

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

МИНСТРОЙМАТЕРИАЛОВ РСФСР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ПРОБЛЕМАМ ТРАНСПОРТА, ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬ-
НОГО СЫРЬЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

На правах рукописи

ЗОЛОТЫХ ЕЛЕНА БОРИСОВНА

УДК 553.6

ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА МЕТАБАЗАЛЬТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЯНДУХА (АРХАНГЕЛЬ-
СКАЯ ОБЛАСТЬ)

Специальность 04.00.14 - Геология, поиски и разведка рудных и
нерудных месторождений.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-мине-
ралогических наук.

Научный руководитель -
доктор геолого-минера-
логических наук - На-
седкин Василий Викторо-
вич.

Москва - 1989

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение.	3
Глава I	
Геологическое строение синклиория Ветреный пояс.	8
1. Стратиграфия.	88
2. Тектоническое строение синклиория Ветреный пояс.	113
3. Особенности метаморфизма пород Ветреного пояса.	117
Глава II	
Характеристика месторождения строительного камня Мяндуха.	22
1. Геологическое строение.	22
2. Тектоника.	28
3. Метаморфизм пород.	31
Глава III.	41
Петрография и петрохимия пород месторождения.	41
1. Петрография	41
2. Петрохимия metabазальтов месторождения Мяндуха.	81
Глава IV	
Физико-механические свойства metabазальтов месторождения Мяндуха.	102
Глава V	
Математическая модель месторождения.	131
Заключение.	154
Литература.	156

Целью работы является выявление закономерностей изменения
свойств полезного ископаемого и создание геологической модели
месторождения; на основе которой возможно приближенное техни-
ко-экономическое описание пород, т. е. создание общей картины изменчи-
вости так описанного полезного ископаемого, которое является на техно-
логическом уровне в перспективе пород.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с тем, что высокопрочный строительный щебень в нечерноземных областях является дефицитным материалом, приходится осваивать нетрадиционные для этой цели виды пород. Изверженные породы основного состава редко используются для получения строительного щебня, поскольку разработка и переработка этих пород сопряжена со значительными трудностями. Обычно они неоднородны, при дроблении трудно получить нужную форму зерен щебня, кроме того они обладают повышенной вязкостью, т.е. повышенной сопротивляемостью при раскалывании на куски, что приводит к снижению производительности предприятия. А это в свою очередь резко увеличивает сроки его окупаемости. Таким образом, изучение геолого-технологической неоднородности эффузивных пород основного состава месторождения Мяндуха весьма актуально.

Разрешение этой задачи позволит правильно ориентировать добычные работы на сырье с определенным качеством полезного ископаемого, производить прогнозное планирование, и устанавливать реальные планы предприятию, работающему на месторождении. Начальным этапом геолого-технологического изучения месторождения Мяндуха является установление характера неоднородности физико-механических свойств пород и их зависимости от петрографических разновидностей.

Целью работы является выявление закономерностей изменения качества полезного ископаемого и создание геологической модели месторождения, на основе которой возможно прогнозирование технологических свойств пород, т.е. создание общей картины изменчивости тех свойств полезного ископаемого, которые влияют на технологию добычи и переработки пород.

Месторождение скальных пород, как любое геологическое тело, можно себе представить как совокупность материальных точек, в каждой из которых возможно определение большого числа свойств вещества. С геологической точки зрения наиболее важными являются свойства, которые позволяют выделить отдельные геологические тела, т.е. свойства, определяющие петрографическое наименование породы. Но имеется значительное количество свойств, которые характеризуют индивидуальность каждой точки, выделенного по геологическим признакам тела. К этим свойствам относятся физико-механические свойства. Они представляют собой случайную характеристику, т.к. зависят от большого количества не поддающихся контролю обстоятельств. Но в проявлении физико-механических свойств все же можно выявить закономерность, если выяснить определяющие петрографические признаки, которые оказывают главное влияние на свойства полезного ископаемого.

Задачей работы как раз и являлось выявление влияния петрографической неоднородности на неоднородность физико-механических свойств пород.

