анкерит                                     | <u>0,0-11,52</u>                  | <u>0,0-12,95</u>              | <u>1,05-4,43</u>         | <u>2,90-9,58</u>       |
|                    |   | 5,46                              | 4,04                          | 2,08                     | 6,05                   |
|                    | Доломит                                     | <u>2,23-15,81</u>                 | <u>1,86-10,72</u>             | <u>0,0-11,84</u>         | <u>26,41-74,42</u>     |
|                    |   | 9,82                              | 5,96                          | 2,96                     | 47,49                  |
|                    | Сумма                                       | 19,91                             | 11,42                         | 7,46                     | 94,57                  |
|                    |   | Углерод                           | <u>0,0-0,62</u>               | <u>1,79-10,04</u>        | -                      |
|                    | Прочие минералы<br>титана, фосфора<br>и др. | 0,10                              | 4,30                          | -                        | 0,47                   |
| <u>0,83-1,55</u>   |   | <u>0,68-2,60</u>                  | <u>1,07-2,23</u>              | -                        |                        |
|                    | 1,28  | 1,51                              | 1,56                          | -                        |                        |

Таблица 28 (окончание)

Нормативный минеральный состав пород свиты хирвинаролок

| Минеральные группы              | Минералы         | IV пачка               |                                   |                | У пачка                |
|---------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------|
|                                 |                  | Карбонатные породы (4) | Сланцы с амфиболом; биотитом, (3) | Амфиболиты (5) | Графитистые породы (7) |
|                                 |                  | 9                      | 10                                | 11             | 12                     |
| Обломочная                      | Кварц            | 0,60-15,32             | 18,95-39,33                       | 4,70-21,28     | 16,28-30,69            |
|                                 |                  | 7,11                   | 27,23                             | 14,19          | 23,35                  |
|                                 | Плагиоклаз       | 0,0-7,26               | 18,19-36,22                       | 4,07-25,41     | 0,0-34,01              |
|                                 |                  | 2,99                   | 24,46                             | 14,41          | 12,92                  |
| Ортослаз                        | 0,0-0,55         | 0,0-7,31               | -                                 | 0,0-6,97       |                        |
|                                 | 0,14             | 3,98                   | -                                 | 2,20           |                        |
| Глинистая                       | Сумма            | 10,24                  | 55,67                             | 28,60          | 36,47                  |
|                                 | Каолинит         | 0,0-2,21               | -                                 | 0,0-1,25       | 0,0-0,79               |
|                                 |                  | 0,31                   | -                                 | 0,29           | 0,17                   |
|                                 | Гидро-слюда      | 0,0-12,21              | 9,36-17,67                        | 0,70-18,27     | 6,69-34,14             |
|                                 |                  | 3,05                   | 14,06                             | 4,89           | 13,79                  |
|                                 | Монтмо-риллионит | -                      | -                                 | 0,0-16,72      | 0,0-11,30              |
|                                 |                  | -                      | -                                 | 0,63           | 1,68                   |
|                                 | Хлорит           | -                      | 0,0-12,42                         | 27,09-51,10    | 0,0-11,86              |
|                                 |                  | -                      | 4,14                              | 39,05          | 3,53                   |
|                                 | Серпентин        | 0,0-5,35               | 0,0-8,48                          | -              | 0,0-1,42               |
| 1,34                            |                  | 5,46                   | -                                 | 0,26           |                        |
| Сумма                           | 4,70             | 23,66                  | 44,86                             | 19,63          |                        |
|                                 | 0,0-1,81         | 1,38-16,11             | -                                 | 0,0-4,17       |                        |
| Железистая                      | 0,45             | 8,68                   | -                                 | 1,57           |                        |
|                                 | 0,0-79,77        | -                      | 0,45-19,20                        | 0,0-6,64       |                        |
| Карбонатная                     | 54,52            | -                      | 12,48                             | 1,90           |                        |
|                                 | 0,0-6,02         | -                      | 0,0-8,06                          | 0,00-2,96      |                        |
| Анкерит                         | 3,63             | -                      | 2,48                              | 0,69           |                        |
|                                 | 5,29-64,99       | 8,60-14,39             | 0,0-15,95                         | 1,16-14,03     |                        |
| Доломит                         | 23,52            | 10,55                  | 4,24                              | 6,11           |                        |
|                                 | 81,87            | 10,55                  | 19,20                             | 8,70           |                        |
| Сумма                           | 0,0-5,19         | -                      | -                                 | 16,60-39,76    |                        |
|                                 | 1,875            | -                      | -                                 | 29,49          |                        |
| Прочие минералы титана, фосфора | 0,13-1,14        | 0,74-1,44              | 1,17-2,27                         | 0,67-5,59      |                        |
|                                 | 0,63             | 1,13                   | 1,72                              | 2,54           |                        |

### Примечание к таблице 28.

Вероятные типы исходных отложений:

1. Карбонат-песчано-глинистая порода.
2. Карбонат-кварцевая глина.
3. Карбонат-глинистый песчаник.
4. Глинистый существенно кварцевый песчаник.
5. Карбонат-песчано-глинистая порода.
6. Глинисто-песчаная порода с карбонатным материалом.
7. Песчано-глинистая порода с карбонатом.
8. Доломито-известняк.
9. Доломитовый известняк с терригенной примесью.
10. Карбонат-глинистый песчаник.
11. Карбонат-песчано-глинистая порода.
12. Карбонат-глинисто-песчаная порода, обогащенная органическим веществом.

Пересчеты проведены по методике О.М.Розена /84/.

основного состава и более или менее значительном количестве песчанистого материала. Последнее подтверждается и результатами литохимических пересчетов (см. табл. 28, п.5-7).

На диаграмме А.Н.Неелова (рис.55) амфиболиты попадают в поле карбонатных и железистых глин, амфиболовые сланцы в поле слабо дифференцированных осадков, а серицит - и ставролитсодержащие сланцы попадают в поле умеренно дифференцированных осадков, что подтверждается литохимическими пересчетами этих пород (табл.28, п.5-7), причем хлориты сланцев более железистые -  $F_{\text{средн.}} = 0.50$ , чем хлориты амфиболитов, имеющие  $F_{\text{средн.}} = 0.41$ .

Карбонатный модуль в среднем равен 0.150 для ставролитсодержащих сланцев и 0.156 для углеродсодержащих, что ближе всего к значениям данного модуля для прибрежно-морских отложений геосинклинальной зоны (0.158 - для песков и 0.180 - для глин, рассчитано по данным /86/).

Карбонатные породы данной пачки представлены доломитами, известняками, смешанными разностями (доломитовыми известняками и т.д.), иногда содержащими значительное количество терригенной примеси (кварца, полевого шпата, различных глинистых минералов). Довольно часто карбонатные породы имеют серый-темносерый цвет из-за заметного присутствия в их составе углеродистого органического вещества (табл.28, п.8).

Вверх по разрезу III пачки количество карбонатных пород увеличивается и в составе IV карбонатные породы уже являются преобладающими, в которых отмечаются отдельные прослои (до 0,5 м) амфиболитов и сланцев.

Величины индикаторных отношений параамфиболитов и сланцев IV пачки свидетельствуют о низкой степени дифференциации вещества, т.е. присутствии в первичном осадке таких минералов, как полевые шпаты, гидрослюды, хлориты. По значениям карбонатного модуля сланцы пачки (см. табл. 27) отвечают прибрежно-морским осадкам геосинклинальной зоны. На диаграмме  $\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}$  большинство фигуративных точек амфиболитов и сланцев попадают в поле известково-глинистых пород и известковистых песчаников, а на диаграмме А.Н. Неелова (см. рис. 55) точки тех же пород ложатся в поле слабо дифференцированных осадков, карбонатных глин и мергелей. Литохимические пересчеты сланцев и амфиболитов на нормативно-минеральный состав (см. табл. 28, п. 9-10) показывают, что первоначально это были карбонат-глинистые песчаники (граувакки), карбонат-алевролитовые глины, причем соотношение нормативных полевых шпатов обнаруживает существенное преобладание плагиоклаза при незначительном или полном отсутствии калиевого полевого шпата. Это, по-видимому, обусловлено дефицитом калиевого полевого шпата в породах областей питания. На существенно граувакковый состав исходных отложений IV пачки указывают и расположения фигуративных точек параамфиболитов и сланцев на диаграмме Ф. Петтиджона /80/.

Карбонатные породы представлены доломитом, известняками, смешанными разностями (известковыми доломитами, доломитовыми известняками), довольно часто чистыми ( $\text{CO}_2 > 40\%$ ), но иногда содержащими заметное количество терригенной примеси (кварца, полевого шпата, глинистых минералов). В карбонатных породах наблюдается примесь углеродистого вещества (до 5% и более), на биогенное происхождение которого указывают обнаруженные в этих породах строматолиты /98/. Нанесение на диаграмму МА'К /82/ анализ этих пород показало, что карбонатные отложения IV пачки относятся к породам, подчиненным вулканогенно-осадочным фациям.

Венчает разрез хирвинаволоцкой свиты пачка графитистых пород, содержание углерода в которых достигает 30-41%, остальная часть представлена кварцем, полевым шпатом, амфиболом.



Значения индикаторных отношений в графитистых породах У пачки (см. табл. 27) так же, как и во всех нижележащих, указывают на низкую степень зрелости пород, незначительную интенсивность химического выветривания, на присутствие в первичном осадке гидрослюд, полевых шпатов. Эти выводы подтверждают и литохимические пересчеты графитистых пород, причем обнаруживается существенное преобладание плагиоклаза при небольшой роли калиевого полевого шпата, свидетельствующие о том, что разлагаемые породы были бедны  $K_2O$ . Глинистые компоненты представлены, главным образом, гидрослюдой и в меньшей степени хлоритом. Фигуративные точки высокоуглеродистых пород на диаграмме Ф. Петтуджона ложатся в основном в поле граувакк, а на диаграмме А. Н. Неелова (см. рис. 55) в поле полимиктовых песчаников, алевролитов, граувакк, т. е. пород слабо дифференцированных. Значение карбонатного модуля пород У пачки лежит ближе всего к значениям модуля для континентальных песков геосинклиальной зоны (0, II).

Значения отношения  $Al_2O_3/TiO_2$ , во всех породах свиты (см. табл. 27) лежат в пределах, свойственных гумидному климату, это в общем подтверждается и значениями отношения  $Na_2O/K_2O$  (см. табл. 27) для существенно граувакковых пород. О гумидном палеоклимате может говорить и факт широкого и значительного распространения  $C_{орг}$  в породах свиты, так как именно теплому, жаркому гумидному климату свойственно широкое развитие органической жизни. Однако присутствие в верхних частях карбонатных пород, вплоть до образования карбонатной пачки (IV), может указывать на аридный палеоклимат. Таким образом, возможно, что формирование пород свиты хирвинаволоков происходило в условиях теплого, жаркого, переменного влажного климата.

Выше уже отмечалось, что в некоторых отложениях (амфиболитах, сланцах) возможна примесь вулканогенного материала. Но кроме проклатических продуктов вулканизма на химический и минеральный состав осадков влияет поствулканическая газовой-гидротермальная деятельность. Однако значения железо-марганцевого модуля (см. табл. 27) свидетельствуют (кроме образца KV-84-x графитистых пород) об отсутствии влияния эггальтивного материала на формирование осадков хирвинаволоковской свиты, а возможное воздействие вулканизма на седиментацию пород, видимо, проявилось только в приносе пеплового материала.

На основании реконструкции исходных отложений пород свиты хирвинаволоок были построены восстановленный разрез и промывной палеолитологический профиль (рис.56), на которых видно, что вверх по разрезу увеличивается доля карбонатного материала и углеродистого вещества и снижается количество песчаного материала. Палеобассейн седиментации, вероятно, был углублен в формы, что определялось структурой Северо-Карельской зоны. Осадконакопление происходило, по-видимому, в небольшом локальном палеобассейне, положение которого было унаследовано от более ранних прогибов. В период накопления осадков, обогащенных ОБ, площадь палеобассейна, видимо, сократилась и он несколько сместился на запад (см.рис.56). Глубина палеобассейна, по-видимому, иногда не превышала 50-60 м, что объясняется находками в карбонатных породах следов жизнедеятельности синезеленых водорослей (строматолитов), которые могли жить на глубинах не более 50-60 м /I, II, III и др./.

Если рассматривать отложения района, начиная с нижележащей кукасоверской свиты, то общая последовательность осадконакопления в палеобассейне выражается в закономерной смене (снизу вверх) песчанистых (верхняя толща кукасоверской свиты), глинисто-алевритовых (I-II пачки свиты хирвинаволоок), глинисто-карбонатных (III), карбонатных (IV) и обогащенных органическим веществом (высокоуглеродистых) осадков (V) (см.рис.56), соответствующих трансгрессивному циклу. Завершалось осадконакопление в палеобассейне застойными условиями со следами сероводородного заражения.

Значительная часть пород свиты содержит углеродистое вещество и большинство фигуративных точек этих пород на диаграмме ASC (рис.57) ложатся в поле углеродисто-карбонатной ассоциации.

Таким образом, из рассмотрения петрохимических особенностей свиты хирвинаволоок следует, что формирование исходных отложений происходило в каких-то мелководных (прибрежно-морских, континентальных) палеобассейнах при теплом, тропическом палеоклимате. Об этом свидетельствует и присутствие в разрезе углеродистых карбонатных пород, которые в раннем докембрии накапливались на глубинах не более 50 м /III, II2 и др./. Незначительное количество в составе свиты дифференцированных осадков (кварцита II пачки), низкая степень зрелости пород, выражающаяся

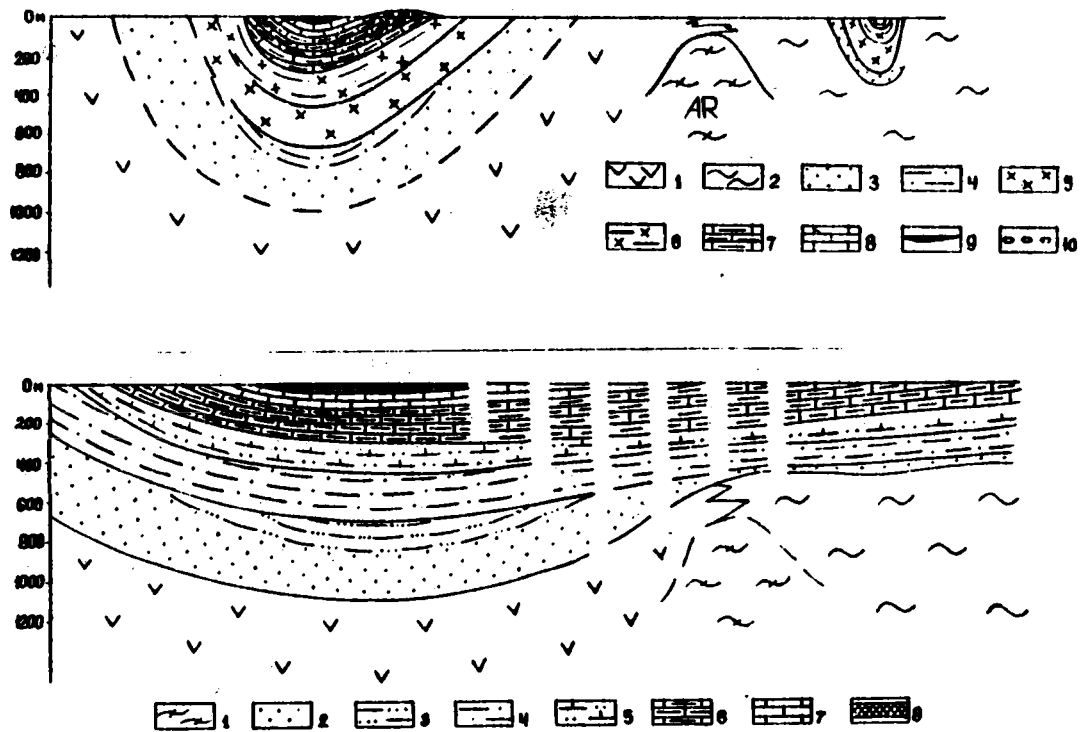


Рис. 56. А. Схематический продольный профиль района оз.Кукас. Составлен по данным Н.М.Демидова и К.О.Кратца /39, 50/.

В. Схематический продольный литологический профиль Кукасозерского палеобассейна.

А. I - вулканогенная (нижняя) толща кукаозерской свиты, 2 - породы ириногорской свиты, 3 - кварциты верхней толщи кукаозерской свиты, 4 - слюдистые карбонатные кварциты верхней толщи кукаозерской свиты; свита хирываолок: 5 - параамфиболиты I пачки, 6 - переслаивание параамфиболитов и сланцев II пачки, 7 - переслаивание параамфиболитов, сланцев и карбонатных пород, часто с углеродистым веществом, пачка III, 8 - карбонатные породы, часто с углеродистым веществом, пачка IV, 9 - высокоуглеродистые породы V пачки, 10 - конгломераты.

Б. I - гнейсы, гранито-гнейсы архея, 2 - существенно кварцевые песчаники, 3 - карбонат-глинистые песчаники, 4 - карбонат-песчаные глины, 5 - карбонат-глинистые песчаники, карбонатные глины, 6 - переслаивание глинистых песчаников, карбонат-песчаных глин, карбонатных отложений, часто содержащих ОБ, 7 - карбонатные отложения часто с ОБ, 8 - карбонат-территиновые отложения, обогащенные ОБ.

Термин "песчаник" используется для простоты изложения, фактически в равной мере вероятны и алевролитовые исходные породы.

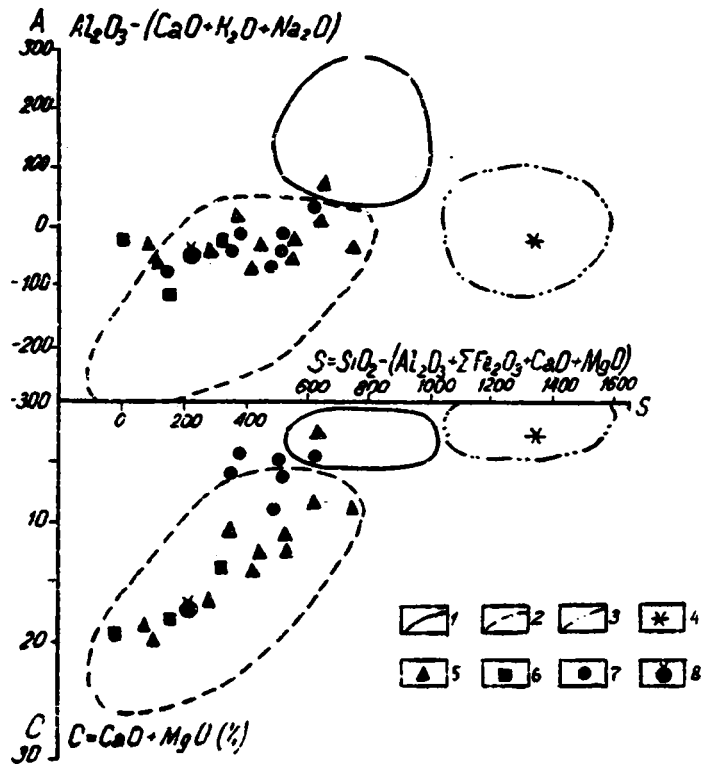


Рис. 57. Фигуративные точки углеродсодержащих-высокоуглеродистых пород свиты хирвинаволоков на диаграмме ASC.