В качестве объекта исследования выбраны metabазальты месторождения Мяндуха Архангельской области. Автором на месторождении в течение трех лет проводились полевые работы, пройдены маршруты, отобраны образцы для 150 шлифов и 104 монолитов, предназначенных для физико-механических испытаний. Описаны также 500 шлифов из кернов скважин, пройденных при геолого-разведочных работах Плесецкой КГЭ.

В работе были применены следующие методы исследования: полевое описание разрезов, микроскопические исследования, сканирующая микроскопия, микронзондирование, петрохимический анализ, статистический анализ, математическое моделирование.

Научная новизна.

1. На месторождении описаны, выделены и геометризованы потоки metabазальтов с макротекстурной зональностью.
2. В пределах вулканических тел выделены микроструктурные петрографические разновидности, характерные для каждой зоны потоков.
3. Установлена эволюция химического состава магмы в магматическом очаге.
4. Впервые выявлен характер изменения физико-механических свойств пород вниз по разрезу.
5. Доказано влияние первичных структур породы на характер метаморфических изменений, а также на технологические свойства metabазальтов.

Практическое значение. Полученные результаты делают возможным прогноз качества полезного ископаемого и будут учитываться при проектировании взрывных работ.

Разработанная методика оценки технологических свойств месторождения Мяндуха может быть применена для предпроектной оценки других месторождений строительного камня, сложенных основными вулканогенными породами и их метааналогами.

Основные защищаемые положения.

1. Установлено, что полезная толща месторождения сложена согласными потоками базальтов с макротекстурной зональностью.
2. Метаморфизм базальтов имеет пятнистое распространение и определяется как блоковой тектоникой, так и зональностью потоков.
3. Химический состав metabазальтов однороден и свидетельствует об излиянии из одного магматического очага.
4. Технологические свойства metabазальтов зависят от типа микроструктуры, степени метаморфизма пород и вариаций химического состава.
5. Предложена технологическая классификация metabазальтов, на основе которой возможно построение математической модели залежи.

Апробация работы.

Работа делалась в рамках комплексной темы: "Разработка рекомендаций по ускорению освоения мощностей предприятия по производству щебня на месторождении Мяндуха" (№Гос.регистрации ОI.86.0009I68). По материалам автора настоящей работы проведена типизация пород месторождения, которая будет положена в основу разработки параметров буровзрывных работ.

Работа продолжается институтом ВНИПИИстромсырье в 1989г. по теме: "Разработка параметров буровзрывных работ, обеспечивающих понижение прочности кусков взорванной горной массы, подвергшихся дроблению в дробилке I стадии щебзавода Мяндуха."

По теме диссертации опубликовано семь статей, прочитано четыре доклада:

1. на Московских совещаниях "Математические методы в изучении цикличности в геологии" в 1984 и 1988г.г.

2. на заседании НТО "Стройиндустрия" от II.06.85г.

3. на Всесоюзном совещании "Минерально-сырьевые ресурсы и комплексное их освоение" (Мельниковские чтения) в г.Сарапуле 1989г.

В ходе работы потребовался довольно большой объем аналитических исследований. Автор выражает благодарность сотрудникам института ИГЕМ - И.М.Марсий (рентгеновский анализ), С.Е.Борисовскому (микрозонд), ст.н.сотруднику кафедры инженерной геологии МГУ В.М.Ладыгину (физико-механические испытания), Р.А.Коньшевой (сканирующая микроскопия). Во время обучения в аспирантуре были сделаны доклады на заседаниях Отдела неметаллических полезных ископаемых, в ходе обсуждения которых автор получил много полезных советов, за что благодарен коллективу лаборатории и особенно

доктору геолого-минералогических наук В. П. Петрову. Автор благодарит сотрудников сектора геологии и оценки месторождений и лаборатории спецметодов разработки месторождений института "ВНИПИИстромсырье" и особенно главного научного сотрудника доктора технических наук И. Б. Шлаина за помощь и поддержку, без чего эта работа не могла бы быть осуществлена. Автор выражает также благодарность своему руководителю - доктору геолого-минералогических наук Василию Викторовичу Наседкину.

Диссертационная работа выполнена в период с 1983 по 1987г.г. в институте ИГЕМ под руководством доктора геолого-минералогических наук В. В. Наседкина.

ГЛАВА I

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СИНКЛИНОРИЯ

ВЕТРЕННЫЙ ПОЯС

I. СТРАТИГРАФИЯ

Месторождение строительного камня "Мяндуха" находится на юго-восточной окраине синклинория Ветренный пояс.