1 - углеродисто-терригенная ассоциация, 2 - углеродисто-карбонатная ассоциация, 3 - углеродисто-кремнистая ассоциация, 4 - породы II пачки, 5 - породы III пачки, 6 - карбонатные породы IV пачки, 7 - графитистые породы V пачки, 8 - углеродсодержащие параамфиболиты (по 9 анализам).

в широком развитии в первичных осадках неустойчивых минералов (полевые шпаты) и в существенно гидрослюдисто-хлоритовом составе глинистой части осадка, могут свидетельствовать о расчлененности рельефа в области сноса и низкой степени химического выветривания, довольно быстрых темпах денудации, переноса и захоронения терригенного, вулканогенно-терригенного материала в условиях переменного влажного палеоклимата.

#### 4. Породы свиты соваэры

Присутствие вулканогенного материала в породах свиты проявляется в том, что фигуративные точки исследуемых пород на диаграммах ( $CaO-Na_2O$ ) индиката ложатся в поля туфитов и магматических пород. На присутствие вулканогенного материала основного состава указывают и повышенные количества  $TiO_2$  в исследуемых породах (до I, 86%). Наблюдаемая в одном из обнажений (рис. 58) обратная зависимость между содержаниями  $C_{орг}$  и  $TiO_2$ , по-видимому, может служить одним из критериев, отличающих осадочных, вулканогенно-осадочных отложений от существенно вулканогенных пород.

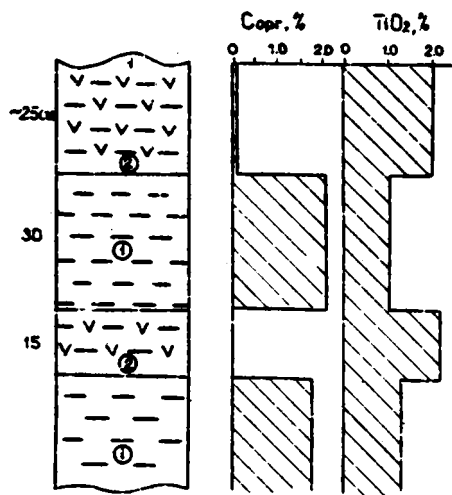


Рис. 58. Распределение  $C_{орг}$  и  $TiO_2$  в амфиболовых сланцах (I) и метаэффузивах (2).

Почти все углеродсодержащие, углеродистые породы свиты сосредоточены в I-ой толще, представленной переслаиванием ли-

Индикаторные отношения в породах свиты соваярви

| Порода                                     | Степень зрелости осадка<br>( $Al_2O_3/SiO_2$ )                      | Интенсивность химического выветривания |                          | Присутствие полевых шпатов  |  |                                |
|--|---|--|--------------------------|---|--|--------------------------------|
|  |   | $Al_2O_3/Na_2O$                        | $K_2O/Na_2O$             | $K_2O/Al_2O_3$  | $Na_2O/Al_2O_3$                                      | $K_2O+Na_2O/Al_2O_3$           |
| Лидиты                                     | 0,003-0,03  | 6,6-30,7                               | -                        | -   | -  | <u>0,15-3,33</u><br>1,22       |
| Бистит-кварцевые сланцы                    | <u>0,17-0,22</u><br>0,20  | <u>2,7-3,6</u><br>2,99                 | <u>0,05-0,40</u><br>0,26 | <u>0,018-0,13</u><br>0,09   | <u>0,28-0,37</u><br>0,34                             | <u>0,38-0,50</u><br>0,42       |
| Амфиболсодержащие сланцы                   | <u>0,25-0,32</u><br>0,28  | <u>3,00-6,2</u><br>4,2                 | <u>0,09-1,21</u><br>0,32 | <u>0,02-0,23</u><br>0,07  | <u>0,16-0,33</u><br>0,26                             | <u>0,18-0,43</u><br>0,32       |
| Высокоуглеродистые породы                  | <u>0,24-0,32</u><br>0,29  | <u>2,2-10,5</u><br>5,02                | <u>0,19-1,43</u><br>0,63 | <u>0,08-0,18</u><br>0,12  | <u>0,10-0,45</u><br>0,26                             | <u>0,23-0,53</u><br>0,38       |
| Индикаторные отношения в осадочных породах | глины: 0,27-0,37; граувакки: 0,23; алевролиты, песчаники: 0,07-0,20 | 30 > низкая < 8<br>30-60 средняя       | 8-15                     | в мусковите - 0,31;<br>в ортоклазе - 0,92<br>монтмориллонитовые глины<br>0,02-0,11<br>гидрослюдистые глины<br>0,14-0,21 | в альбите - 0,55;<br>олигоклазе - 0,37<br>0,016-0,16 | полевошпатовые песчаники > 0,5 |

Таблица 29 (продолжение)

## Индикаторные отношения в породах свиты созарви

| Порода                                     | Фациальные условия<br>(CaO+MgO/SiO <sub>2</sub> )                     | Породы области<br>сисса<br>(TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | Эксплятивный<br>привнос<br>элементов<br>(Fe+Mn/Ti) | Показатель палеоклимата                          |                                    |
|--|---|--|--|--|------------------------------------|
|  |   |  |  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O |
| Лидиты                                     | <u>0,005-0,021</u><br>0,011   | -  | 21,0-46,3  | -  | -                                  |
| Биотит-кварцевые сланцы                    | <u>0,07-0,10</u><br>0,086   | <u>0,05-0,11</u><br>0,073  | 6,6-11,6   | <u>8,92-21,10</u><br>15,37                       | <u>0,82-2,93</u><br>1,69           |
| Амфиболсодержащие сланцы                   | <u>0,20-0,43</u><br>0,29  | <u>0,036-0,12</u><br>0,077   | 6,8-15,4   | <u>8,24-27,51</u><br>15,62                       | 8,2-20,4                           |
| Высокоуглеродистые породы                  | <u>0,08-0,14</u><br>0,106   | <u>0,034-0,082</u><br>0,058  | 2,8-13,7   | <u>12,07-29,18</u><br>18,50                      | <u>0,70-5,26</u><br>2,74           |
| Индикаторные отношения в осадочных породах | Прибрежно-морские пески - 0,16,<br>глины геосинклинальной зоны - 0,18 | Базальты - 0,07-0,20.<br>Гранитоиды - 0,03                                     | >25 наличие эксплятивного привноса                 | 20>гумидный<br>30<аридный                        | 3,5>гумидный<br>3,5<аридный        |



литов, углеродсодержащих сланцев (амфиболовых, биотит-кварцевых), высокоуглеродистых и карбонатных отложений (см. приложение IV).

Лидиты. Проанализированные образцы этих пород ( $SiO_2 = 90,81 - 93,25\%$ ) на диаграмме А.Н.Неелова (рис. 59) ложатся вблизи точки ортокварцитов. Значения ряда индикаторных отношений (табл. 29) свидетельствуют, что исследуемые породы относятся к чисто кварцевым пескам, а небольшие количества камня в них связаны с полевыми шпатами типа ортоклаза. По величине карбонатного модуля лидиты (см. табл. 29) лежат ближе всего к континентальным гумидным пескам (0,028-0,030).

Кремнистые породы нижнего палеозоя обычно представлены яшмами и фтанитами, отличающиеся друг от друга по содержанию Fe, Mn,  $P_2O_5$  и  $C_{орг}$  /127/.

Таблица 30

Средние содержания Fe, Mn,  $P_2O_5$  и  $C_{орг}$  в яшмах (1), фтанитах (2) и лидитах свиты совадьви (3), вес. %

|   | Fe   | Mn    | $P_2O_5$ | $C_{орг}$ |
|---|------|-------|----------|-----------|
| 1 | 2,12 | 0,28  | 0,05     | -         |
| 2 | 1,30 | 0,035 | 0,33     | 1,32      |
| 3 | 0,64 | 0,002 | 0,08     | 1,46      |

Как видно из таблицы 30, исследуемые породы по содержанию Fe, Mn,  $C_{орг}$  более близки к фтанитам, чем к яшмам. Кроме того, лидиты практически бескарбонатны и в них отмечается корреляционная зависимость Fe с Al, что также характерно для фтанитов. Таким образом, кремнистые породы свиты, по основным параметрам, близки фтанитам нижнего палеозоя.

Углеродсодержащие биотит-кварцевые сланцы на диаграмме FA поведут как в поле осадочных, так и в поле туффитов, что свидетельствует, по-видимому, о примеси вулканокластического материала в составе этих пород. Низкие значения ряда отношений (см. табл. 29) говорят о низкой зрелости пород и о том, что первоначально это были полевошпатовые, а точнее плагиоклазовые песчаники. Литохимические пересчеты (табл. 31, п. I) показали, что содержание нормативных глинистых минералов не превышает 18%, среди них гидрослюда, хлорит, серпентин. Присутствие среди перечисленных минералов - хлорита, серпентина, гетита - может ука-

Таблица 31

## Нормативный минеральный состав пород свиты ссаярви

| Компоненты исходных пород |                | Типы метаморфических пород  |                              |                               |                               |                        |
|---------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Минеральные группы        | Минералы       | Биотит-кварцевые сланцы (3) | Амфиболсодержащие сланцы (5) | Высокоуглеродистые породы (2) | Высокоуглеродистые породы (3) | Карбонатные породы (5) |
|                           |                | 1                           | 2                            | 3                             | 4                             | 5                      |
| Обломочная                | Кварц          | <u>20,65-35,32</u>          | <u>15,43-19,59</u>           | <u>0,95-6,00</u>              | <u>12,34-21,20</u>            | <u>0,0-13,76</u>       |
|                           |                | 26,06                       | 16,64                        | 3,48                          | 15,69                         | 6,65                   |
|                           | Плагиоклаз     | <u>35,70-48,01</u>          | <u>21,66-36,59</u>           | <u>39,91-61,39</u>            | <u>10,89-19,64</u>            | <u>4,11-10,25</u>      |
|                           |                | 40,65                       | 30,86                        | 50,65                         | 16,40                         | 6,69                   |
|                           | Ортоклаз       | <u>0,00-4,84</u>            | <u>0,00-6,51</u>             | <u>6,34-7,81</u>              | -                             | <u>0,0-5,61</u>        |
| Сумма                     | 71,73          | 48,80                       | 61,21                        | 32,09                         | 14,62                         |                        |
| Глинистая                 | Гидрослюда     | <u>2,14-10,54</u>           | <u>3,01-21,18</u>            | <u>1,86-13,51</u>             | <u>7,83-13,26</u>             | <u>0,0-3,61</u>        |
|                           |                | 7,06                        | 7,22                         | 7,69                          | 9,76                          | 1,55                   |
|                           | Монтмориллонит | -                           | -                            | -                             | <u>0,00-5,89</u>              | -                      |
|                           |                |                             |                              | 1,96                          |                               |                        |
|                           | Хлорит         | <u>0,00-13,48</u>           | <u>0,0-32,17</u>             | -                             | <u>13,01-19,65</u>            | <u>0,0-4,70</u>        |
|                           |                | 7,89                        | 17,54                        |                               | 15,82                         | 1,98                   |
|                           | Серпентин      | <u>0,0-8,40</u>             | <u>0,0-8,05</u>              | <u>2,37-4,64</u>              | <u>0,00-4,93</u>              | -                      |
|                           |                | 2,80                        | 2,66                         | 3,50                          | 2,64                          |                        |
| Сумма                     | 17,75          | 27,42                       | 11,19                        | 30,18                         | 3,53                          |                        |

Таблица 31 (продолжение)

| Минеральные группы                    | Минералы | 1                | 2                 | 3                  | 4                  | 5                  |
|---------------------------------------|----------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Железистая                            | Гетит    | <u>0,0-5,07</u>  | <u>0,0-9,13</u>   | <u>1,71-3,04</u>   | <u>0,0-2,09</u>    | <u>0,0-3,82</u>    |
|                                       |          | 2,40             | 4,13              | 2,37               | 1,36               | 0,98               |
| Карбонатная                           | Кальцит  | <u>0,0-5,07</u>  | <u>0,0-14,13</u>  | -                  | <u>0,0-2,10</u>    | <u>0,0-24,67</u>   |
|                                       |          | 1,43             | 2,38              | -                  | 0,70               | 8,24               |
|                                       | Доломит  | <u>0,0-4,76</u>  | <u>4,62-17,63</u> | <u>0,97-2,81</u>   | <u>0,0-2,11</u>    | <u>42,30-89,98</u> |
|                                       |          | 1,79             | 11,64             | 1,89               | 1,29               | 67,30              |
|                                       | Анкерит  | <u>0,0-3,60</u>  | <u>0,0-8,00</u>   | -                  | <u>0,0-0,45</u>    | <u>0,39-8,09</u>   |
|                                       |          | 1,20             | 1,87              | -                  | 0,14               | 4,66               |
|                                       | Сидерит  | -                | <u>0,0-0,47</u>   | -                  | -                  | -                  |
|                                       |          |                  | 0,09              |                    |                    |                    |
| Сумма                                 |          | 4,42             | 16,43             | 1,89               | 2,13               | 81,16              |
| Углерод                               |          | <u>1,53-4,13</u> | <u>1,42-2,64</u>  | <u>20,27-24,97</u> | <u>28,57-37,50</u> | не опр.            |
| Прочие минералы титана, фосфора и др. |          | 2,63             | 1,84              | 22,62              | 33,55              |                    |
|                                       |          | <u>0,84-1,37</u> | <u>0,82-2,33</u>  | <u>0,54-0,89</u>   | <u>0,69-0,71</u>   | <u>0,22-0,98</u>   |
|                                       |          | 1,05             | 1,38              | 0,72               | 0,70               | 0,65               |

Примечание. Вероятные типы исходных отложений: 1 - слабо глинистый песчаник, 2 - карбонат-глинистый песчаник, 3 - полевошатовый песчаник, обогащенный органическим веществом, 4 - глино-песчаная порода, обогащенная органическим веществом, 5 - карбонатная (существенно доломитовая) порода с терригенным материалом.

Пересчеты произведены по методике О.М.Розена 84 .

зывать на присутствие основных пород в области сноса и наличие вулканогенной примеси в составе пород. Обломочная часть пород, по-видимому, была представлена кварцем и полевым шпатом, главным образом плагиоклазом (плагиоаркозы, граувакки). По градулометрическому составу это были, по-видимому, крупнозернистые разности (количество обломочных компонентов достигает 72-77%,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$ ), это подтверждается и расположением фигуративных точек вблизи точки грубозернистой граувакки на диаграмме Ф.Петтиджона. О том, что это были граувакковые песчаники, говорят и значения кремневого модуля (0,17-0,20) и ряд других отношений (см.табл.29). Это подтверждается и диаграммой  $\text{CaO}/\text{MgO}-\text{CaO}$  (рис.60). На диаграмме А.Н.Неелова (см.рис.59) анализы данных сланцев попадают в поле слабо дифференцированных в химическом отношении осадков, то есть граувакк, песчаников с глинистым цементом. По величине карбонатного модуля (0,07-0,10) (среднее по 4 ан. = 0,083) биотит-кварцевые сланцы лежат ближе всего к пелагическим пескам (0,085).

В углеродсодержащих амфибол-сланцевых сланцах значение кремневого модуля равно 0,25-0,32 (среднее 0,28), что свидетельствует об относительно невысокой зрелости осадков и, вероятно, о присутствии в них вулканогенного материала. О большей или меньшей примеси основного вулканогенного материала свидетельствует положения фигуративных точек этих сланцев на диаграмме FA, где они попадают в поля базитов, их туфов и туффитов. Из всех рассматриваемых вулканогенно-осадочных пород данной свиты эта группа пород является наиболее "вулканогенной". Это и подтверждает и диаграмма  $\text{CaO}/\text{MgO}-\text{CaO}$  (рис.60), где точки этих сланцев лежат ближе всего к фигуративным точкам базальтов и пеллов. Величины индикаторных отношений (см.табл.29) свидетельствуют об очень низкой степени химического выветривания пород, о том, что первичные породы были существенно натровые и что количество обломочной полевошпатовой составляющей иногда было значительно.

Проведенные литохимические пересчеты данных сланцев (см. табл.31, п.2) показали, что первоначально это, вероятно, были известково-глинистые песчаники, в которых содержание нормативных карбонатных минералов достигало 20%, а содержание глинистых - 30% и более, причем широко был представлен хлорит, иногда присутствовал нормативный серпентин. Проведенные расчеты показали, что наблюдался хлорит двух типов: резко высокомагнезиальный с коэффициентом железости  $F=0,188$ , и более распространенный, маг-

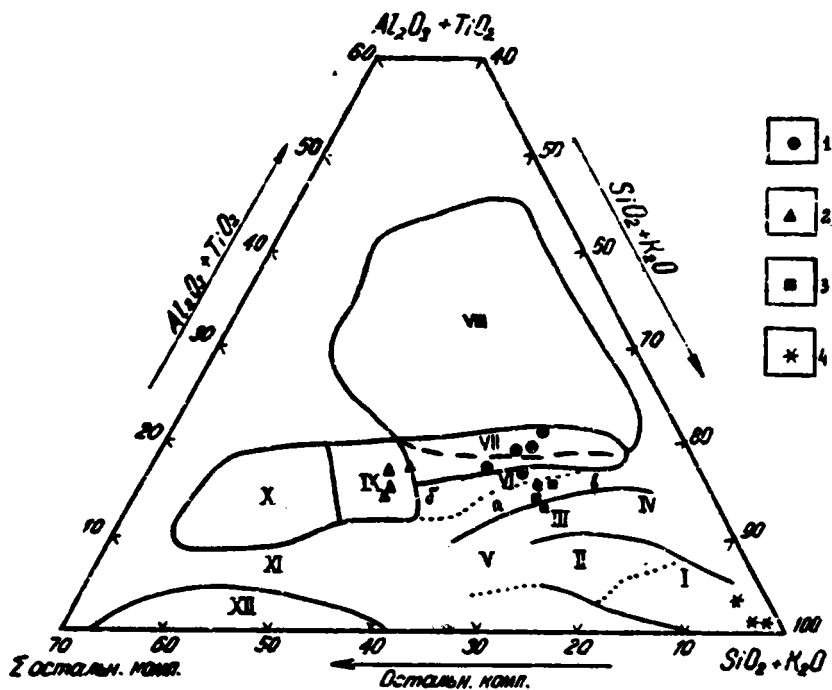


Рис. 59. Фигуративные точки пород свиты соваярви на диаграмме А.Н.Целова /74/.