Синклинорий Ветренный пояс представляет собой унаследованную протерозойскую структуру шириной 50 км длиной 250 км на юго-востоке Балтийского щита вдоль границы Беломорского блока. Район характеризуется весьма широким проявлением базит-ультрабазитового протерозойского магматизма. Но в силу труднодоступности и слабой обнаженности территории синклинорий изучен гораздо меньше, чем другие районы Балтийского щита.

Даже в наиболее крупных работах об этом районе (Гилярова, 1974) комплекс пород ветренного пояса описывается весьма кратко /II, 12, 13, 14/

Наиболее полно синклинорий Ветренный пояс описан в работах /74, 32, 39, 40, 41, 42/ В. Д. Слюсарева и В. С. Куликова. и В. В. Куликовой. Ими составлена схема геологического строения синклинория Ветренный пояс (рис. I), а также разработаны основы стратиграфии (табл. I).

Подстилающими для протерозойских образований служат, вероятно, гнейсы, гранито-гнейсы и амфиболиты беломорской серии. Во всех случаях, где удалось наблюдать контакт протерозойских и архейских пород, был установлен его тектонический характер.

Нижний протерозой

Лопий (Парандовская серия) Зеленые сланцы, амфиболиты, плагио-порфиroidы. Реликтовые структуры и текстуры пород показывают, что первоначально это были осадочно-вулканогенные образования, часть разреза сложена метаморфизованными интрузивными породами основного и среднего состава. Полный разрез серии не известен.

Сумий (Тунгудская серия)

Диабазы, часто с миндалекаменной текстурой, а также туфогенно-осадочные образования, часто измененные до зеленых сланцев. Серия

изучена слабо. Во многих случаях оказывается невозможно разделить образования парандовской и тунгудской серии.

Таблица I.

Стратиграфическая схема докембрийских пород Ветренного пояса
(по В.Д.Слюсареву и В.С.Куликову) /74/

Группа			П О Р О Д Ы	
Верхняя	Подгруппа	Отдел		
П Р О Т Е Р О З О Й С К А Я	Верхняя	Серия Толща	Красноцветные песчаники и конгломераты	
		Ветренного пояса: Верхняя	Оливиновые, пироксеновые, пикритовые, толеитовые базальты, эруптивные брекчии, гиадокластиты и их измененные разновидности	
	НИЖНЯЯ	Суйсарий	Ветренного пояса: Нижняя	Аргиллиты, кремнисто-глинистые сланцы, песчаники, туфосланцы, метаморфические сланцы по этим породам
		Ятулий	Онежская	Диабазы, туффиты, мраморизованные известняки, аркозы, слюдистые сланцы, кварциты, кварц-серицитовые сланцы
	Сумий	Сариомий		Полимиктовые валунные конгломераты
		Сариолийская		
		Тунгудская		Измененные диабазы, мандельштейны, туффиты, вулканические брекчии, зеленые сланцы
	Архейская	Лопий	Парандовская	Метаморфические сланцы по вулканогенно-осадочным породам
			Беломорская	Различные гнейсы, амфиболиты

Сариолий. Полимиктовые конгломераты сариолийской серии в 60-х годах описывались в составе онежской серии т.е. относились к ятулию, но затем для Центральной Карелии был установлен значительный перерыв между отложениями сариолия и ятулия.

Полимиктовые конгломераты впервые описаны Н.В.Альбовым в 1938г. Они обычно залегают на вулканитах тунгудской серии с нечетко выраженным угловым несогласием. Контакт с перекрывающими породами наблюдать не удалось.

Разрез сариолийской серии начинается конгломератами с цементом и галькой подстилающих пород. Нижняя часть конгломератов граувакковая, выше появляются гальки и валуны гранитов, гнейсов, амфиболитов, кварца, т.е. конгломераты становятся полимиктовыми. Цемент вверх по разрезу становится преимущественно аркозовым, встречаются прослои чистых аркозов.

Конгломераты довольно сильно рассланцованы. Мощность около 250м иногда больше.