I - кварцевые песчаники, кварциты; II - олигомиктовые песчаники, кварцито-песчаники; III - полимиктовые песчаники; IV - аркозовые песчаники; V - известковые песчаники, железистые песчаники и др.; VI - слабо дифференцированные в химическом отношении осадки; а - преимущественно граувакки, б - преимущественно полимиктовые слевролиты, в - песчаники с глинистым цементом и континентальные глины холодного и умеренного климата; VII - умеренно дифференцированные в химическом отношении глины, морские и континентальные глины холодного и умеренного климата; VIII - сильно дифференцированные в химическом отношении глины гумидного климата; IX - карбонатные и железистые глины; X - мергели; XI - кремнистые мергели, железистые песчаники и др.; XII - железистые кварциты.

1 - высокоуглеродистые породы, 2 - амфиболовые сланцы, 3 - биотит-кварцевые сланцы, 4 - лилиты.

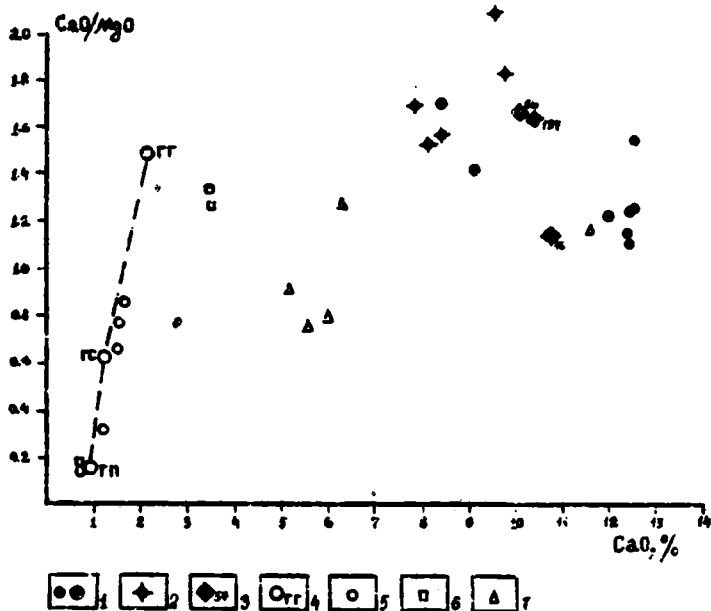


Рис. 60. Фигуративные точки пород свиты соваярви на диаграмме CaO/MgO-CaO.

1 - единичные и средние составы пеплов Камчатки /64/, 2 - базальты Карелии /30/, 3 - средние составы базальтов и число анализов /134/, 4 - ГТ, ГС, ПП - грубозернистая, среднезернистая и мелитовая граувакка /136/, 5 - высокоуглеродистые породы, 6 - биотит-кварцевые сланцы, 7 - амфиболсодержащие сланцы.

Незначительно-железистый с  $F = 0,48$ . В обломочной части количество полевых шпатов, преобладало над количеством кварца. Соотношение нормативных полевых шпатов показывает резкое преобладание плагиоклаза над количеством калиевого полевого шпата, что, по-видимому, свидетельствует о дефиците калиевого полевого шпата в породах области питания. Наличие в составе нормативных минералов - хлорита, серпентина, гетита свидетельствует о присутствии в области размыва основных пород. Фигуративные точки этих сланцев на диаграмме Ф.Петтиджона ложатся в центральную часть поля граувакк, а

на диаграмме А.Н.Неелова (см.рис.59) эти сланцы попадают в поле карбонатных и железистых глин.

Значение карбонатного модуля этого типа пород колеблется в пределах 0,20-0,43 (среднее 0,29), что близко к значениям прибрежно-морских осадков геосинклинальной зоны (0,16-0,18).

Высокоуглеродистые породы святи соваярви по содержанию петрогенных элементов и  $C_{орг}$  разбиваются на две группы: I) более кремнеземистые ( $SiO_2 = 44,74-49,18$ ) и глиноземистые ( $Al_2O_3 = 14,21-14,68$ ) породы, содержащие значительные количества щелочных и щелочно-земельных элементов  $\Sigma_{щ+щз} = 10,35-11,70\%$  с относительно низкими содержаниями  $C_{орг}$  (20,49-24,63). Ко второй группе относятся породы с содержанием  $C_{орг}$  25,90-39,80% при более низких содержаниях  $SiO_2$  (34,70-39,27%) и  $Al_2O_3$  (9,30-11,02%).

Значения индикаторных отношений (см.табл.29) указывают на то, что первичные отложения были представлены слабо выветрелыми породами типа граувакк, а также на возможное присутствие в их составе вулканогенного материала. Для высокоуглеродистых пород I группы индикаторные отношения (см.табл.29) указывают на первичные породы как существенно полевошпатовый главным образом плагиоклазовый песчаник. В то же время во II группе эти же отношения (см.табл.29) указывают на то, что большая часть  $M$  и  $K$  связана с глинистой частью породы, т.е. это, вероятно, были глинистые граувакки.

По данным литохимических пересчетов высокоуглеродистые сланцы I группы представляют собой глинисто-углеродистый плагиопесчаник (табл.31, п.3). По гранулометрическому составу (количество обломочных компонентов 56-69%,  $K_2O/Na_2O = 0,2-0,6$  это были скорее всего грубо- и среднезернистые песчаники. Их отличительной чертой является то, что количество обломочных полевых шпатов, достигая величины 47-68%, резко преобладает над количеством кварца.

Полевые шпаты представлены главным образом плагиоклазом и в меньшей мере калиевым полевым шпатов. Глинистые минералы не превышают 16% и содержат гидрослюда и нормативный серпентин.

Высокоуглеродистые породы второй группы по литохимическим пересчетам представляют собой глинисто-углеродистые песчаники (см.табл. 31, п.4). Количество полевошпатовых (плагиоклазовых) и кварцевых обломков в них уменьшается по сравнению с породами I группы до 32-33%, а количество глинистых минералов увеличивается до 35%, причем значительную часть составляют магнетизально-же-

лезистые минералы: хлорит (13-19%) и нормативный серпентин (до 5%). По гранулометрическому составу это, по-видимому, были более тонкозернистые породы, о чем говорят сопоставимые количества обломочных и глинистых составляющих, величина отношения  $K_2O/Na_2O=0,45-1,43$ , а также более близкое расположение фигуративных точек этих пород к точке глинистых граувакк (см.рис.60).

Значения карбонатного модуля высокоуглеродистых пород (0,08-0,14) соответствуют прибрежно-морским отложениям.

Карбонатные породы представлены существенно доломитовыми разностями, которые иногда содержат значительные количества  $SiO_2$  (до 22%).

Проведенные литохимические пересчеты (см.табл.31, п.5) показали, что первоначально это могли быть песчанистые карбонатные породы, терригенная часть которых была представлена кварцем, плагиоклазом и ортоклазом, а глинистая составляющая - небольшим количеством гидрослюда и хлорита. По величине параметров  $M, A'$  и  $K/82$ , исходными породами могли являться доломиты и известковые доломиты, с терригенной примесью, подчиненные вулканогенно-терригенно-осадочным фациям.

Результаты анализа отношений  $Al_2O_3/TiO_2$  и  $Na_2O/K_2O$  (см. табл.29) в большинстве своем указывают на гумидную палеоклиматическую обстановку в области сноса. В то время как присутствие карбонатных (существенно доломитовых) пород, видимо, свидетельствует об аридных чертах палеоклимата.

... основание реконструкции исходных отложений свиты были построены восстановленный разрез и продольный палеолитологический профиль соваярвинского палеобассейна, который аналогичен профилю палеобассейна построенному другими исследователями /32/. Условия седиментогенеза в **разных частях бассейна отличались**, что и привело к формированию различных литологических типов отложений - существенно граувакковому на севере и существенно карбонатному на юге.

Породы свиты имеют слоистость, указывающую как на признаки накопления осадков в условиях ниже деятельности волн (150-200 м) (выдержанная неясная горизонтальная слоистость с мощностью слоев 0,5-10-15 см), так и слоистость, отражающую накопление осадков в условиях мелководного бассейна (невыдержанная горизонтальная, волнистая, линзовидная слоистость) /66/.

Фигуративные точки углеродсодержащих амфиболовых сланцев на диаграмме  $A^*SC$  (рис.61) ложатся в поле углеродисто-карбонат-



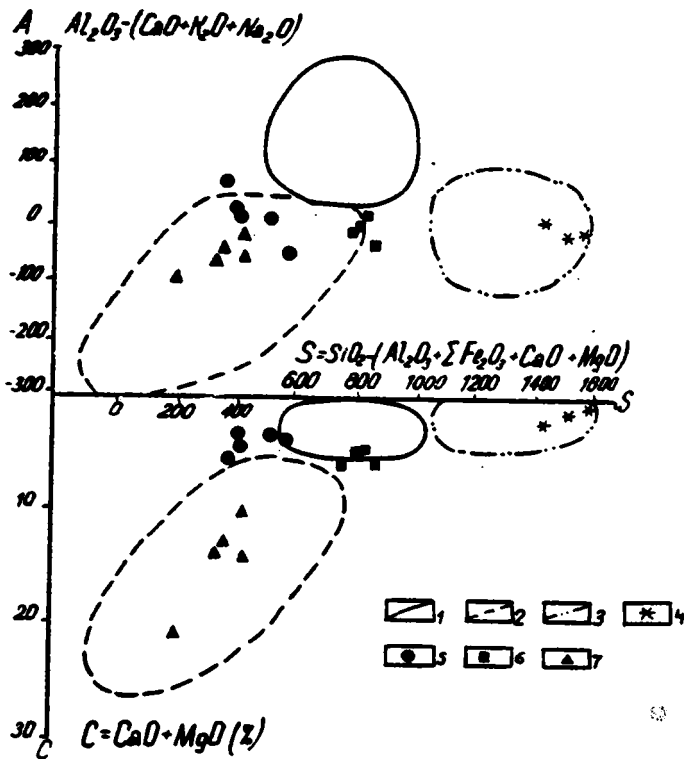


Рис. 61. Фигуративные точки углеродсодержащих-высокоуглеродистых пород свиты соваярви на диаграмме *ASC*.

1 - углеродисто-терригенная ассоциация, 2 - углеродисто-карбонатная ассоциация, 3 - углеродисто-кремнистая ассоциация, 4 - линзты, 5 - высокуглеродистые породы, 6 - биотит-кварцевые сланцы, 7 - амфиболовые сланцы.

ной ассоциации, а биотит-кварцевые сланцы и высокоуглеродистые породы, по-видимому, имеют признаки как углеродисто-карбонатной, так и углеродисто-терригенной ассоциации (рис. 6I). Углеродистые силлиниты (лиллиты) на той же диаграмме попадают в поле углеродисто-кремнистой ассоциации. Учитывая, что эта диаграмма не отражает влияния вулканизма, а в данном случае оно существовало, эти отложения могут быть отнесены к вулканогенно-кремнисто-(карбонатно)-углеродистой ассоциации /35/.

Таким образом, суммируя данные петрохимического анализа пород свиты соваярви, можно сделать вывод, что материал для образования этих пород поставляли: 1) кислые и средние **магматические и метаморфические** породы, возможно, породы беломорской серии (присутствие нормативных ортоклаза, плагиоклаза, кварца); 2) основные вулканические породы (присутствие магнезиального хлорита, серпентина, гетита); 3) прокластический материал синхронных, с седиментогенезом, вулканических процессов. По величине железомарганцевого модуля (см. табл. 29) можно судить, что влияние поствулканической газовой-гидротермальной деятельности сказывается, по-видимому, только в лиллитах (2I,0-46,3), все остальные породы, возможно, не содержат признаков эксплятивной деятельности.

Осадкообразование происходило, по-видимому, в континентальных, прибрежно-морских, мелководно-морских палеобассейнах в условиях переменного-влажного палеоклимата. Резкое преобладание закисного Fe над окисным ( $FeO/Fe_2O_3 = 12,09$ , среднее для биотит-кварцевых сланцев; 132,8 - амфиболсодержащих сланцев; 10,20 - для высокоуглеродистых пород; 7,26 - для карбонатных пород), часто при высоком содержании  $Fe_{сум.}$  и присутствии высоких концентраций углеродистого вещества, свидетельствует о восстановительной и резко восстановительной среде в палеобассейне.

## В. Условия формирования углеродсодержащих пород

Из анализа геохимических и петрохимических особенностей изученных пород следует.

1. Первичные отложения свиты хизовара и серии кейв сформировались в весьма сходных палеогеографических, палеоклиматических и палеотектонических условиях.

а) Коры глубокого химического выветривания, поставившие материал в палеобассейны седиментации, были расположены на пенецленезированном палеоконтиненте и существовали длительное время в условиях стабильного тектонического режима; материал, поступающий в палеобассейны, был, в основном, терригенного характера и носил следы интенсивной механической и химической дифференциации (каолиновые глены - кварцевые пески), о чем ныне могут свидетельствовать присутствующие в разрезах кванитовые сланцы и кварциты.

Об этом же свидетельствуют и значения ряда отношений:

$Al_2O_3/SiO_2=0,56-0,73$ ;  $Al_2O_3/Na_2O$  до 340-372 и др. (см. табл. 24, 25) и положение фигуративных точек данных пород на диагностических диаграммах в полях умеренно и сильно дифференцированных в химическом отношении осадков, а также высокие содержания ряда элементов-гидролизатов ( $Al=15-19\%$ ,  $Ga=50-125$  г/т,  $Zr=550-810$  г/т  $Y$ ) и их тесная корреляционная зависимость.

б) Имеющиеся различия в нормативном минеральном составе первичных пород исследуемых свит определялись, по-видимому, различием пород областей сноса (гранитоиды - для района седиментогенеза серии кейв и более основные породы - для района свиты хизовара). Эти различия, видимо, определялись и более благоприятными палеогеографическими условиями для седиментогенеза осадков серии кейв (возможно более равнинный континент, более длительно существующие коры выветривания и отсюда более тонкий и более выветрелый материал, поступающий в палеобассейн). На это указывают и более мощные горизонты кванитовых сланцев и кварцитов в серии кейв, и более высокие содержания наиболее инертных элементов - гидролизатов  $Al$  до 19%,  $Ga$  до 125 г/т,  $Zr$  до 810 г/т. Это подтверждается также и литохимическими пересчетами (см. табл. 23, 26) и значениями некоторых отношений петрогенных элементов (см. табл. 24, 25). Со структурных позиций это объясняется тем, что палеобассейн серии кейв формировался в пределах осевой части Кольского мегаблока, наиболее стабильной части Кольского по-

луострова. В то время как палеобассейн свиты хизовара был расположен в более подвижной зоне — Северо-Карельской синклиналиной зоне.

в) Палеоклимат эпохи седиментогенеза данных свит, по-видимому, был влажный, теплый, жаркий, а осадки отлагались в континентальных палеобассейнах. На это указывает то, что первичные осадки (особенно серии кейв) в значительной степени были представлены каолинистыми глинами, а каолинит является типоморфным минералом континентальных гумидных тропических обстановок /40, 83, 93 и др./ . Об этом говорят значения ряда индексов ( $Al_2O_3/SiO_2 > 0,56$ ;  $CaO+MnO/SiO_2 = 0,028-0,030$ ;  $Al_2O_3/Na_2O > 100-150$  и др.), повышенные содержания ряда элементов (Al, Ga, F) и небольшие концентрации B, Li, Rb . Эти данные и величины отношений (B/Ga, B/Li,  $K_2O/B$ ) могут говорить о существенно пресноводном характере палеобассейнов, которые имели небольшие глубины. Доказательством мелководности бассейна могут служить текстурные признаки, такие, например, как рябь волнистая /5/, что отвечает глубинам не более 100-200 м. Следует отметить, что на общий мелководный характер докембрийских палеобассейнов указывается целым рядом исследователей /93, 120, 121 и др./ .

Таким образом, в период формирования первичных осадков свиты хизовара и серии кейв на пенецленнизированном палеоконтиненте были развиты коры выветривания каолинитового типа (в большей мере это относится к району седиментации серии кейв), существовавшие довольно длительное время при стабильном тектоническом режиме. Коры выветривания были развиты как на гранитоидных, так и на более основных породах. Палеобассейны седиментации были континентального (для отложений серии кейв) и континентально-прибрежно-морского (для пород свиты хизовара), типов, причем имели мелководный характер и были пресноводными..

В породах серии кейв и в значительной части пород свиты хизовара наблюдается присутствие заметных количеств  $C_{орг}$ . В отложениях серии кейв наибольшие содержания  $C_{орг}$  (до 2,14%) приурочены к клянитовым сланцам, то есть наиболее тонкозернистым породам, сформировавшимся в период наибольшей тектонической стабилизации, когда поступление терригенного материала было минимальным. В породах свиты хизовара наиболее высокие концентрации  $C_{орг}$  (до 3,23%) приурочены к клянит-кварцевым сланцам, которые первоначально были представлены каолинитсодержащими квар-

невысокими значениями, которые обычно объясняются воздействием выветривания. Повышенные количества  $S_{орг}$  в этих сланцах отражают известную в фанерозое факти, когда континентальные песчаные отложения содержат больше  $S_{орг}$ , чем глинистые породы /III и др./.

2. Породы свиты хирьвинаволоков и соварвы также имеют ряд черт, свидетельствующих, что они образовались при сходных палеогеографических и палеоклиматических условиях.

а) Как следует из рассмотренных химических анализов, с учетом значений ряда отношений ( $Al_2O_3/SiO_2 = 0,22-0,28$ ;  $Al_2O_3/Na_2O$  30;  $K_2O/Na_2O < 1$ ), литохимических пересчетов (см. табл. 28, 31) и некоторых диаграмм (А.А.Предовского, Ф.Леттиджона и других), породы областей сноса в общих случаях были представлены как породы кислого, среднего (присутствие нормативных - ортоклаза, плагиоклаза, кварца), так и в большинстве, основного состава (присутствие нормативных - хлоритов, небольших количествах серпентина, гетита). На последние также указывают повышенные содержания в породах  $Sr$ ,  $V$ ,  $Ti$ ,  $Co$ ,  $Fe$  и других элементов (см. табл. 17, 20), характерных для основных пород. Материал, поступивший в палеобассейн, имел довольно низкую степень химического выветривания, в составе осадков значительное место занимали полевые шпаты, хлориты, гидросоли и, по-видимому, первичные породы в значительной степени были представлены траубакками и субтраубакками. Это может свидетельствовать о расчлененности рельефа в области сноса, довольно быстрых темпах денудации, переноса и захоронения терригенного, вулканогенно-терригенного материала.

б) На основе анализа величин отношения  $CaO+MgO / SiO_2$ , содержащий  $B$ ,  $Mn$ ,  $Ba$ ,  $Sr$  в породах свит, а также рассмотренных диаграмм:  $B-Ca$ ,  $K_2O-B$ ,  $B-Ti$ ,  $Sr-Ba$  следует, что осадки этих свит отлагались в палеобассейнах континентального, прибрежно-морского типа, глубина палеобассейнов не была постоянной. В разрезах свит наблюдается слоистость, указывающая на накопление осадков как ниже деятельности волн (150-200 м), так и в более мелководных условиях. С небольшой глубиной свидетельствуют и находки в карбонатных породах свиты хирьвинаволоков следов жизнедеятельности низших водорослей (строматолитов), которые могли жить на глубинах не более 50-60 м /I, II, III/.