Ятулий (Онежская серия) Данный отдел состоит из метаморфизованных осадочных и изверженных пород (снизу вверх):

- слюдясто-кварцевые сланцы и аркозовые песчаники с прослоями альбито-эпидото-актинолитовых сланцев (мощность 50м);
- амфиболитизированные диабазы с прослоями туффитов и мраморизованных известняков (мощность 400м).

Базальные отложения онежской серии в районе Ветренного пояса не установлены.

Суйсарий (серия Ветренный пояс). Отложения серии четко делятся на две толщи - верхнюю и нижнюю. Внизу залегают туфогенно-осадочные образования, вверху - эффузивные. Контакт с подстилающими породами ятулия выделяется довольно условно по обнажениям на северном берегу Кожозера.

Нижняя толща образует полосу шириной в несколько километров в

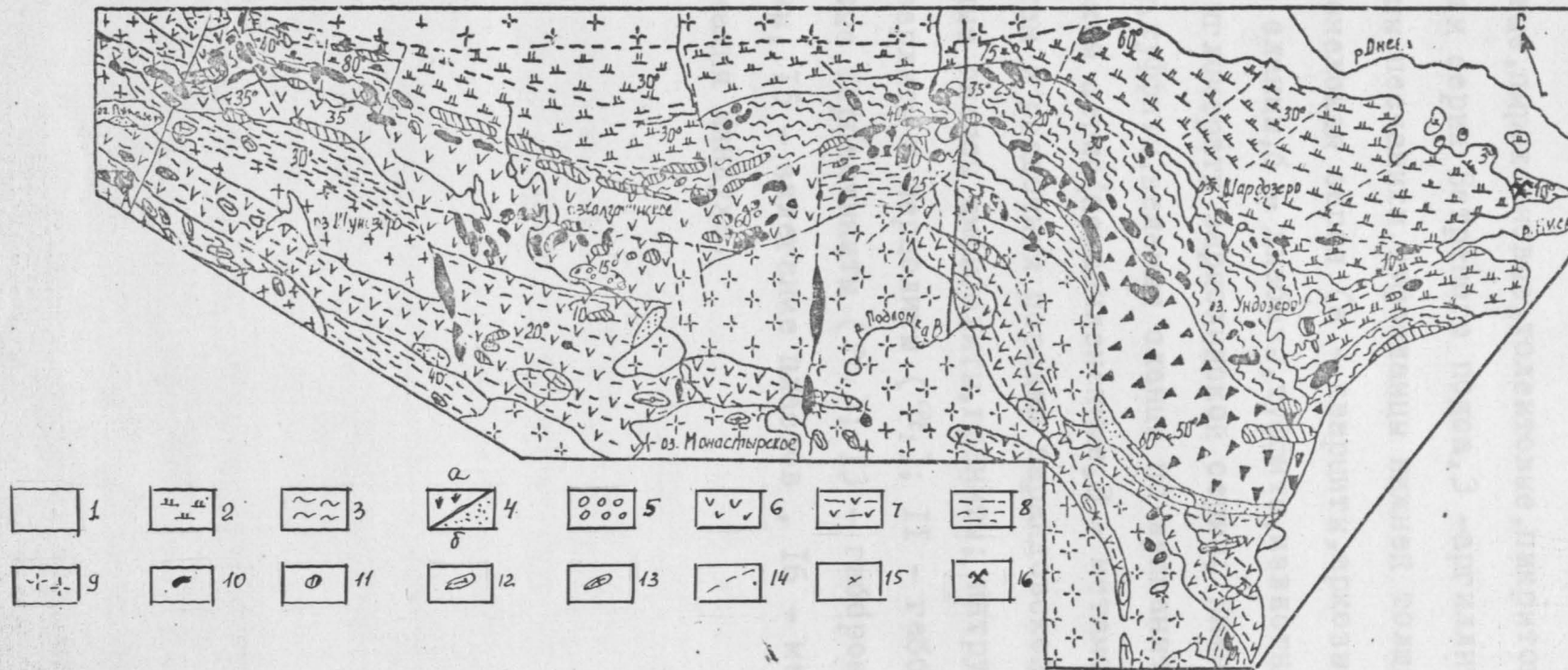


Рис. 21 Схема геологического строения синклинория Ветреный
 Пояс (по В. Д. Слюсареву и В. С. Куликову /74/)
 (условные обозначения на сл. странице)