в) Палеоклимат эпохи седиментогенеза, видимо, был умеренный, маркий, переменного влажного типа, о чем можно судить по вели-

чинам значений  $Al_2O_3/TiO_2$ ,  $Na_2O/K_2O$  (см. табл. 37, 29), концентрации  $Mn$  в породах и характеру его распределения в ряду от существенно кварцевых до карбонатных пород (см. рис. 39, 44), что согласуется с характером его распределения в гнейсовых зонах /87/, а также присутствию в разрезах обеих свит существенно доломитовых пород.

Повышенные концентрации углеродистого вещества (до 30–41%) в составе данных свит объясняется значительными количествами питательных (минеральных) веществ (P, Mn, V и др.), поступающих в палеобассейн седиментации, и повышенными содержаниями  $CO_2$  в атмосфере, что способствовало высокой биопродуктивности планктона в ту эпоху. Накоплению органического вещества способствовало и сероводородное заражение дна палеобассейна, так как, именно, в условиях сероводородного заражения сапропели отличаются максимальными концентрациями и темпами накопления органического вещества. С другой стороны, быстрому захоронению органического вещества благоприятствовали расчлененность рельефа и быстрые темпы денудации, и иногда выбросы вулканокластического материала, что способствовало лучшей его сохранности. Однако высокая биопродуктивность планктона иногда нейтрализовала разбавляющее влияние терригенного материала и формировались высокоуглеродистые породы.

Кроме того, значительные содержания  $C_{орг}$  (30–41%) в какой-то мере свидетельствуют о мелководности и континентальности палеобассейнов, так как, именно, в озерных бассейнах отмечаются наиболее благоприятные условия для фоссиллизации органического вещества /III, 124/. Ряд исследователей /8, 17/ считают высокие концентрации органического вещества "черных сланцев" ( $> 20\%$ ) критерием мелководности бассейнов седиментации.

## Глава IV. Практическое значение углеродсодержащих отложений докембрия

Общезвестно, что с древнейшими (докембрийскими) метаморфическими образованиями связаны многие полезные ископаемые /4, 108 и др./. И с этой точки зрения одно из первых мест среди докембрийских образований занимает углеродсодержащие, углеродистые отложения, которые накапливались в течение всего известного нам возрастного интервала докембрийской истории Земли и с которыми связаны также промышленно важные полезные ископаемые, как *V, U, Cu, Mn, Zn, Pb, Fe, P, пунтит, графит* и другие.

Такая приуроченность перечисленных элементов к углеродсодержащим комплексам объясняется геохимической особенностью этих отложений и способностью таких элементов, как *V, U, Zn, Fe, Cu, S* и др., к концентрации биогенным органическим веществом, что объясняется сорбционными свойствами живого и захороненного органического вещества. Однако присутствие в породах  $C_{орг}$  само по себе еще не определяет потенциальной рудоносности, металлогенетической специализации углеродсодержащих отложений. Для того, чтобы углеродистые породы содержали тот или иной комплекс рудогенных элементов, необходимо выполнение двух важных условий: 1) медленное накопление обогащенных органическим веществом осадков в течение длительных периодов времени (десятки-сотни тысяч лет), что необходимо для проявления во времени физико-химической роли органического вещества и глинистых илов с их способностью к сорбции и комплексообразованию, и переводу из придонных и иловых растворов, рудных элементов в сульфиды. Благоприятными условиями для этого являются длительно существующие палеобассейны с равнинными областями питания и теплым влажным палеоклиматом /99,100/. 2) присутствие в области питания отложений, обогащенных рудными элементами /99,129,131 и др./. Последний фактор некоторые исследователи /130/ считают определяющим. Только в результате совмещения этих двух факторов и последующих диagenетических преобразований могут формироваться потенциально рудоносные углеродистые толщи, пакки, свиты, содержащие также и сингенетические сульфиды.

При наложении на эти углеродистые отложения, в последующей их геологической истории, таких рудомобилизирующих процессов, как метаморфизм, метасоматоз, гидротермальная деятельность, происходит разрушение металлоорганических соединений и сорбционных

связей и при наличии рудомещающих структур (зон преципитативности, флексуриных перегибов, "благоприятных" горизонтов, пластов и т.д.), где могли бы отлагаться рудные компоненты, возможно образование промышленных концентраций перечисленных выше полезных ископаемых.

Так, с углеродистыми породами докембрия связаны месторождения на Балтийском щите - медноколчеданные (Оутокумпу, Выханти, Вуснас и др.), серноколчеданные (Парафдово, Каутовара, Алонвара и др.) медно-никелевые (Печенга), золота и меди (Болинен, Хагери и др.); на Ближнем Кавказе - свинцово-цинковые (Горевское, Линеинское); в Дальнем Кавказе и Забайкалье - свинцово-цинковое (Холоднинское, Озерное), медное (Удоканское); в Северной Киргизии - серноколчеданное (Ачик-Таш) и др.

Известны также те месторождения и в других районах мира: в Чехословакии - пирит-марганцевое (Хвалетиче); в Австралии - серебро-свинцово-цинковое колчеданное (Маунт-Айза, Мак-Артур, Хилтон), медно-урановое (Рам-Джанги), урановое (Джаблунка, Ранжер и др.); в Каньоне Аппалачи - золото-урановое (Витветтерранд) и т.д. /72, 73, 81, 99, 100 и др./.

К исследованным комплексам приурочены месторождения изникита (Кейвы, Хизовара), пирит-пирротиновые рудопроявления, повышенные содержания Ga, Ge, Sn, V, Co, Zn и др. Кроме того, высокоуглеродистые породы свит хирьинаволоков и соваярви сами являются важным полезным ископаемым.

Таким образом, проблема изучения углеродсодержащих, углеродистых отложений как потенциального источника экономически важных рудных элементов имеет большое практическое значение, так как позволяет расширить площади поисковых работ. Кроме того, само углеродистое вещество в виде графитовых, шунгитовых пород высокоуглеродистых отложений (свиты хирьинаволоков и др.) является ценным полезным ископаемым.

Значение углеродсодержащих, углеродистых отложений докембрия обуславливается и прямой связью этих отложений с проблемой формирования первых горючих ископаемых Земли. Так как, по данным ряда исследователей /46, 57, 58, 76 и др./, ныне существующие шунгитовые, углеродистые, графитовые породы докембрия первоначально являлись горючими ископаемыми, причем размеры накопления горючих сланцев и нефти в докембрии, по данным этих исследователей, были более значительными, чем в фанерозое. Это



подтверждается тем, что основным источником органического вещества горючих сланцев, нефти фанерозоя и углеродсодержащих, углеродистых пород докембрия были простейшие организмы планктона и бактерии с органической оболочкой, причем от  $AR_1$  до настоящего времени особую роль играли сине-зеленые водоросли и акритархи /75,76 и др./. Это подтверждается и присутствием в углеродсодержащих, углеродистых отложениях докембрия углеводородов, аминокислот, газов /79,107 и др./. Это подтверждается и тем, что некоторые углеродистые породы сохраняли способность гореть, углеродистые породы толщи Унгава (Канада, возраст толщи более 2,0 млрд. лет) используются для отопления; коль-графит из Юго-Западной Гренландии, содержащий 72-90% горючего вещества с теплотворной способностью 7500-7670 ккал/кг, имеющий возраст 1,8 - 2,0 млрд. лет; антрацитоподобная углистая порода верхнего гурона штата Мичиган (США); карельский шунгит, развивающий при горении тепловую энергию в 7500 калорий (I разность), 4000-5800 кал (II разность) и 3000-4000 кал (III разность) /11,23 и др./.

Таким образом, можно предположить, что в результате прогрессивного метаморфизма в осадочных образованиях, обогащенных органическим веществом, в условиях повышенных T и P происходили несобратимые превращения органического вещества. Это привело в конечном результате к переходу горючих ископаемых докембрия (горючие сланцы, нефть) на качественно новую ступень - в негорючие полезные ископаемые (графитовые, углеродистые месторождения и породы).

Необходимость дальнейших исследований углеродсодержащих пород вытекает и из связи этих отложений с эволюцией органического вещества в геологической истории Земли, с наиболее ранними проявлениями жизни. Находки уже в раннедокембрийских углеродсодержащих отложениях остатков низших водорослей, органических соединений, следов жизнедеятельности, результаты изотопных определений углерода, серы, кислорода и другие данные свидетельствуют о возникновении жизни в районе 4,0 млрд. лет и биогенной природе  $C_{орг}$  в осадочно-метаморфических комплексах докембрия /22,57,58,107,109,133,139,142 и др/.

В последние годы появились данные о том, что уже в раннем докембрии, наряду с бактериями и низшими водорослями, существовали грибы и лишайникоподобные растения, которые и извлекали  $As$ ,  $U$  и другие элементы из окружающей среды в период образования углеродсодержащих пород системы Витватерсранд

Южная Африка) 2,3–2,7 млрд. лет тому назад /135 и др./.

Принято считать, что жизнь зародилась в древних мелководных палеобассейнах, а на сушу она вышла в позднем докембрии или раннем палеозое. Но обнаружение таких многоклеточных растений, как грибы, лишайниковоподобные, в Южной Африке, а также наземных микрофоссилий в калече Центральной Карелии с возрастом около 2,0 млрд. лет / 94/ позволяет предположить заселение суши в более раннее время. Можно только отметить, что многие крупные исследователи (В.И.Вернадский, Б.Б.Полинов, Дж.Бернал и др.) предполагали, что жизнь возникла на суше и уже оттуда древнейшие организмы проникли в палеобассейны.

Как известно, одним из ведущих факторов экзогенных процессов в фанерозое является органическое вещество. Исходя из факта, что жизнь возникла 3,8–4,0 млрд. лет назад, можно предположить, что уже с раннего докембрия органическое вещество играло заметную роль в осадко–породо–рудобразовании, эволюции атмосферы и гидросферы. Это обосновывается тем, что низкоорганизованные формы жизни оказывают более существенное воздействие на минеральный состав пород, чем более высокоорганизованные, к тому же простейшие организмы обладают более значительной биопродуктивностью.

Важное значение имеет изучение и самого углеродистого вещества (графита), как носителя многообразной информации о характере и степени различных преобразований пород.

Так, термический и рентгеноструктурный анализы углеродистого вещества исследованных пород показали, что они претерпели в основном метаморфизм амфиболитовой фации, а углеродистое вещество представлено окристаллизованным графитом. Битуминологический анализ показал, что содержание битумоидов в породах колеблется от 0,002 до 0,026% и иногда отмечается корреляция между  $C_{орг}$  и количеством битумоидов, что может указывать на сингенетичность последних. Обнаруженные в составе углеродистого вещества аминокислоты сходны с аминокислотами простейших водорослей.

Таким образом, разностороннее изучение углеродсодержащих отложений докембрия, а также самого углеродистого органического вещества является одной из важнейших проблем в изучении геологии докембрия.

Проведенное изучение углеродсодержащих отложений северо-восточной части Балтийского шита позволяет прийти к следующим выводам.

1. В исследованных разрезах органическое вещество захоронилось в печеных, глинистых, карбонатных, смешанных осадках, а иногда само органическое вещество становилось преобладающим материалом, что приводило к формированию высокоуглеродистых отложений (графитистые породы свит хирвинаволоок и соваарве).

2. Формы нахождения углеродистого вещества в исследованных породах, свидетельствующие о его сингенетичности, находки строматолитов, в породах свиты хирвинаволоок, обнаружение биогенных аминокислот, корреляционная зависимость ряда биофильных микроэлементов от  $C_{орг}$  свидетельствуют о биогенности углеродистого вещества в исследованных разрезах. При этом корреляция  $C_{орг}$  с  $Co$ ,  $Ni$ ,  $V$  и отсутствие ее с  $Ge$ , состав аминокислот, сходный с составом аминокислот простейших организмов, указывают на сапропелевый тип исходного  $OB$ .

3. В результате применения комплекса геологических, литологических, петрохимических и геохимических исследований углеродсодержащих пород Северо-Карельской синклинали и Кейвского синклинали охарактеризованы два этапа накопления углеродистых пород: а) кейвский этап нижнего протерозоя является временем длительного тектонического покоя, теплого, жаркого, влажного палеоклимата и кор глубокого химического выветривания, развитых на равнинном палеоконтиненте. Материал области питания был в основном терригенным и довольно часто хорошо дифференцированным: каолинистые глины - кварцевые пески. Породы областей сноса были представлены в основном гранитоидами (для серии кейв) и метаморфическими породами беломорской серии  $A\bar{A}_2$  (для свиты хизовара); б) лодиковикский этап нижнего протерозоя характеризовался более активной палеотектонической деятельностью, проявлениями основного вулканизма, более или менее расчлененным рельефом областей сноса. Материал, поступивший в палеобассейны седиментации, был более грубозернистым, чем в предыдущий этап, и в значительной степени грауваксового типа. Породы областей сноса, видимо, были представлены главным образом основными породами, причем в первичных осадках возможна примесь вулканогенного материала. Палеоклимат эпохи седиментогенеза был теплый,

жаркий, переменного влажного типа, а осадки слагались в мелко-водных палеобассейнах.

4. Различия в содержаниях  $C_{орг}$  в породах кейвского (до 2-3%) и лудиковикского этапов (до 30-41%), видимо, объясняются различным количеством питательных (минеральных) веществ, поступавших в палеобассейны, так как масса живого вещества в основном определяется количеством элементов минерального питания /18 и др./ . Так в лудиковикский этап в связи с более расчлененным рельефом, основным составом области сноса и возможным синхронным основным вулканизмом в палеобассейны поступало большее количество элементов минерального питания (P, Mn, V и др.), чем в кейвский этап, что и способствовало большей продуктивности планктона в этот этап. Массовому накоплению органического вещества способствовало и сероводородное зарежение дна палеобассейна.

С другой стороны, быстрое захоронение органического вещества в условиях расчлененного рельефа, быстрых темпах денудации и возможных выбросах вулканокластического материала, способствовало лучшей его сохранности.

5. Установлено, что повышенные концентрации Ge в сланцах свиты хизовара и серии кейв находятся в корреляционной зависимости с содержаниями  $Al_2O_3$ . И в то же время не отмечается зависимости Ge от количества  $C_{орг}$ , что, видимо, объясняется сапропелевым характером органического вещества исследуемых толщ. Так, в фанерозое повышенные содержания Ge связаны с органическим веществом углей гумусового происхождения.

Можно предположить, что в период седиментации высокоглиноземистых осадков свиты хизовара и серии кейв в продуктах кор выветривания областей сноса присутствовал галлуазит. Так как, именно, галлуазитовая фракция некоторых кор выветривания содержит повышенные количества Ge, в то время как каолининовая фракция вообще его не содержит /14/.

6. Установлено, что для каждого стратиграфического уровня характерен свой набор, микроэлементов, но при этом и каждая свита имеет свои специфические черты:

а) с кейвским этапом связана следующая ассоциация элементов: Al, Ga, Zn, V, но для свиты хизовара - Ge, Cr, S, а для серии кейв - Mo, р.з.э., Zr.

б) для лудиковикского этапа характерны Ni, Co, V, Cu, причем для свиты хивинаволоок характерны V, Ni, Ti, Mn, а

для свиты соварны -- *Cr, V, Zr, Cu*.

7. Корреляционная зависимость *Ga, Ti, V, TR* от  $Al_2O_3$ , *Rb* от  $K_2O$ , характерные для кейвского этапа, свидетельствует о первичных породах как продуктах глубокого химического выветривания. В то время, как ассоциация *Co, Ni, Zn, Mn* с  $FeO$  в элли-ковикскую эпоху указывает на вулканогенно-осадочный тип литогенеза. Таким образом, характерные корреляционные отношения, прослеживаемые в осадочных породах, связанные с определенными типами литогенеза, сохраняются и в метаморфизованных аналогах.

## Литература

1. Акульщина В.П. Методика определения условий выветривания, осадконакопления и постседиментационных преобразований по глинистым минералам // Глинистые минералы как показатели условий литогенеза. Новосибирск: Наука, 1976, с.9-37.
2. Ахмедов А.М. Геохимическая оценка палеосолености по составу среднепротерозойских метаосадков Печенги // Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты: Кольский фил.АН СССР, 1971, вып.2, с. 248-254.
3. Ахмедов А.М., Воинов А.С., Ожигова Г.Р. Распределение рудогенных элементов в среднепротерозойских метаосадочных породах Куолаярвинской структуры (Северная Карелия) // Вестник МГУ, № 6, 1975, с. 40-51.
4. Белезцев Я.Н. Метаморфогенное рудообразование. М.: Недра, 1979, 275 с.
5. Бельков И.В. Кварцитовые сланцы свиты кейв. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963, 322 с.
6. Бельков И.В., Белолинецкий А.П., Ильин Ю.И. и др. К геохимии метаморфических пород кейвской серии // Геохимическая эволюция метаморфических комплексов докембрия Кольского полуострова. Апатиты: Кольск.фил.АН СССР, 1976, с. 5-14.
7. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: Госгеолтехиздат, 1961, 539 с.
8. Боголюбова Л.И., Тимофеев П.П. Состав органического вещества "черных сланцев" котловины Зеленого мыса (Восточная Атлантика) и их нефтематеринский потенциал // Литология и полезные ископаемые, 1978, № 5, с. 3-17.
9. Борисенко Л.Ф., Степанов И.В., Дятлов С.М. К геохимии скандия в железных рудах эндогенных и экзогенных месторождений // Геохимия, 1974, № 5, с. 790-801.
10. Борисенко Л.А. Геохимия галлия М.: Изд-во МГУ, 1971, 230 с.
11. Борисов П.А. Карельские шунгиты. Петрозаводск: Гос.изд-во КФ ССР, 1956, 165 с.
12. Борисов П.А., Вологовская Н.А. Хизоварское месторождение кванита (Карело-Финская ССР) // Сов.геология, 1941, № 1, с. 82-87.
13. Борщевский Ю.А., Борисова С.Л., Лазур О.Г. и др. Изотопное ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) исследование сидеритов Бакальского и магнетитов Саткинского месторождений // Проблемы осадочной геологии докембрия. М: Наука, 1981, вып.6, с.195-202.