Условные обозначения к рис. I

Палеозой - I - эпиконтинентальные отложения; Средний протерозой - 2 - оливиновые, пироксеновые, толеитовые, пикритовые базальты верхней толщи серии Ветреного пояса, 3 - аргиллиты, кремнисто-глинистые сланцы, песчаники, туфосланцы нижней толщи серии Ветреного пояса, 4 - онежская серия (а - кварциты, аркозы, кварцевые сланцы, б - диабазы, туффы, известняки), 5 - полимиктовые конгломераты сариолийской серии; Нижний протерозой: 6 - диабазы, туффы, зеленые сланцы по вулканитам тунгудской и парандовской серий (нерасчлененные), 8 - метаморфические сланцы по вулканитам и осадочным породам парандовской серии; Архей - 9 - различные гнейсы амфиболиты, граниты; интрузивные образования: I0 - верлиты и лерцолиты (Pt_2); I1 - габброиды (Pt_2); I2 - антигоритовые серпентиниты (Pt_1); I3 - габброамфиболиты (Pt_1), I4 - разломы, I5 - залегание пластов, I6 - месторождение строительного камня Мяндуха.

восточной части синклинория Ветренный пояс. Наиболее полный разрез нижней толщи находится в бассейне р. Виленги (на север от Кожозера).

В основании толщи - среднезернистые до крупнозернистых косослоистые песчаники с прослоями кремнисто-глинистых сланцев (мощность 20м). Выше флишеподобная пачка тонкопереслаивающихся мелкозернистых песчаников, алевролитов, аргиллитов и кремнисто-глинистых сланцев. Еще выше по разрезу среди терригенных пород появляются прослои туфосланцев. Перекрывается нижняя толща эффузивами: образующими верхнюю толщу серии Ветренный пояс. Эффузивная толща слагает кряж Ветренный пояс, протягивающийся на 250км вдоль Беломорского блока.

Полного разреза толщи наблюдать не удастся, т.к. верхние ее части размыты. Возможно, они могут быть обнаружены на юго-восточном продолжении кряжа Ветренный пояс под осадочным чехлом Русской платформы (Наволоцкий выступ).

Обнаженная часть разреза состоит из многочисленных покровов оливиновых базальтов обычно с шаровой отдельностью. Покровы бывают как простого так и дифференцированного строения и имеют мощность до 30-40 иногда до 70м.

Верхний протерозой. Красноцветные песчаники обнаружены в нескольких местах в том числе при бурении в нижнем течении р. Иксы. Эти песчаники перекрываются только отложениями палеозоя, которые залегают трансгрессивно и образуют осадочный чехол Русской платформы.

2. ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ СИНКЛИНОРИЯ

ВЕТРЕННЫЙ ПОЯС

Синклинорий представляет собой юго-восточное окончание Восточно-Карельской синклинорной зоны /26,65,81/.

Ось синклинория погружается в юго-восточном направлении одновременно загибаясь на юг. Северо-восточная граница синклинория проходит вдоль глубинного разлома, разделяющего архейские породы Беломорья и протерозойские породы, выполняющие синклинорий. Тектоническая при-

рода границы, по М.А.Гиляровой, подтверждается следующими фактами:

1) С зоной разлома совпадает северо-восточная ветвь докарельской геосинклинали в части которой отмечены зеленокаменные эффузивы, образовавшиеся в результате трещинных излияний.

2) По мере приближения к этой зоне архейские породы приобретают блоковое строение, причем над сводами глыб залегают мигматизированные и гранитизированные породы беломорской толщи, а между ними в узких синклиналильных структурах располагаются амфиболитовые толщи докарелия.

3) Ширина приразломной части десятки километров. Заполнена она бластомилонитами, образовавшимися по чарнокитам.

4) Геофизическими данными, т.е. существованием цепочки магнитных аномалий с резким падением кривой Δg на контакте вулканитов протерозоя и гнейсов архея/13/.

Характер южной и юго-западной границы синклинория с Центрально-Карельской антиклинорной зоной не совсем ясен. Но наиболее вероятно, что он тоже тектонический.

Синклинорий состоит из двух параллельных синклиналильных структур, разделенных антиклиналью с гранитоидами в ядре. Подобное строение/74/ структуры четко выражено только в северо-восточной части синклинория. В юго-восточной части поворот оси синклинория на юг превращает структуру как бы в моноклиналильную. На юго-западе на поверхность выходят породы нерасчлененных парандовской и тунгудской серий, северо-восточнее - отложения онежской серии и еще северо-восточней сначала породы нижней толщи серии Ветренный пояс, затем верхней толщи.

В строении синклинория можно выделить два структурных этажа. Нижний этаж образуют породы парандовской и тунгудской серий, верхний - породы сариолийской, онежской серий и серий Ветренный пояс. Каждый тектонический цикл, образующий один этаж начинался с отложения базальных терригенных слоев, затем проявлялся вулканизм и форми-

ровались мощные толщи вулканитов. На этом отдельный тектонический цикл заканчивался. Э.Б.Наливкиной была дана классификация зеленокаменных поясов и показано их место в структурах типа древних щитов и для Балтийского щита в частности (табл. 2)/59/.

Таким образом, согласно этой классификации нижний структурный этаж, сложенный породами парандовской и тунгудской серий, формировался в геосинклинальный этап развития синклинория и представляет собой зеленокаменный пояс первого типа, а верхний структурный этаж, сложенный породами сариолийской, онежской серий и Ветреного пояса, формировался в субплатформенный этап развития синклинория и представляет собой зеленокаменный пояс второго типа. Э.Б.Наливкиной (/59/), И.П.Новицким (/63/), а также автором диссертации было показано, что породы, образующие структуру Ветреного пояса сравнительно слабо метаморфизованы, не выше зеленокаменной фации. Тектоника проявилась главным образом, в вертикальном перемещении блоков и поэтому эффузивы в значительной мере сохраняют свой внешний облик и структуру потоков.

Тектонические разломы существенно усложнили структуру синклинория. Они образовались в разное время и оказали различное влияние на структуру пояса. Так северо-западные разломы - наиболее древние и еще с докарельских времен определяли положение Восточно-Карельской геосинклинальной зоны/3,6,II,13,25А/Секущие субмеридиональные разломы заложены на границе архея и протерозоя и определяют внутреннее строение протерозойских толщ.

В пределах рассматриваемого синклинория Ветреный пояс можно выделить четыре участка: 1) Северо-Западный (горы Голец-Шапочка), 2) Центральный (г. Шапочка - р. Нименьга), 3) Кожозерский (р. Нименьга - Шардозеро), 4) Юго-Восточный (Восточнее Шардозера) (В.Д.Слюсарев, В.С.Куликов (/74/), эти участки четко обособлены на схеме геологического строения синклинория Ветреный пояс (рис. I).

Таблица 2

Место зеленокаменных поясов в схеме тектонического развития земной коры в докембрии (по Н.Б.Наливкиной 1982г.)

Возраст	Тектоническая структура	Стадия тектонического развития	Характер развития	Преобладающие процессы	Метаморфизм-метасоматизм	Слой земной коры	Тип зеленокаменного пояса
<i>PR₂</i>	Субплатформенная	6. Регенерация	Эволюционный	кислый магматизм	Метасоматизм вдоль линейных зон разломов	Локальное усложнение "гранитного слоя"	Второй
		5. Рифтогенез	Революционный	Основной магматизм Осадко-накопление	Прогрессивный региональный метаморфизм в условиях зеленосланцевой, пренит-пумпеллитовой фации; сопряженный с ним регрессивный метаморфизм более древних образований	Линзовидное поясное неполное разрушение "гранитного слоя"	
<i>PR₁</i>	Геосинклинально-складчатая	4. Кратонитизация	Эволюционный	кислый магматизм	Региональная гранитизация в условиях амфиболитовой фации; сопряженный с ним регрессивный метаморфизм более древних образований	Наращивание и усложнение "гранитного слоя"	Первый
		3. Океанизация континентальной коры	Революционный	Основной магматизм Осадко-накопление	Прогрессивный региональный метаморфизм а амфиболитово-зеленосланцевой фации; сопряженный с ним регрессивный метаморфизм более древних образований	Поясовое разрушение "гранитного слоя" и усложнение "базальтового слоя"	
<i>AR</i>	Цанггеосинклинально-складчатая	2. Континентальная	Эволюционный	кислый магматизм	Региональная гранитизация в условиях близких к гранулитовой фации	"Гранитный слой"Первый	
		1. Океаническая		Основной магматизм Осадко-накопление	Прогрессивный региональный метаморфизм в условиях гранулитовой и близких к ней фаций	"Базальтовый слой"	