14. Бурков В.В., Подпорина В.К. Некоторые особенности геохимии редких элементов в породах выветривания // Литология и полезн. ископаемые, 1971, № 4, с. 55-65.
15. Гумин С.А. Условия формирования углеродистых пород месторождения Хизовара (Северная Карелия) // Углеродистые отложения докембрия и нижнего палеозоя и их рудоносность. Тез. докл. Всес. семинара, Фрунзе: Илим, 1978, с. 104-105.
16. Валиев К.Я., Пачаджанов Д.М., Адамчук И.П. Особенности геохимии бора в глинистых минералах (на примере юрских отложений Гуссарского хребта) // Литология и полезн. ископаемые 1975, № 1, с. 151-156.
17. Бассоевич Н.Б., Корнилова Н.Н., Чернышев В.В. О содержании углеродистого органического вещества в континентальном секторе осадочной оболочки Земли // Вестник МГУ. Геология, 1973, № 1, с. 8-24.
18. Березин Н.Н., Окнова Н.С. О роли органического вещества в докембрийском литогенезе в свете закономерностей развития биосферы // Литология и осадочная геология докембрия. Тез. докл. У Всес. совещ. Алма-Ата: Наука, 1961, с. 84-86.
19. Бернадский В.И. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1959, т. IV, кн. I, 624 с.
20. Винклер Г. Генезис метаморфических пород. М.: Недра, 1979, 328 с.
21. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород // Геохимия, 1962, № 7, с. 555-572.
22. Виноградов В.И. Ранние стадии геологического развития верхних оболочек Земли (по изотопным данным) // Эволюция осадочного процесса в океанах и на континентах. М.: Наука, 1983, с. 128-134.
23. Войткевич Г.В., Лебедев Г.И. Полезные ископаемые и металлогения докембрия. М.: Недра, 1975, 231 с.
24. Волотовская Н.А., Ширев К.К. Хромосодержащие минералы свиты Хизовара // Изв. Карело-Финской научн. исслед. базы АН СССР. Петрозаводск: 1948, № 1, с. 41-53.
25. Гавриленко Б.В., Белолипецкий А.П., Болотов В.И. и др. О связи золота с составом глинистого вещества на примере метапелитов раннего докембрия Кольского полуострова // Докл. АН СССР, 1978, т. 242, № 1, с. 199-202.

26. Галдобина Л.П., Голубев А.И. Углеродистые (шунгитсодержащие) породы Онежской мульды и их металлогеническая специализация // Металлогения Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карельск. фил. АН СССР, 1982, с.133-143.
27. Гаррельс Р., Маккензи Д. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1974, 272 с.
28. Геология и геохимия метаморфических комплексов раннего докембрия Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980, 240 с.
29. Геология СССР. Карельская АССР, Геологическое описание. М.: Госгеолтехиздат, 1960, т.37, ч.1, 740 с.
30. Геология шунгитоносных вулканогенных-осадочных образований протерозоя Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1982, 204 с.
31. Головенко В.К. Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра, 1977, 266 с.
32. Голубев А.И., Ахмедов А.М., Галдобина Л.П. Геохимия черносланцевых комплексов нижнего протерозоя Карело-Кольского региона. Л.: Наука, 1983, 193 с.
33. Горбачев О.М. Роль терригенного материала в происхождении седиментогенных метаморфических пород основного состава // Литология и геохимия раннего докембрия. Апатиты: Кольск. фил. АН СССР, 1977, с.27-33.
34. Горбачев О.В. Барий и стронций в породах углеродистых формаций // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука, 1981, вып.7, кн.2, с.30-37.
35. Горбачев О.В., Созинов Н.А. Некоторые петрохимические и геохимические аспекты типизации углеродистых отложений докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука, 1985, вып.10, с.55-62.
36. Горюнова С.В., Ржанова Г.Н., Орлеанский В.К. Синезелёные росли. М.: Наука, 1969, 204 с.
37. Дегенс Э. Геохимия осадочных образований. М.: Мир, 1967, 300 с.
38. Дегенс Э.Т., Рэйтер Дж.Х. Аналитические методы исследования в органической геохимии // Органическая геохимия. Вып. I, М.: Недра, 1967, с.54-69.
39. Демидов Н.Ф., Кратц К.О. Стратиграфия и тектоника Кукасозерско-Тикшезерской зоны карелид Северной Карелии // Проблемы геологии нижнего протерозоя Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1974, с. 95-116.



40. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Слоистые силикаты в земной коре. Сообщение I. Группы каолинит-серпентина и тальк-пирофиллита // Литология и полезн. ископаемые, 1984, № 6, с.3-24.
41. Лукова А.С. Германий // Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М.: Наука, 1964, т.1, с. 531-557.
42. Закруткин В.Б. Углеродистая формация докембрия Приазовского блока Украинского щита // Литология и полезн. ископаемые. 1980, № 5, с. 93-114.
43. Закруткин В.Б. Высокоуглеродистые формации раннего докембрия европейской части СССР. Ростов/Дон: Изд-во РГУ, 1982, 286 с.
44. Катченков С.М., Дергачева Л.П., Флегонтова Б.И. Микроэлементы - индикаторы условий осадконакопления // I-ый Международ. геохим. конгресс. Тез. докл. Изд-во ВИНТИ, 1971, т.2, с. 830-831.
45. Кейт М., Дегенс Э. Геохимические индикаторы морских и пресноводных осадков // Геохимические исследования. М.: ИЛ., 1961, с. 56-85.
46. Клауд П. Криптозойская биосфера: ее разнообразие и геологическое значение // Тр. 27-го МК. Геология докембрия. М.: Наука, 1984, т.2, С.05. с. 76-86.
47. Козлов Н.Б., Мележик В.А., Ильин Ю.И., Атаманова С.П. Распределения бария и стронция в пелитах и метапелитах // Литология и геохимия раннего докембрия. Апатиты: Кольск. фил. АН СССР, 1977, с.112-117.
48. Корякин А.С., Сафронов В.Т. Опыт комплексного литолого-геохимического исследования метаморфизованных кор выветривания в докембрии // Проблемы осадочной геологии докембрия М.: Наука, 1979, вып., 5, с. 61-96.
49. Коссовская А.Г., Шутов В.Д., Дриц В.А. Кристаллохимические особенности слоистых силикатов как индикаторы перехода осадочных пород в метаморфические // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Недра, 1975, вып.4, кн.1, с.105-110.
50. Кратц К.О. Геология карелид Карелии. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963, 210 с.
51. Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н., Самодурова Л.К. и др. Геохимический режим прогрессивного регионального метаморфизма // Вопросы метаморфизма докембрия. Апатиты: Кольск.

Фил. АН СССР, 1980, с. 15-22.

52. Кременецкий А.А., Юшко Н.А., Булянский Д.Д. Геохимия редких щелочных металлов в осадочных и эффузивных породах // Геохимия, 1980, № 7, с. 1039-1060.
53. Крылова М.Д., Дагелайский В.Б., Орловская К.В. Скандий в метаморфических комплексах докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Недра, 1975, вып.4, кн.2, с.297-305.
54. Лавров М.М. Гипербазиты и расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии докембрия Северной Карелии. Л.: Наука, 1979. 136 с.
55. Ла Рот Х. Геохимическая характеристика областей метаморфизма: признаки и доказательства их дометаморфической истории // I Междунар. геохим. конгресс. Доклады, М.: Наука, 1972, т.3, кн.1, с. 263-290.
56. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978, 392 с.
57. Лопатин Н.В. Эволюция биосферы и горючие ископаемые // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1979, № 7, с. 5-22.
58. Лопатин Н.В. Образование горючих ископаемых. М.: Наука, 1983, 191 с.
59. Лубченко И.Ю. Геохимия свинца в осадках современных водоемов. М.: Наука, 1977, 78 с.
60. Лубченко И.Ю., Белова И.А. Миграция элементов в речных водах // Литология и полезн. ископаемые, 1973, № 2, с.23-30.
60. Лутц Б.Г. Парагенетический анализ и TR-минерализация глиноземистых пород амфиболитовой и гранулитовой фаций Алдана и Кольского полуострова // Редкие элементы в породах различных метаморфических фаций. М.: Наука, 1967, с.30-59.
62. Макрыгина В.А. Геохимия метаморфизма и возможности реконструкции особенностей древнего литогенеза. // 27-й МГК Тез. докл., 1984, т.5, С.10, II, с. 268-270.
63. Маракушев А.А. Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. М.: Наука, 1965, 327 с.
64. Мархинин Е.К. Вулканы и жизнь (проблемы биовулканологии). М.: Мысль, 1980, 196 с.
65. Мележик В.А., Предовский А.А. Геохимия раннепротерозойского литогенеза. Л.: Наука, 1982, 208 с.
66. Мележик В.А., Предовский А.А., Басалаев А.А. и др. Литология и условия формирования протерозойских отложений зон

- обрамления Беломорского мегаблока // Бассейны седиментации и зоны вулканизма докембрия Кольского региона. Апатиты: Кольск. фил. АН СССР, 1983, с. 5-32.
67. Метаморфизм супракрустальных комплексов раннего докембрия Л.: Наука, 1986, 272 с.
68. Мирская Д.Д. Супракрустальные формации Кейвской зоны // Геология и геохимия метаморфических комплексов Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во Кольск. фил. АН СССР, 1975, с. 23-35.
69. Мишунина З.А., Биско Н.С. К геохимии углеродистого вещества докембрийских пород Юго-Западной и Северной Карелии // Минералогия и геохимия докембрия Карелии. Петрозаводск: Наука, 1979, с. 131-145.
70. Мишунина З.А., Корсакова А.Г. Геохимия керогена графитоидных и пунгитовых сланцев и карбонатов протерозоя Южной Карелии // Сов. геология, 1977, № 3, с. 40-55.
71. Московченко Н.И., Турченко С.И. Метаморфизм квантит-силлиманитового типа и сульфидное оруденение (Северная Карелия). Л.: Наука, 1975, 140 с.
72. Негруца В.З. Раннепротерозойские этапы развития восточной части Балтийского щита. Л.: Недра, 1984, 270 с.
73. Негруца В.З., Журавлев В.А., Шурыгин В.Н. Докембрийские углеродсодержащие породы восточной части Балтийского щита // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука, 1981, вып. 7, кн. 1, с. 66-80.
74. Неелов А.Н. Восстановление первичного состава парапород по их химическому составу // Методическое руководство по геологической съемке масштаба 1:50 000. Л.: Недра, 1974, т. 1, с. 397-400.
75. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982, 208 с.
76. Неручев С.Г., Бекетов В.М., Климова Л.И. Исходное вещество и условия образования сапропелевых сланцев // Геохимия горючих сланцев. Тез. докл. III Всес. совещания. Таллин: 1982, с. 127-128.
77. Николаева О.В. Фоновые содержания различных форм серы в осадочных породах морских и океанических осадков // Геохимия, 1968, № 10, с. 1265-1270.

78. Основы металлогении метаморфических поясов докембрия. Л.: Наука, 1984, 340 с.
79. Петерсилье И.А., Федкова Т.А., Павлова М.А. Газы и органическое вещество в породах гранулитового комплекса архея Кольского полуострова // Геохимия, 1979, № 12, с. 1863-1886.
80. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчанки. М.: Мир, 1976, 536 с.
81. Попов В.М., Сартабаев М.К., Попова Т.В. Роль органического вещества в образовании стратиформных месторождений цветных металлов в отложениях докембрия и нижнего палеозоя // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука, 1981, вып. 7, кн. 2, с. 154-162.
82. Предовский А.А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980, 152 с.
83. Ратеев М.А. Закономерности размещения и генезис глинистых минералов в современных и древних морских бассейнах // Тр. ИГиН АН СССР, 1964, вып. 112, 288 с.
84. Розен О.М. Седиментологическая интерпретация химизма кристаллических пород докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Недра, 1975, вып. 4, кн. 1, с. 60-74.
85. Ронов А.Б., Гирин Ю.П., Ермишкина А.И. и др. Геохимия фтора в осадочном цикле // Геохимия, 1974, № 11, с. 1587-1613.
86. Ронов А.Б., Гирин Ю.П., Казаков Г.А. и др. Осадочная дифференциация в платформенных и геосинклинальных бассейнах // Геохимия, 1966, № 7, с. 763-776.
87. Ронов А.Б., Ермишкина А.И. Распределение марганца в осадочных породах // Геохимия, 1959, № 3, с. 206-225.
88. Ронов А.Б., Мигдисов А.А. Соотношение кларковых и рудных концентраций алюминия в осадочном цикле // Геохимические циклы. М.: Госгеолтехиздат, 1960, с. 157-177.
89. Ронов А.Б., Мигдисов А.А. Основные черты геохимии элементов-гидролизатов в процессах выветривания и осадконакопления // Геохимия, 1965, № 2, с. 131-158.
90. Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Воскресенская Н.Т. и др. Геохимия лития в осадочном цикле // Геохимия, 1970, № 2, с. 131-162.
91. Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Лобач-Лученко С.Б. Проблемы эволюции химического состава осадочных пород и региональный метаморфизм // Геохимия, 1977, № 2, с. 163-187.

92. Ронов А.Б., Ярошевский А.А. Новая модель химического строения земной коры // Геохимия, 1976, № 12, с.1763-1796.
93. Рухин Л.Б., Основы литологии. Л.: Недра, 1969, 703 с.
94. Савельев А.А., Тимофеев Б.В., Колесников Ч.М. Палеофитологическая характеристика каллие среднего протерозоя (ятулия) Карелии // Проблемы осадочной геологии докембрия, 1975, вып. 4, кн.2, с. 178-180.
95. Сафронов В.Т. О повышенных содержаниях германия в породах кианитового месторождения Хизовара (Северная Карелия) // Докл. АН СССР, 1978, т.239, № 3, с. 672-675.
96. Сафронов В.Т. О содержании германия в глиноземистых породах и минералах нижнего докембрия // Литология и полезн. ископаемые, 1984, № 5, с.105-111.
97. Сафронов В.Т., Горошенко Г.Л. Углеродистые породы свиты хирвинаволок (Северная Карелия) // Литология и полезн. ископаемые, 1988, № 1, с. 55-69.
98. Садук Ю.И., Макарыгин В.В. Органические образования среднепротерозойских пород Карелии как показатели особенностей палеогеографии // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Недра, 1975, вып.4, кн. 2, с. 180-184.
99. Сердюченко Д.П. Органическое вещество и его роль при формировании метасадочных месторождений цветных металлов и золота // Основные проблемы осадочного рудообразования. Фрунзе: Илим, 1977, с.71-84.
100. Сердюченко Д.П., Созинов Н.А. Роль организмов и углеродистого вещества в формировании осадочных месторождений докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Недра, 1975, вып.4, кн.2, с.245-250.
101. Серебряков С.Н., Семихатов М.А. Фитогенные карбонатные породы рифея // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Недра, 1975, вып.4, кн.2, с. 173-178.
102. Сидоренко А.В. Проблемы осадочной геологии докембрия // Сов.геология, 1963, № 4, с. 3-23.
103. Сидоренко А.В. Докембрийские коры выветривания, поверхности выравнивания и эпохи континентальных перерывов в истории докембрия // Докембрийские коры выветривания. М.: ВИНС, 1975, с. 5-15.
104. Сидоренко А.В. Осадочная геология - основа познания истории развития и металлогении докембрия (итоги и перспективы) // Осадочная геология глубокометаморфизованных комплек-

- сов докембрия. М.: Наука, 1982, с. 7-15.
105. Сидоренко А.В., Сидоренко Св.А. Органическое вещество в докембрийских осадочно-метаморфических породах и некоторые геологические проблемы // Сов. геология, 1971, № 5, с. 3-20.
106. Сидоренко А.В., Теняков В.А., Розен О.М. и др. Пара- и ортоамфиболиты докембрия. М.: Наука, 1972, 212 с.
107. Сидоренко Св.А., Сидоренко А.В. Органическое вещество в осадочно-метаморфических породах докембрия. М.: Наука, 1975, 240 с.
108. Смирнов В.И. Проблемы геологии докембрия // Проблемы геологии докембрия Карело-Кольского региона. Петрозаводск: Изд-во Карельск. фил. АН СССР, 1976, с. 4-9.
109. Соколов Б.С. Органический мир Земли на пути к фанерозойской дифференциации // Вестник АН СССР, 1976, № 1, с. 126-143.
110. Соколов П.В. Свита кейв // Геология СССР, Мурманская обл. М.: Госгеолтехиздат, т.27, ч.1, 1958, с. 180-246.
111. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960, т.1, 212 с., т.2, 547 с.
112. Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963, 535 с.
113. Страхов Н.М. К теории геохимического процесса в гумидных зонах // Геохимия осадочных пород и руд. М.: Наука, 1968, с. 102-133.
114. Страхов Н.М. О генезисе повышенных содержаний элементов в пелагических осадках океанов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1975, № 3, с. 5-18.
115. Теняков В.А. Генетические основы прогнозирования месторождений бокситов: Дис. докт. геол.-мин. наук. М.: ВИС, 1980, 70 с.
116. Теняков В.А., Сидоренко Св.А. О некоторых новых научно-теоретических аспектах экзогенно-метаморфогенной геологии докембрия // Проблемы осадочной геологии докембрия. М.: Наука, 1979, вып. 5, с. 44-60.
117. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра, 1974, 399 с.
118. Тимофеев П.П., Валнев Ю.Л., Пачелганов Д.Н. и др. К геохимии бора в юрских альпидальных отложениях Гиссарского хребта // Геохимия, 1974, № 3, с. 355-366.

119. Тимофеев П.П., Валдиев Ю.Я., Пачалджанов Д.Н. и др. К геохимии оора в морских терригенных отложениях // Геохимия, № 6, 1976, с.914-926.
120. Тимофеев П.П., Холодов В.Н., Хворова И.В. Эволюция процессов осадконакопления на континентах и в океанах. // Литология и полезные ископаемые, 1983, № 5, с. 3-24.
121. Тимофеев П.П., Холодов В.Н. Эволюция бассейнов седиментации в истории Земли // Изв.АН СССР. Сер.геол., 1984, № 7, с. 10-34.
122. Тихоненков Л.П., Тихоненкова Р.П. Цирконий // Геохимия, минералогия, и генетические типы месторождений редких элементов. М.: Наука, 1964, т.1, с. 284-321.
123. Токарев В.А., Яценко А.Б. Кейвский селенистый пирротин (месторождение Тяпш-Манюк) // Материалы по минералогии Кольского полуострова. Л.: Наука, 1968, с.67-69.
124. Успенский В.А. Введение в геохимию нефти. Л.: Недра, 1970, 309 с.
125. Фелькия Б.В. Ставролит. М.: Наука, 1975, 272 с.
126. Харитонов Л.Я. Структура и стратиграфия карелид восточной части Балтийского щита. М.: Недра, 1966, 360 с.
127. Хворова И.В. Геосинклинальные кремнистые породы и вопросы их происхождения // Генезис и классификация осадочных пород. М.: Наука, 1968, с. 48-55.
128. Хворова И.В., Золотарев Б.П., Гусарева А.И., Микроэлементы в эвгеосинклинальных, кремнистых породах Южного Урала // Литология и полезн. ископаемые, 1972, №6, с.26-41.
129. Холодов В.Н. Осадочный рудогенез и металлогения ванадия. М.: Наука, 1973, 280 с.
130. Холодов В.Н., Недумов Р.И. Роль органического вещества на ранней стадии формирования "черных сланцев" // Седиментация на разных этапах литогенеза. М.: Наука, 1982, с. 135-147.
131. Холодов В.Н., Штеренберг Л.Б. К оценке роли Балтийского щита в качестве рудной питающей провинции // Литология и полезн. ископаемые, 1977, № 5, с. 73-92.
132. Хуан У.Т. Петрология. М.: Мир, 1965, 575 с.
133. Шедловский М. Осадочное органическое вещество 3,8 млрд. лет назад. Изотопные отпечатки жизни // Сравнительная планетология. Докл. 27 МК М.: Наука, 1984, с.119-125.

134. Шульдинер В.И., Шульдинер И.С., Эршова И.Г. О стратиграфической последовательности архейских комплексов Восточной Азии и эволюции древнейшего седиментогенеза // *Геология и геофизика*, 1979, № II, с. 3-8.
135. Hallbauer D.K., Jahns H.M., Beltmann H.A. *Morphological and anatomical observations on some precambrian plants from the Witwatersrand, South Africa* // *Geol. Rdsch.*, 1977, 66, Nr, p. 477-491.
136. Huckenholz H.G. *Sedimentpetrographische Untersuchungen an Gesteinen der Tanner Granwacke* // *Beitz. Mineral. und Petrogr.*, 1959, b. 6, № 4, p. 261-298.
137. Wandlergren S., Carvajal M.C. *Contribution to the geochemistry of boron. III. The relationship between boron concentration in marine clay sediments the salinity of the depositional environments expressed as an adsorption* // *Trx. Miner. och. Geol.*, 1974, v. 5, № 11, p. 11-22.
138. Jorha A. *Trace elements in the Finnish precambrian phyllites as indication of salinity at the of sedimentation* // *Bull. Geologique Finland*, 1967, № 228, 63p.
139. Pflug H. D., Jaeschke-Boyer H. *Combined structural and chemical analysis of 3.800-Myr-old microfossils* // *Nature*, 1979, 280, № 5722, p. 483-486.
140. Reynolds R.G. *The concentration of boron in Precambrian seas* // *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1965, v. 29, № 1, p. 1-17.
141. Schidlowski M., Echmann R., Junge Ch.E. *Precambrian sedimentary carbonates: carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget* // *Precambrian Res.*, 1975, 2, № 1, p. 1-69.
142. Schidlowski M., Appel P.W., Echmann R. *Carbon isotope geochemistry of the  $3.7 \times 10^9$ -yr-old isua sediments, West Greenland implications for the archaean carbon and oxygen cycles* // *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1979, 43, № 2, p. 189-199.
143. Turxian X.K., Wedepohl K.H. *Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust* // *Geol. Soc. America Bull.*, 1961, 72, p. 175-192.



## Аналитический состав пород свиты хизовара, (%)

| № опр.<br>Образец | 1     | 2     | 3     | 4       | 5     | 6      | 7      | 8     |
|-------------------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|-------|
| $SiO_2$           | 50,41 | 53,34 | 61,19 | 55,21   | 79,18 | 86,43  | 85,81  | 77,65 |
| $TiO_2$           | 1,26  | 0,93  | 1,06  | 1,68    | 1,87  | 0,42   | 3,09   | 0,59  |
| $Al_2O_3$         | 34,04 | 38,66 | 34,08 | 30,68   | 14,63 | 9,85   | 8,54   | 17,66 |
| $Fe_2O_3$         | 8,33  | 2,95  | 1,49  | 6,21    | 1,69  | 1,59   | 1,32   | 1,74  |
| $FeO$             | 0,51  | 0,14  | 0,43  | не опр. | 0,32  | 0,28   | 0,07   | 0,14  |
| $CaO$             | 1,70  | 0,85  | 0,56  | 0,65    | 0,61  | 0,48   | 0,61   | 0,61  |
| $MgO$             | 0,43  | нет   | 0,36  | 0,32    | 0,26  | 0,44   | 0,09   | 0,26  |
| $MnO$             | 0,01  | 0,01  | сл.   | сл.     | нет   | нет    | 0,01   | нет   |
| $P_2O_5$          | 0,02  | 0,02  | 0,05  | 0,10    | 0,02  | 0,02   | 0,04   | 0,15  |
| $Na_2O$           | 0,28  | 0,15  | 0,10  | 0,56    | 0,05  | 0,05   | 0,14   | 0,15  |
| $K_2O$            | 1,49  | 0,09  | 0,07  | 0,25    | 0,10  | 0,13   | 0,09   | 0,12  |
| $H_2O^+$          | 0,83  | 0,85  | 0,24  | -       | 0,46  | 0,32   | 0,18   | 0,40  |
| $H_2O^-$          | 0,18  | 0,14  | нет   | -       | 0,19  | 0,25   | 0,04   | 0,32  |
| $CO_2$            | нет   | нет   | нет   | -       | нет   | нет    | нет    | нет   |
| $C$               | нет   | нет   | нет   | -       | нет   | 0,14   | нет    | 0,20  |
| $S$               |       | 2,46  |       | 1,32    | 0,24  |        | 0,45   |       |
| $F$               |       |       |       | 0,07    |       |        |        |       |
| $Cl$              |       |       |       |         |       |        |        |       |
| И.п.п.            |       |       |       | 3,64    |       |        |        |       |
| Сумма             | 99,50 | 99,56 | 99,63 | 100,90  | 99,65 | 100,40 | 100,25 | 99,99 |

1-3. (X-1/8, X-1/9, X-4/16) - радиально-лучистые кианитовые сланцы,

4. (X-1) - лучистый кварц-кианитовый сланец,

5-8. (X-4/18A, X-4/18B, X-4/18B, X-4/18ж) - кианит-кварцевые сланцы.  
X-4/18B

Приложение I (продолжение)

Химический состав пород эвты живовара, (%)

| № осп.<br>образцы              | 9      | 10    | 11     | 12     | 13     | 14    | 15    | 16     |
|--------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 87,47  | 85,12 | 75,59  | 81,88  | 77,11  | 84,92 | 78,69 | 79,57  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,30   | 0,30  | 0,60   | 0,51   | 0,47   | 0,42  | 0,30  | 0,42   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 7,06   | 8,23  | 15,51  | 9,30   | 14,82  | 9,99  | 14,90 | 11,16  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,77   | 2,45  | 1,60   | 2,75   | 0,61   | 1,56  | 0,24  | 0,45   |
| FeO                            | 0,28   | 0,30  | 0,29   | 0,33   | 1,92   | 0,16  | 2,14  | 1,07   |
| CaO                            | 0,85   | 1,10  | 0,64   | 0,49   | 1,54   | 0,61  | 1,36  | 4,05   |
| MgO                            | 0,18   | 0,09  | 1,16   | 0,09   | 0,55   | 0,35  | 0,08  | 0,37   |
| MnO                            | 0,01   | нет   | нет    | нет    | 0,01   | -     | 0,02  | 0,01   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,12   | 0,12  | нет    | 0,01   | 0,04   | 0,01  | 0,08  | 0,09   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,05   | 0,15  | 0,53   | 0,10   | 0,68   | 0,05  | 0,14  | 0,53   |
| K <sub>2</sub> O               | 0,13   | 0,12  | 0,85   | 0,12   | 1,19   | 0,12  | 0,09  | 0,68   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,60   | 0,48  | 0,18   | 0,13   | 0,51   | нет   | 0,16  | 0,30   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,43   | 0,35  | 0,11   | 0,41   | 0,27   | 0,13  | 0,14  | 0,21   |
| CO <sub>2</sub>                | нет    | нет   | нет    | нет    | нет    | нет   | нет   | нет    |
| C                              | 0,38   | 0,69  | 3,23   | 1,93   | 0,45   | 1,52  | 0,64  | 1,20   |
| S                              |        |       |        | 1,25   |        |       |       |        |
| F                              |        |       |        |        |        |       |       |        |
| Cl                             |        |       |        |        |        |       |       |        |
| П.п.п.                         |        |       |        |        |        |       |       |        |
| Сумма                          | 100,11 | 99,71 | 100,29 | 100,50 | 100,17 | 99,84 | 99,56 | 100,21 |

9-10. (X-4/18з, X-4/18л) - кyanит-кварцевые сланцы,

11-14. (X-4/18с, X-4/18н, X-144/5а, X-4/18д) - черные кyanит-кварцевые сланцы,

15. (X-49) - кyanит-кварцевый сланец,

16. (X-144/5с) - порфиробластический плагиоклаз-кyanит-кварцевый сланец.

Приложение I (продолжение)  
Химический состав пород свиты хизовара, (%)

| № обр.<br>Оксиды               | 17    | 18     | 19    | 20    | 21    | 22      | 23    | 24     |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 77,59 | 77,29  | 60,13 | 60,83 | 63,77 | 56,66   | 59,49 | 61,61  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,51  | 0,47   | 0,93  | 1,02  | 1,02  | 0,94    | 0,93  | 1,06   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13,18 | 16,31  | 21,47 | 20,75 | 22,22 | 24,00   | 23,64 | 21,06  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,06  | 0,82   | 0,69  | 0,91  | 1,23  | 0,09    | 1,15  | 0,33   |
| FeO                            | 0,60  | 1,08   | 5,42  | 5,24  | 1,37  | не отр. | 2,96  | 4,50   |
| CaO                            | 4,02  | 2,92   | 1,57  | 1,76  | 1,61  | 2,58    | 2,37  | 1,59   |
| MgO                            | 0,09  | 0,45   | 3,22  | 3,02  | 1,57  | 2,42    | 2,72  | 2,90   |
| MnO                            | 0,01  | 0,07   | 0,08  | 0,06  | 0,07  | 0,18    | 0,07  | 0,09   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,20  | 0,17   | 0,08  | 0,09  | 0,02  | 0,14    | 0,11  | 0,07   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,15  | 0,40   | 1,40  | 1,66  | 2,28  | 3,16    | 1,74  | 1,92   |
| K <sub>2</sub> O               | 0,13  | 0,18   | 2,57  | 2,57  | 2,57  | 1,75    | 2,75  | 2,10   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,18  | -      | 1,14  | 1,00  | 0,11  | 0,89    | 0,98  | 2,59   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,42  | -      | 0,12  | 0,14  | 1,16  | 0,08    | 0,25  | 0,26   |
| CO <sub>2</sub>                | нет   | -      | 0,52  | 0,26  | нет   | нет     | нет   | нет    |
| C                              | 1,42  | -      | 0,51  | 0,40  | 0,78  | 0,08    | 0,40  | 0,12   |
| S                              |       | 0,25   |       |       |       |         |       |        |
| F                              |       | 0,03   |       |       |       |         |       |        |
| Cl                             |       | 0,01   |       |       |       |         |       |        |
| П.п.п.                         |       | 0,27   |       |       |       |         |       |        |
| Сумма                          | 99,56 | 100,56 | 99,85 | 99,71 | 99,58 | 99,97   | 99,58 | 100,20 |

17. (X-144/5н) - порфиробластический плагиоклаз-кианит-кварцевый сланец,

18. (XB-2) - светлый кварц-кианитовый сланец,

19-21. (X-2/1, X-2/2, X-2/4) - гранат-биотит-кианитовые гнейсы,

22-24. (X-4/4б, X-4/4в, X-5/3) - гранат-биотит-кианитовые гнейсы.

Приложение I (продолжение)

Химический состав пород серии хизовара, (%)

| № обр.<br>ОКСИДЫ               | 25    | 26    | 27    | 28    | 29     | 30      | 31     | 32     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 57,07 | 60,11 | 67,31 | 61,60 | 66,50  | 71,76   | 75,61  | 72,34  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,93  | 0,89  | 1,44  | 1,53  | 0,68   | 0,50    | 0,42   | 0,42   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 22,58 | 25,43 | 18,75 | 24,29 | 18,47  | 19,87   | 17,10  | 17,23  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,33  | 1,42  | 0,97  | 0,47  | 7,62   | 2,28    | 2,71   | 3,23   |
| FeO                            | 4,50  | 2,46  | 0,63  | 1,14  | не спр | не отр. | 1,71   | 2,52   |
| CaO                            | 3,00  | 0,93  | 6,08  | 4,82  | 2,92   | 2,72    | 0,56   | 0,61   |
| MgO                            | 3,44  | 2,12  | 1,05  | 1,19  | 1,91   | 1,83    | 1,13   | 1,06   |
| MnO                            | 0,09  | 0,04  | 0,01  | 0,01  | 0,30   |         | 0,15   | 0,11   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,07  | 0,09  | 0,09  | 0,09  | 0,19   |         | 0,09   | 0,07   |
| Na <sub>2</sub> O              | 3,72  | 1,56  | 1,61  | 3,30  | 0,75   | 0,48    | 0,10   | 1,46   |
| K <sub>2</sub> O               | 2,35  | 1,99  | 0,19  | 0,46  | 0,38   | 0,07    | 0,37   | 0,40   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,92  | 2,01  | 0,93  | 0,70  |        |         | 0,36   | 0,57   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  | 0,10  | 0,26  | 0,19  | 0,06  |        |         | нет    | 0,03   |
| CO <sub>2</sub>                | нет   | нет   | нет   | нет   |        |         | нет    | нет    |
| C                              | 0,36  | 0,32  | нет   | нет   |        |         | нет    | нет    |
| S                              |       |       | 0,32  |       | 0,36   | 0,40    |        |        |
| F                              |       |       |       |       | 0,0015 | 0,04    |        |        |
| Cl                             |       |       |       |       | 0,02   | 0,20    |        |        |
| П.л.п.                         |       |       |       |       | 0,34   |         |        |        |
| Сумма                          | 99,71 | 99,63 | 99,62 | 99,60 | 100,47 | 100,15  | 100,51 | 100,22 |

25-26. (X-5/3a, X-6/2) - гранат-биотит-кианитовые гнейсы,

27-28. (X-4/20, X-4/21) - биотит-амфибол-кианитовые гнейсы,

29. (XВ-3) - биотит-амфибол-кианитовый гнейс,

30. (XВ-4) - светлый биотит-амфибол-кианитовый гнейс,

31. (X-4/13) - ставролитовый сланец,

32. (X-10/3) - гранат-ставролитовый сланец,

Приложение I (продолжение)

Химический состав пород свиты Кизовара, (%)

| № обр.<br>Синоним | 33     | 34    | 35    | 36     | 37    | 38    | 39      | 40     |
|-------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|---------|--------|
| $SiO_2$           | 76,27  | 79,54 | 77,18 | 67,86  | 75,55 | 74,21 | 70,60   | 63,62  |
| $TiO_2$           | 0,34   | 0,42  | 0,51  | 0,51   | 0,42  | 0,59  | 0,42    | 0,63   |
| $Al_2O_3$         | 16,97  | 11,94 | 14,32 | 18,95  | 14,34 | 16,31 | 17,38   | 16,82  |
| $Fe_2O_3$         | 2,91   | 1,30  | 1,11  | 0,95   | 0,27  | 2,40  | 0,45    | 2,01   |
| $FeO$             | 1,39   | 0,93  | 0,57  | 0,71   | 1,42  | 0,33  | 2,29    | 3,15   |
| $CaO$             | 0,47   | 0,96  | 1,72  | 1,35   | 0,86  | 0,61  | 2,24    | 3,21   |
| $MgO$             | 1,02   | 0,49  | 0,56  | 0,63   | 0,71  | 0,61  | 1,20    | 1,68   |
| $MnO$             | 0,15   | 0,02  | 0,02  | 0,02   | 0,01  | -     | 0,08    | 0,10   |
| $P_2O_5$          | 0,07   | 0,02  | 0,02  | 0,07   | 0,01  | 0,02  | 0,30    | 0,23   |
| $Na_2O$           | 0,04   | 0,58  | 1,35  | 1,93   | 1,86  | 1,04  | 2,32    | 4,88   |
| $K_2O$            | 0,13   | 2,44  | 1,86  | 5,42   | 2,75  | 2,77  | 0,75    | 2,44   |
| $H_2O^+$          | 0,42   | 1,03  | 0,22  | 1,66   | 1,27  | 0,36  |         | 1,11   |
| $H_2O^-$          | нет    | 0,08  | 0,06  | 0,08   | 0,12  | 0,34  |         | 0,20   |
| $CO_2$            | 0,35   | нет   | нет   | нет    | нет   | нет   |         | нет    |
| $C$               | нет    | нет   | нет   | нет    | нет   | нет   |         | нет    |
| $S$               |        |       |       |        |       |       | -       |        |
| $F$               |        |       |       |        |       |       | -       |        |
| $Cl$              |        |       |       |        |       |       | не обн. |        |
| П.п.п.            |        |       |       |        |       |       | 1,76    |        |
| Сумма             | 100,53 | 99,75 | 99,50 | 100,14 | 99,62 | 99,59 | 99,79   | 100,08 |

33. (X-144/6) - ставролитовый сланец,

34. 35. 37. (X-4/1, X-4/4, X-5/2) - мусковитовые сланцы,

36. (X-4/5) - биотит-мусковитовый сланец,

38. (10/4) - фукситовый сланец,

39. (X3-5) - мусковит-гранатовый сланец,

40. (X-2/9) - гранат-биотитовый гнейс.

Химический состав пород серии хизовара, (%)

| № обр.<br>Оксиды | 41    | 42    | 43     | 44    | 45     | 46    | 47    | 48    |
|------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| $SiO_2$          | 58,90 | 73,72 | 61,90  | 69,52 | 47,98  | 51,78 | 48,14 | 58,34 |
| $TiO_2$          | 0,77  | 0,68  | 0,51   | 0,38  | 2,30   | 1,53  | 1,06  | 1,10  |
| $Al_2O_3$        | 14,17 | 17,15 | 13,02  | 17,02 | 15,74  | 13,40 | 13,70 | 15,80 |
| $Fe_2O_3$        | 0,66  | 0,85  | 2,40   | н.о.  | 4,02   | 2,69  | 4,20  | 2,16  |
| $FeO$            | 8,47  | 0,32  | 3,92   | 2,15  | 9,79   | 11,14 | 10,09 | 3,52  |
| $CaO$            | 4,41  | 0,73  | 8,53   | 3,40  | 10,71  | 10,10 | 10,40 | 11,64 |
| $MgO$            | 4,57  | 0,44  | 5,94   | 1,09  | 6,46   | 5,22  | 5,27  | 5,29  |
| $MnO$            | 0,14  | нет   | 0,17   | 0,03  | 0,31   | 0,20  | 0,23  | 0,15  |
| $P_2O_5$         | 0,15  | 0,03  | 0,12   | 0,24  | 0,14   | 0,20  | 0,08  | 0,08  |
| $Na_2O$          | 5,01  | 1,14  | 0,34   | 3,65  | 0,58   | 1,20  | 0,55  | 0,67  |
| $K_2O$           | 1,35  | 3,10  | 0,10   | 1,10  | 0,29   | 0,35  | 1,12  | 0,28  |
| $H_2O^+$         | 0,95  | 1,34  | 0,95   | -     | 1,31   | 1,55  | -     | -     |
| $H_2O^-$         | нет   | 0,12  | 0,43   | -     | 0,11   | 0,16  | 0,26  | 0,16  |
| $CO_2$           | нет   | нет   | нет    | -     | нет    | нет   | 3,31  | 0,61  |
| $C$              | нет   | нет   | 0,42   | -     | нет    | нет   | 0,10  | 0,10  |
| $S$              |       |       | 1,85   | -     | 0,49   | 0,10  |       |       |
| $Cl$             |       |       |        |       |        |       |       |       |
| И.п.л.           |       |       |        | 1,26  |        |       | 1,19  | 1,74  |
| Сумма            | 99,56 | 99,62 | 100,95 | 99,84 | 100,17 | 99,62 | 99,59 | 99,64 |

41. (X-5/I) - амфиболовый гнейс,

42. (X-5/7) - биотитовый гнейс с гранатом,

43. (X-8B) - амфибол-биотитовый гнейс,

44. (XB-7) - двуслюдяной гнейс,

45-46. (X-144/\*, X-2/ГОН) - крупнозернистые гранатовые амфиболиты,

47. (X-57) - гранатовый порфиробластический амфиболит,

48. (X-54) - полевошпатовый порфиробластический амфиболит.

Анализы - 4, 18, 29, 30, 39 взяты из /29/.

Анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ГИН АН СССР

Аналитиками: И.Л.Бирюкова, Г.Ф.Галковская.

Приложение II  
Аналитический состав пород серии кейв, (%)

| группы окислов | I     | 2      | 3      | 4      | 5     | 6     | 7      | 8     | 9     |
|----------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| $SiO_2$        | 70,69 | 51,38  | 60,87  | 57,51  | 63,86 | 59,59 | 59,47  | 66,67 | 51,98 |
| $TiO_2$        | 0,62  | 2,03   | 1,02   | 1,87   | 0,80  | 1,02  | 0,61   | 0,80  | 1,02  |
| $Al_2O_3$      | 12,91 | 41,96  | 34,48  | 27,01  | 29,65 | 35,48 | 37,34  | 28,39 | 32,47 |
| $Fe_2O_3$      | 0,15  | 0,36   | 0,20   | 1,32   | 0,38  | 0,20  | 0,04   | 0,07  | 0,12  |
| $FeO$          | 6,54  | 0,28   | 0,14   | 0,96   | 0,14  | 0,11  | 0,29   | 0,28  | 0,14  |
| $MnO$          | 0,11  | сл.    | нет    | 0,02   | сл.   | сл.   | сл.    | сл.   | нет   |
| $MgO$          | 0,34  | 0,13   | 0,04   | 0,58   | 0,13  | нет   | нет    | 0,13  | нет   |
| $CaO$          | 1,66  | 0,37   | 0,31   | 0,94   | 0,37  | 0,38  | 0,38   | 0,37  | 0,38  |
| $Na_2O$        | 0,57  | 0,17   | 0,08   | 1,60   | 0,59  | 0,30  | 0,08   | 0,34  | 0,34  |
| $H_2O$         | 2,21  | 0,94   | 0,16   | 3,15   | 1,74  | 0,49  | 0,08   | 0,89  | 0,70  |
| $H_2O^+$       | 2,93  | 0,44   | 0,30   | 3,18   | 0,42  | 0,11  | 0,02   | 0,41  | 0,19  |
| $H_2O^-$       | 2,24  | 0,18   | 0,24   | 0,30   | 0,16  | 0,12  | 0,10   | 0,08  | 0,16  |
| $P_2O_5$       | 0,01  | 0,04   | 0,03   | 0,15   | 0,05  | 0,06  | 0,05   | 0,06  | 0,07  |
| $S$            | 0,35  | 0,51   | 0,95   | 0,31   | 0,20  | 0,27  | 0,39   | 0,53  | 0,35  |
| $CO_2$         | 0,16  | нет    | нет    | нет    | нет   | нет   | нет    | нет   | нет   |
| $C$            | 0,36  | 1,39   | 1,41   | 1,36   | 0,60  | 1,74  | 1,66   | 0,46  | 1,92  |
| $Fe_{HPO}$     |       | 0,06   | 0,10   | 0,29   | 0,06  | 0,06  | 0,06   | 0,06  | 0,05  |
| И.И.И.         |       |        |        |        | 0,60  |       |        |       |       |
| Сумма          | 99,83 | 100,18 | 100,23 | 100,26 | 99,69 | 99,90 | 100,71 | 99,98 | 99,84 |

Примечание: Пачка А: 1. (Ш-2) - гранат-слюдистый сланец, Пачка Б: 2. (Ке-4) - ставролит-кванитовый сланец, 3. (Ке-5) - слюповидный кванитовый сланец, 4. (Ке-6) - ставролит-плагиоклаз-слюдистый сланец с порфиробластами плагиоклаза, 5. (БК-7е) - черный кванит-кварцевый сланец, 6,8. (БК-18, КК-7) - конкреционно-параморфические сланцы, 7. (КК-1) - радиально-лучистый кванит-кварцевый сланец, 9. (КК-18) - конкреционно-параморфический кванитовый сланец.

Анализ выполнен в химико-аналитической лаборатории ГИИ АН СССР. Аналитики: Г.Ф. Галюкова, И.Л. Биркова.

Химический состав пород серии кейв, (9)

| № обр.<br>Списком | IO    | II     | I2     | I3    | I4    | I5     | I6    | I7     |
|-------------------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| $SiO_2$           | 66,36 | 60,60  | 65,76  | 45,37 | 58,65 | 57,26  | 60,25 | 53,89  |
| $TiO_2$           | 1,95  | 1,15   | 1,19   | 1,62  | 0,98  | 0,97   | 1,06  | 1,52   |
| $Al_2O_3$         | 28,05 | 35,58  | 28,63  | 35,77 | 36,22 | 36,45  | 32,77 | 32,79  |
| $Fe_2O_3$         | 0,14  | 0,20   | 1,00   | 0,58  | 0,49  | 0,99   | 0,22  | 0,20   |
| $FeO$             | 0,14  | 0,14   | 0,83   | 0,28  | 0,28  | нет    | 0,28  | 0,78   |
| $MnO$             | нет   | сл.    | 0,03   | сл.   | нет   | нет    | сл.   | 0,01   |
| $MgO$             | 0,13  | нет    | 0,53   | 0,27  | 0,14  | 0,70   | 0,13  | 0,27   |
| $CaO$             | 0,38  | 0,56   | 0,56   | 0,56  | 0,38  | 0,56   | 0,56  | 0,69   |
| $Na_2O$           | 0,42  | 0,34   | 0,51   | 2,21  | 0,25  | 0,09   | 0,51  | 1,84   |
| $K_2O$            | 1,37  | 0,53   | 1,13   | 6,97  | 0,57  | 0,53   | 1,41  | 4,50   |
| $H_2O^+$          | 0,71  | 0,34   | 0,50   | 3,29  | 0,42  | 0,21   | 0,21  | 1,77   |
| $H_2O^-$          | 0,20  | 0,06   | 0,26   | 0,14  | 0,04  | 0,08   | 0,10  | 0,10   |
| $P_2O_5$          | 0,15  | 0,11   | 0,10   | 0,05  | 0,01  | нет    | 0,08  | 0,10   |
| $S$               | 0,39  | 0,40   | 0,39   | 0,18  | 0,41  | 0,16   | 0,21  | 0,21   |
| $CO_2$            | нет   | нет    | нет    | нет   | нет   | нет    | нет   | нет    |
| $C$               | 1,57  | нет    | 0,60   | 1,38  | 0,96  | 2,14   | 1,04  | 0,96   |
| $Fe_{\text{шар}}$ | 0,05  | 0,07   | 0,33   | 0,10  | 0,09  | 0,30   | 0,09  | 0,12   |
| П.п.п.            |       |        |        | 1,15  |       |        | 0,54  | 0,90   |
| Сумма             | 99,96 | 100,01 | 100,02 | 99,82 | 99,77 | 100,04 | 99,87 | 100,38 |

Пачка Б:

- 10. (КК-18/1) - радиально-волокнистый кварцитовый сланец,
- 11. (КК-20) - бесцветный (лейкокраповый) кварцитовый сланец,
- 12. (СК-14) - ставролит-кварцитовый сланец,
- 13. (СК-15) - серый флюитовидный сланец с кварцитом,
- 14. (СК-16) - крупнопараморфический сланец,
- 15. (СК-17) - кварцитовый сланец,
- 16. (СК-18) - крупнопараморфический сланец,
- 17. (СК-19) - хлорит-сланцевый сланец.



| № обр.<br>СКОЛЬКЕ | 1     | 2     | 3      | 4     | 5      | 6     | 7     | 8      |
|-------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| $SiO_2$           | 48,07 | 55,99 | 87,45  | 52,39 | 55,45  | 44,55 | 45,24 | 51,69  |
| $TiO_2$           | 1,01  | 1,43  | 0,25   | 1,40  | 0,60   | 1,28  | 1,09  | 0,49   |
| $Al_2O_3$         | 13,58 | 13,92 | 2,43   | 14,01 | 13,46  | 14,03 | 15,07 | 12,89  |
| $Fe_2O_3$         | 1,31  | 1,90  | 0,70   | 2,01  | 1,51   | 0,63  | 2,04  | 2,61   |
| $FeO$             | 8,01  | 12,31 | 2,01   | 11,83 | 7,29   | 11,20 | 11,87 | 11,11  |
| $MnO$             | 0,09  | 0,19  | 0,02   | 0,20  | 0,09   | 0,10  | 0,17  | 0,23   |
| $MgO$             | 11,95 | 3,31  | 1,12   | 6,81  | 7,59   | 11,91 | 11,34 | 8,85   |
| $CaO$             | 9,75  | 7,20  | 1,51   | 6,00  | 5,01   | 10,03 | 8,06  | 7,73   |
| $Na_2O$           | 1,11  | 0,71  | 0,89   | 4,39  | 2,90   | 1,23  | 0,81  | 1,01   |
| $K_2O$            | 0,49  | 0,61  | 0,13   | 0,10  | 1,93   | 0,70  | 1,28  | 0,40   |
| $P_2O_5$          | 0,19  | 0,06  | 0,01   | 0,10  | 0,10   | 0,10  | 0,09  | -      |
| $H_2O^+$          | -     | -     | 0,47   | -     | -      | -     | -     | -      |
| $H_2O^-$          | 0,02  | -     | 0,08   | -     | -      | 0,22  | 0,10  | -      |
| $CO_2$            | 0,97  | 0,30  | -      | -     | 1,71   | 1,30  | 0,50  | -      |
| C                 | -     | -     | 2,90   | -     | -      | -     | -     | 0,66   |
| Ш.п.п.            | 3,07  | 1,86  | -      | 0,70  | 2,73   | 2,00  | 2,23  | 2,66   |
| Сумма             | 99,92 | 99,79 | 100,02 | 99,94 | 100,37 | 99,28 | 99,89 | 100,33 |

Примечание: Пачка I: 1. (Ку-06) - полевошпатовый амфиболит, 2 (Ку-03) - амфибол-гранатовый сланец. Пачка II: 3. (Ку-2/1) - черный кварцит, 4. (Ку-43) - полевошпатовый амфиболит. Пачка III: 5. (Ку-101) - полевошпатовый амфиболит, 6. (Ку-50) - амфиболит, 7. (Ку-61) - амфиболит со ставролитом, 8. (Ку-64) - амфиболит с  $C_{орг}$ .

Приложение III (продолжение)  
Химический состав пород свиты хиретнаролок, (%)

| № обр.<br>ОКСИДЫ | 9      | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    |
|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $SiO_2$          | 48,00  | 55,11 | 58,59 | 50,65 | 65,36 | 58,65 | 58,58 | 54,07 | 51,33 |
| $TiO_2$          | 0,81   | 1,23  | 0,74  | 2,73  | 0,72  | 1,68  | 1,53  | 0,68  | 1,23  |
| $Al_2O_3$        | 15,69  | 11,19 | 11,96 | 14,63 | 7,09  | 9,63  | 11,42 | 20,19 | 17,59 |
| $Fe_2O_3$        | 2,69   | 2,19  | 3,15  | нет   | 4,21  | 6,34  | 1,66  | 0,82  | 1,40  |
| $FeO$            | 8,61   | 11,49 | 6,19  | 12,00 | 7,93  | 4,49  | 9,62  | 0,37  | 9,37  |
| $MnO$            | 0,17   | 0,25  | 0,11  | 0,03  | 0,07  | 0,01  | 0,20  | 0,02  | 0,04  |
| $MgO$            | 9,17   | 6,30  | 4,75  | 7,51  | 4,90  | 5,65  | 4,29  | 1,29  | 9,50  |
| $CaO$            | 10,29  | 7,39  | 6,45  | 3,01  | 3,80  | 2,66  | 8,19  | 1,53  | 3,38  |
| $Na_2O$          | 1,61   | 2,41  | 3,15  | 3,84  | 2,01  | 1,78  | 0,81  | 1,47  | 0,28  |
| $K_2O$           | 0,47   | 0,11  | 0,61  | 0,52  | 0,22  | 0,25  | 0,23  | 6,10  | 1,58  |
| $P_2O_5$         | 0,17   | 0,15  | 0,04  | 0,005 | 0,02  | 0,05  | 0,41  | 0,03  | 0,11  |
| $H_2O^+$         | -      | -     | 1,02  | 0,25  | нет   | 1,84  | 0,42  | 3,09  | -     |
| $H_2O^-$         | -      | -     | 0,06  | 0,46  | 0,40  | 0,57  | 0,06  | 0,46  | 0,22  |
| $CO_2$           | 2,98   | -     | нет   | 0,34  | 0,16  | 0,45  | нет   | 0,30  | 0,51  |
| $C$              | -      | -     | 2,69  | 3,55  | 2,61  | 5,69  | 2,00  | 8,00  | -     |
| П.п.л.           | 1,60   | 1,60  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 2,76  |
| Сумма            | 100,46 | 99,42 | 99,51 | 99,58 | 99,50 | 99,74 | 99,72 | 99,85 | 99,24 |

Пачка III:

9. (Ку-82) - полевошпатовый амфиболит,
10. (Ку-83) - гранатовый амфиболит,
11. (Ку-3/1) - амфибол-кварцевый сланец,
12. (Ку-3/3) - черный амфибол-кварцевый сланец,
13. (Ку-4) - гранат-амфибол-кварцевый сланец,
14. (Ку-7/2) - черный сланец с гранатом и биотитом,
15. (Ку-10/4) - гранат-амфибол-кварцевый сланец,
16. (Ку-8/2) - черный серицитовый сланец,
17. Ку-55 - ставролит-биотитовый сланец.

## Химический состав пород группы хирвинаволока, (5)

| № обр.<br>Образец | 18     | 19    | 20    | 21    | 22     | 23     | 24     | 25     | 26    |
|-------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| $SiO_2$           | 67,00  | 54,17 | 61,18 | 22,86 | 0,32   | 2,46   | 3,51   | 4,83   | 45,71 |
| $TiO_2$           | 0,83   | 1,71  | 1,00  | 0,16  | 0,17   | -      | -      | 0,08   | 1,13  |
| $Al_2O_3$         | 12,77  | 18,77 | 14,78 | 0,25  | 0,06   | -      | 1,75   | 0,50   | 18,70 |
| $Fe_2O_3$         | 2,70   | 0,99  | 1,73  | 0,53  | 0,86   | 2,70   | 0,47   | 0,27   | 2,85  |
| $FeO$             | 6,29   | 5,51  | 8,66  | 2,39  | 0,31   | 1,16   | 1,58   | 0,71   | 6,70  |
| $MnO$             | 0,03   | 0,09  | 0,10  | 0,08  | 0,18   | 0,04   | 0,03   | 0,02   | 0,09  |
| $MgO$             | 4,90   | 4,91  | 4,66  | 7,23  | 8,49   | 17,00  | 9,40   | 6,00   | 5,77  |
| $CaO$             | 0,83   | 4,13  | 1,83  | 33,04 | 32,55  | 32,61  | 41,23  | 47,16  | 10,41 |
| $Na_2O$           | 0,40   | 1,53  | 1,59  | 0,59  | 0,51   | 0,30   | 0,30   | 0,41   | 0,95  |
| $K_2O$            | 0,67   | 3,93  | 1,59  | 0,11  | 0,07   | 0,16   | 0,15   | 0,09   | 2,33  |
| $P_2O_5$          | 0,10   | 0,13  | 0,09  | 0,07  | 0,02   | 0,03   | 0,04   | 0,07   | -     |
| $H_2O^+$          | -      | -     | -     | 0,05  | 0,34   | 1,23   | 0,41   | 0,40   | -     |
| $H_2O^-$          | 0,11   | 0,23  | 0,07  | 0,15  | 0,15   | 0,06   | 0,04   | 0,10   | 0,24  |
| $CO_2$            | 0,13   | 1,66  | -     | 21,85 | 45,30  | 42,80  | 40,83  | 39,95  | 0,80  |
| $C$               | -      | -     | -     | 8,20  | 1,44   | 0,64   | 0,79   | -      | -     |
| Н.п.п.            | 3,63   | 1,90  | 2,70  | 1,93  | -      | -      | -      | -      | 3,82  |
| Сумма             | 100,39 | 99,66 | 99,98 | 99,47 | 100,77 | 101,42 | 100,53 | 100,59 | 99,50 |

## Пачка III:

- 18-20 (Ку-57, 81, 80) - ставролит-биотитовые сланцы,  
 21. (Ку-9/82-Н) - известняк с терригенной примесью,  
 22. (Ку-9/82-Д) - доломит,  
 23. (Ку-6/2) - доломит.  
 24. (Ку-6/3) - доломитовый известняк,  
 25. (Ку-10/20) - известняк.

## Пачка IV:

26. (Ку-47) - полевошпатовый амфиболит.

Химический состав пород свиты хирьинаволск, (7)

| № обр.<br>ОКСИДЫ | 27     | 28    | 29    | 30    | 31     | 32     | 33    | 34     | 35     |
|------------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| $SiO_2$          | 51,07  | 42,00 | 38,59 | 44,57 | 60,51  | 50,87  | 65,50 | 2,96   | 0,52   |
| $TiO_2$          | 1,33   | 1,45  | 1,77  | 1,19  | 0,85   | 1,07   | 0,71  | 0,08   | 0,17   |
| $Al_2O_3$        | 14,47  | 14,67 | 17,76 | 12,77 | 12,75  | 12,33  | 14,51 | 1,47   | 0,20   |
| $Fe_2O_3$        | 0,87   | 6,53  | 2,27  | 2,69  | 2,13   | 2,94   | 2,55  | 0,21   | 0,41   |
| $FeO$            | 10,67  | 9,41  | 11,76 | 12,01 | 6,23   | 12,84  | 1,87  | 0,65   | 0,09   |
| $MnO$            | 0,07   | 0,22  | 0,21  | 0,19  | 0,10   | 0,13   | 0,06  | 0,10   | 0,03   |
| $MgO$            | 7,87   | 9,16  | 9,75  | 6,56  | 5,74   | 7,38   | 5,24  | 19,18  | 1,69   |
| $CaO$            | 6,13   | 12,48 | 9,44  | 11,29 | 3,49   | 5,13   | 2,97  | 29,59  | 52,89  |
| $Na_2O$          | 2,87   | 1,27  | 1,87  | 2,41  | 3,90   | 2,11   | 1,99  | 0,85   | 0,85   |
| $K_2O$           | 0,11   | 0,33  | 0,31  | 0,29  | 2,00   | 3,37   | 2,23  | 0,38   | 0,22   |
| $P_2O_5$         | 0,10   | 0,21  | 0,11  | 0,13  | 0,21   | 0,10   | 0,10  | 0,01   | 0,08   |
| $H_2O^+$         | -      | -     | -     | -     | -      | -      | -     | 0,19   | 0,13   |
| $H_2O^-$         | -      | -     | 0,10  | 0,10  | 0,21   | 0,13   | 0,06  | 0,15   | 0,22   |
| $CO_2$           | -      | -     | -     | 0,93  | 1,25   | 0,51   | 0,91  | 42,79  | 42,75  |
| $C$              | -      | -     | -     | -     | -      | -      | -     | 1,80   | нет    |
| П.в.п.           | 4,57   | 2,04  | 5,88  | 4,61  | 0,99   | 2,20   | 1,15  | -      | -      |
| Сумма            | 100,13 | 99,77 | 99,82 | 99,71 | 100,36 | 100,71 | 99,85 | 100,41 | 100,25 |

Пачка IV:

- 27-30 (Ку-76, 77, 75, 91) - амфиболиты,
- 31. (Ку-95) - амфибол-плагиоклазовый сланец,
- 32. (Ку-48) - амфибол-гранат-плагиоклазовый сланец,
- 33. (Ку-92) - ставролит-биотитовый сланец,
- 34. (Ку-20/2а) - доломит,
- 35. (Ку-15/82в) - известняк.

Анализы № 1, 2, 4-10, 17-20, 26-33 выполнены в лаборатории ЦГЭ ИМПРЭ. Аналитики: Т.Г. Пронина, Р.А. Пчельникова, Э.И. Соколина

Приложение II (продолжение)

Химический состав пород свиты хирвинаволоок, (%)

| № ОБС.<br>ОБРАЗЦЫ | 36    | 37     | 38    | 39     | 40    | 41    | 42     | 43    | 44    |
|-------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| $SiO_2$           | 12,29 | 3,83   | 14,38 | 46,81  | 35,44 | 52,79 | 43,75  | 45,52 | 37,63 |
| $TiO_2$           | 0,17  | 0,08   | 0,23  | 0,58   | 0,77  | 0,77  | 0,67   | 0,68  | 0,52  |
| $Al_2O_3$         |       | 0,94   | 1,51  | 10,44  | 8,45  | 14,21 | 7,13   | 7,31  | 7,27  |
| $Fe_2O_3$         | 0,34  | 0,55   | 0,50  | 0,32   | 2,98  | 0,33  | -      | -     | 6,80  |
| $FeO$             | 2,62  | 1,52   | 1,57  | 0,72   | 1,67  | 1,88  | 6,30   | 5,25  | н/с   |
| $MnO$             | 0,14  | 0,57   | 0,37  | 0,02   | 0,03  | 0,03  | 0,02   | 0,02  | 0,01  |
| $MgO$             | 11,10 | 1,24   | 1,18  | 3,50   | 1,72  | 2,64  | 1,51   | 1,76  | 2,15  |
| $CaO$             | 53,79 | 48,23  | 40,39 | 5,19   | 2,37  | 2,00  | 3,50   | 3,41  | 4,01  |
| $Na_2O$           | 0,59  | 0,58   | 0,83  | 3,82   | 1,89  | 0,75  | 1,49   | 0,68  | 0,31  |
| $K_2O$            | 0,07  | 0,07   | 0,09  | 0,81   | 1,59  | 4,45  | 1,93   | 1,05  | 0,61  |
| $P_2O_5$          | 0,22  | 0,04   | 0,11  | 0,01   | 0,02  | 0,03  | 0,01   | 0,02  | 0,03  |
| $H_2O^+$          | 0,10  | 0,33   | 0,49  | 1,85   | 0,92  | 1,80  | 0,20   | 0,21  | 0,67  |
| $H_2O^-$          | 0,19  | 0,02   | 0,26  | 0,20   | 0,18  | 0,43  | 0,45   | 0,35  | 0,38  |
| $CO_2$            | 37,65 | 39,96  | 32,68 | 0,65   | 0,80  | 0,75  | нет    | нет   | нет   |
| $C$               | 0,30  | 2,32   | 5,25  | 25,20  | 40,30 | 17,10 | 33,10  | 33,00 | 32,00 |
| п.н.п.            | -     | -      | -     | -      | -     | -     | -      | 2,43  |       |
| $S$               | -     | -      | -     | -      | -     | -     | 1,27   | 1,25  | 1,97  |
| Сумма             | 99,57 | 100,28 | 99,34 | 100,22 | 99,73 | 99,96 | 100,51 | 99,69 | 95,36 |

Пачка IV:

36: (Ку-15/82-Г) - доломит,

37: (Ку-3/4) - известняк,

38: (Ку-3/2) - известняк с терригенной примесью.

Пачка V:

39 - 44 (Ку-9/1, Ку-9/4, Ку-10, Ку-11, Ку-11м, Ку-11/2) - графитистые (высокоуглеродистые) породы

Приложение III (окончание)

Химический состав пород свиты хирьянаволоок, (%)

| № обр.<br>Оксиды                   | 45    | 46    | 47    | 48    | 49     | 50    |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| <i>SiO<sub>2</sub></i>             | 38,26 | 36,21 | 41,39 | 39,24 | 16,03  | 38,12 |
| <i>TiO<sub>2</sub></i>             | 0,47  | 0,42  | 0,47  | 0,38  | 0,51   | 0,30  |
| <i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> | 10,07 | 6,17  | 8,50  | 9,51  | 8,34   | 8,86  |
| <i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> | 4,30  | 1,35  | 1,85  | 1,42  | 6,94   | 1,07  |
| <i>FeO</i>                         | 1,05  | 0,48  | 2,81  | 2,10  | 10,28  | 4,40  |
| <i>MnO</i>                         | 0,03  | 0,03  | 0,04  | 0,03  | 0,06   | 0,02  |
| <i>MgO</i>                         | 2,55  | 1,31  | 1,92  | 1,71  | 2,01   | 1,19  |
| <i>CaO</i>                         | 3,32  | 2,12  | 6,09  | 2,14  | 6,03   | 3,32  |
| <i>Na<sub>2</sub>O</i>             | 0,74  | 1,11  | 0,25  | 1,54  | 0,12   | 0,37  |
| <i>K<sub>2</sub>O</i>              | 1,22  | 0,39  | 0,31  | 1,45  | 0,13   | 0,79  |
| <i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>  | 0,04  | 0,01  | 0,04  | 0,04  | 0,10   | 0,02  |
| <i>H<sub>2</sub>O<sup>+</sup></i>  | 2,45  | 2,37  | 1,18  | 1,99  | 2,68   | 1,72  |
| <i>H<sub>2</sub>O<sup>-</sup></i>  | 1,00  | 0,74  | 0,96  | 0,53  | 1,50   | 0,30  |
| <i>CO<sub>2</sub></i>              | нет   | нет   | нет   | нет   | нет    | нет   |
| <i>C</i>                           | 30,00 | 40,00 | 32,00 | 35,52 | 40,80  | 39,50 |
| Н.п.п.                             | 2,64  | 6,94  | 0,74  | нет   | нет    | нет   |
| <i>S</i>                           | 1,46  | 0,23  | 0,96  | 0,78  | 4,14   | 1,28  |
| Сумма                              | 99,60 | 99,88 | 99,51 | 99,52 | 100,11 | 99,64 |

В образцах 48-50 присутствует соответственно - 1,14%, 2,44% и 0,31%.

Пачка V:

45-50 (Ку-23/1, Ку-23/2, Ку-9/84<sup>P</sup>, Ку-9/84<sup>V</sup>, Ку-9/84<sup>X</sup>, Ку-9/84<sup>А</sup>)-  
градитистые (высокоуглеродистые) породы.

Анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ИИИ АН СССР. Аналитики: И.Л.Ирригова, Б.В.Черкасова, Г.Ф.Галковский.

## Химический состав пород свиты соваярви, (%)

| № п.п.<br>ОКСИДЫ | 1      | 2      | 3     | 4     | 5      | 6     | 7     | 8      |
|------------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| $SiO_2$          | 96,25  | 95,21  | 94,26 | 96,54 | 67,36  | 64,72 | 63,53 | 65,58  |
| $TiO_2$          | нет    | 0,04   | нет   | нет   | 1,28   | 0,89  | 0,67  | 0,86   |
| $Al_2O_3$        | 0,33   | 0,88   | 0,19  | 0,06  | 11,42  | 13,09 | 14,14 | 14,43  |
| $Fe_2O_3$        | 0,14   | 0,62   | 0,81  | 0,54  | 0,19   | 7,50  | 1,35  | 2,28   |
| $FeO$            | 0,34   | 0,86   | 0,11  | 0,12  | 6,32   | 1,08  | 2,60  | 2,49   |
| $CaO$            | 0,61   | 1,23   | 0,54  | 0,48  | 3,31   | 2,10  | 3,42  | 0,68   |
| $MgO$            | 0,17   | 0,09   | 0,26  | нет   | 2,47   | 2,52  | 2,68  | 3,93   |
| $MnO$            | нет    | 0,01   | нет   | нет   | 0,07   | 0,05  | 0,03  | 0,03   |
| $P_2O_5$         | 0,01   | 0,27   | 0,03  | нет   | 0,03   | -     | 0,05  | 0,03   |
| $Na_2O$          | 0,05   | 0,07   | 0,08  | 0,08  | 4,28   | 3,60  | 3,89  | 5,38   |
| $K_2O$           | 0,26   | 0,06   | 0,12  | 0,12  | 0,21   | 2,76  | 1,54  | 1,83   |
| $H_2O^+$         | 0,85   | 0,10   | нет   | нет   | 0,71   | -     | 0,95  | 0,18   |
| $H_2O^-$         | 0,17   | 0,16   | 0,22  | 0,09  | 0,04   | 0,12  | 0,50  | 0,14   |
| $CO_2$           | нет    | 0,55   | нет   | нет   | нет    |       | нет   | 0,70   |
| $C$              | 1,12   | 0,10   | 3,00  | 1,61  | 2,33   |       | 4,21  | 1,55   |
| П.п.п.           |        |        |       |       |        | 1,17  |       |        |
| $S$              |        |        |       |       |        |       |       | 0,16   |
| Сумма            | 100,30 | 100,25 | 99,62 | 99,64 | 100,02 | 99,82 | 99,56 | 100,25 |

1-4. (П-10/3, П-10/20, П-17/6, П-17/6а) - темно-серые полосчатые  
лиднты,

5. (П-2/1) - черный карбонат-амфибол-кварцевый сланец,

6. (2) - биотит-кварцевый сланец,

7. (П-10/7) - черный мелкозернистый биотит-кварцевый сланец,

8. (П-10/24) - черный феллитовидный сланец.

Химический состав пород свиты соваярви, (%)

| № обр.<br>ОКСИДЫ | 9     | 10    | 11     | 12    | 13    | 14     | 15     | 16     |
|------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $SiO_2$          | 50,12 | 50,91 | 50,45  | 54,18 | 52,63 | 44,74  | 49,18  | 44,27  |
| $TiO_2$          | 1,03  | 1,27  | 0,59   | 0,71  | 1,86  | 0,85   | 0,51   | 0,59   |
| $Al_2O_3$        | 12,56 | 13,25 | 16,23  | 14,04 | 15,33 | 14,21  | 14,88  | 9,33   |
| $Fe_2O_3$        | 0,02  | 1,46  | 0,31   | 1,26  | 0,31  | 0,06   | 1,86   | 1,14   |
| $FeO$            | 12,09 | 10,85 | 3,84   | 2,60  | 11,59 | 1,80   | 0,87   | 2,57   |
| $CaO$            | 6,06  | 5,59  | 11,60  | 6,33  | 5,12  | 1,63   | 1,51   | 2,22   |
| $MgO$            | 7,66  | 7,42  | 9,98   | 8,32  | 5,61  | 1,91   | 2,30   | 1,18   |
| $MnO$            | 0,17  | 0,18  | 0,05   | 0,03  | 0,32  | 0,007  | 0,007  | нет    |
| $P_2O_5$         | 0,09  | 0,05  | 0,10   | 0,09  | 0,06  | 0,01   | 0,01   | 0,05   |
| $Na_2O$          | 4,19  | 4,24  | 2,63   | 2,70  | 4,23  | 4,24   | 6,63   | 2,89   |
| $K_2O$           | 0,40  | 0,40  | 0,32   | 3,29  | 0,41  | 2,57   | 1,26   | 0,67   |
| $H_2O^+$         | 2,74  | 1,92  | 0,56   | 1,04  | 0,54  | 2,85   | 0,35   | 1,62   |
| $H_2O^-$         | 0,24  | 0,18  | 0,16   | 0,17  | 0,12  | 0,36   | 0,35   | 0,32   |
| $CO_2$           | нет   | нет   | 0,65   | 3,45  | нет   | нет    | нет    | нет    |
| $C$              | 2,15  | 1,80  | 3,00   | 1,52  | 1,66  | 24,83  | 20,49  | 32,14  |
| П.п.п.<br>$S$    |       |       |        | 0,03  |       |        |        | 1,49   |
| Сумма            | 99,52 | 99,52 | 100,47 | 99,76 | 99,79 | 100,06 | 100,50 | 100,48 |

9. (II-I/2) - черный амфиболовый сланец,  
 10. (II-I/6) -- амфиболовый сланец,  
 11. (II-10/5) - черный амфиболовый сланец,  
 12. (II-10/6) - карбонат-бистит-кварцевый сланец с  $C_{орг}$ ,  
 13. (II-10/II) - амфиболовый сланец,  
 14. (II-3/3) - графитистый сланец,  
 15. (II-8/I) -- углистый сланец,  
 16. (30I/9) -- высокоуглеродистая порода.



Химический состав пород свиты соваярви, (%)

| № опр.<br>ОКСИДЫ | 17     | 18      | 19     | 20     | 21     | 22    | 23    | 24    |
|------------------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| $SiO_2$          | 36,02  | 38,04   | 16,53  | 11,22  | 21,94  | 61,98 | 55,39 | 16,98 |
| $TiO_2$          | 0,76   | 0,77    | 0,09   | 0,30   | 0,17   | 1,10  | 0,65  | 0,25  |
| $Al_2O_3$        | 7,96   | 9,30    | 2,97   | 3,86   | 3,19   | 8,36  | 12,72 | 4,31  |
| $Fe_2O_3$        | 5,07   | 0,50    | 0,64   | 1,73   | 1,23   | 2,81  | 2,84  | 1,08  |
| $FeO$            | 1,11   | 2,50    | 0,59   | 3,82   | 2,21   | 8,78  | 6,09  | 2,24  |
| $CaO$            | 5,03   | 1,19    | 24,00  | 25,35  | 33,11  | 3,20  | 3,49  | 28,83 |
| $MgO$            | 1,89   | 3,69    | 17,06  | 17,39  | 12,00  | 5,98  | 4,16  | 14,05 |
| $MnO$            | 0,03   | 0,036   | 0,06   | 0,28   | 0,14   | 0,21  | 0,14  | 0,17  |
| $P_2O_5$         | 0,01   | не опр. | 0,18   | 0,23   | 0,06   | 0,07  | 0,03  | 0,13  |
| $Na_2O$          | 4,08   | 2,40    | 0,59   | 1,01   | 0,68   | 2,90  | 5,52  | 1,18  |
| $H_2O$           | 1,39   | 1,13    | 1,22   | 0,50   | 0,15   | 0,15  | 0,15  | 0,19  |
| $H_2O^+$         | 1,25   | -       | нет    | 0,84   | 1,51   | 0,74  | 0,14  | 0,99  |
| $H_2O^-$         | 0,99   | 0,19    | 0,19   | 0,23   | 0,28   | 0,34  | 0,30  | 0,21  |
| $CO_2$           | 3,55   | -       | 33,65  | 34,00  | 24,00  | нет   | нет   | 29,05 |
| $C$              | 29,13  | 39,8    | 0,11   | нет    | нет    | 3,30  | 7,80  | нет   |
| П.п.п.           |        | 40,33   |        |        |        |       |       |       |
| $S$              | 3,31   | не опр. |        |        |        |       |       |       |
| Сумма            | 101,58 | 100,20  | 100,08 | 100,69 | 100,67 | 99,92 | 99,62 | 99,66 |

17. (П-20/1) - высокоуглердистая порода,  
 18. (301/86,0) - графитистая порода /30/,  
 19. (П-17/1) - доломит с терригенной примесью,  
 20. (П-17/2) - доломит,  
 21. (П-17/3) - доломит с терригенной примесью,  
 22-23. (П-17/4, П-17/46) - черные амфибол-кварцевые сланцы,  
 24. (П-17/5) - доломит.

Анализы выполнены в химико-аналитической лаборатории ИИИ АН СССР, Аналитики: М.А.Конякина, Е.В.Черкасова.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| Введение.....  | 3   |
| Глава I. Основные черты геологического строения районов<br>развития углеродсодержащих пород.....                                 | 6   |
| I. Северо-Карельская синклиналичная зона.....  | 6   |
| А. Кукаозерско-Тихозерский синклинорий.....  | 6   |
| а. Ирригорская синклиналь (свита хизовара).....  | 8   |
| б. Кукаозерская синклиналь (свита хирвинаволоков)  | 13  |
| Б. Куоляярвинский синклинорий.....   | 17  |
| а. Соваярвинская синклиналь (свита соваярви)....   | 17  |
| 2. Кольско-Кейвская синклиналичная зона.....   | 21  |
| А. Кейвский синклинорий (серия кейв).....  | 21  |
| Глава II. Литолого-петрографическая характеристика углерод-<br>содержащих пород.....   | 29  |
| I. Породы свиты хизовара.....  | 29  |
| 2. Породы серии кейв.....  | 36  |
| 3. Породы свиты хирвинаволоков.....  | 46  |
| 4. Породы свиты соваярви.....  | 53  |
| 5. Исследования углеродистого вещества.....  | 59  |
| Глава III. Литолого-геохимическая и петрохимическая харак-<br>теристика и условия формирования углеродсодержа-<br>щих пород..... | 70  |
| А. Литолого-геохимическая характеристика пород и ус-<br>ловия формирования.....  | 71  |
| Методика геохимических реконструкций.....  | 71  |
| I. Породы свиты хизовара.....  | 72  |
| 2. Породы серии кейв.....  | 84  |
| 3. Породы свиты хирвинаволоков.....  | 96  |
| 4. Породы свиты соваярви.....  | 107 |
| 5. Выводы.....   | 115 |
| Б. Петрохимическая характеристика пород и условия их<br>формирования.....  | 117 |
| Методы реконструкции первичной природы пород и<br>условий их формирования.....   | 117 |
| I. Породы свиты хизовара.....  | 119 |
| 2. Породы серии кейв.....  | 135 |
| 3. Породы свиты хирвинаволоков.....  | 150 |
| 4. Породы свиты соваярви.....  | 165 |
| В. Условия формирования углеродсодержащих пород.....   | 178 |

|   |     |
|---|-----|
| Глава IV. Практическое значение углеродсодержащих отложений<br>докембрия..... | 182 |
| Заключение.....   | 186 |
| Литература.....   | 189 |
| Приложение I (химический состав пород свиты хизовара).....                    | 200 |
| Приложение II (химический состав пород серии кейв).....                       | 206 |
| Приложение III (химический состав пород свиты жрвинаволок)..                  | 208 |
| Приложение IV (химический состав пород свиты соваярви).....                   | 214 |

3