Для первого и третьего участка характерны крутые углы залегания пород и насыщенность их протерозойскими базит-ультрабазитовыми интрузиями. Второй и четвертый участки формировались в более спокойных условиях. Таким образом современная структура синклиория образовалась в результате сложного и длительного тектонического развития.

Месторождение строительного камня "Мяндуха" расположено в юго-восточном участке синклиория Ветреный пояс в верхних частях разреза эффузивной толщи серии Ветреный пояс, в блоке со спокойным залеганием пород и с невысокой степенью метаморфических преобразований.

3. ОСОБЕННОСТИ МЕТАМОРФИЗМА ПОРОД

ВЕТРЕННОГО ПОЯСА

На характер метаморфизма пород, слагающий Юго-восточный блок синклиория Ветреный пояс могли оказать влияние следующие факторы:

1. Общий геодинамический режим данного блока
2. Содержание летучих
3. P, T - условия метаморфизма
4. Локальные тектонические факторы.

Рассмотрим каждый из перечисленных факторов в отдельности.

1. Общий геодинамический режим

Как уже говорилось выше, структура Ветреный пояс представляет собой зеленокаменный пояс / 55, 65/ или - палеоавлакоген / 77/ . В статье И.П. Новицкого / 63/ посвященной анализу метаморфизма зеленокаменных систем Карелии метаморфизм этих систем противопоставляется метаморфизму гранито-гнейсовых блоков. Вместе они составляют бимодальные системы древних щитов.

Для них по И.П. Новицкому характерны:

- 1) Ранняя вулканическая активность, наличие пород ультраос-

новного и основного состава, образующихся при частичном плавлении подстилающей верхней мантии.

2) Эволюция вулканитов от ультраосновных к более кислым, основным и средним.

3) Излияние высокотемпературных (до 1650°C) расплавов.

4) Наличие осадочных пород, достигающих максимальной мощности в верхах зеленокаменных серий.

5) Широкое распространение гранитных плутонов, секущих зеленокаменные комплексы и создающих структуру извилистых узких поясов зеленокаменных пород среди кислых интрузивных пород.

6) Весьма слабый метаморфизм, главным образом, в условиях фации зеленых сланцев.

Таким образом, для зеленокаменных поясов Карелии характерен слабый метаморфизм, тогда как разновозрастные образования беломорид изменены гораздо сильнее - в условиях амфиболитовой и гранулитовой фации.

Весь палеорифт Ветреного пояса представляет собой блоковую структуру с продольными (северо-западными) и поперечными (северо-восточными) разломами. Как уже отмечалось, при описании геологического строения синклинория Ветренный пояс, разломы северо-восточного направления (т.е. поперечные к простиранию структуры) делят синклинорий на блоки, различные по тектонической активности и проницаемости (см. рис. 1). Блоки более спокойного залегания, чередуются с блоками, имеющими крутые падения пластов и большую насыщенность интрузиями. Возможно, это объясняется близостью района Ветреного пояса к шовным структурам, отделяющим Балтийский щит от Русской плиты, при погружении под которую доплатформенные образования разламываются. При этом деформация преимущественного растяжения и сжатия проявляются в различных блоках по разному. Что касается

Юго-восточного (Мяндухинского) блока, то в его пределах вероятно проявились главным образом напряжения сжатия.

2. Содержание летучих

О режиме летучих при кристаллизации базальтовых лав можно судить по первичным минеральным ассоциациям. Неизменные долеритовые базальты состоят из плагиоклаза, пироксена и оливина. Водосодержащие фазы среди породообразующих минералов отсутствуют. На этом основании можно предположить, что лавы высокомагнезиальных базальтов были в отношении H_2O практически сухими. Они были подвергнуты метаморфизму через значительный промежуток времени и в дометаморфогенную стадию своего развития могли поглотить некоторое количество метеорных вод. Об этих количествах весьма приближенно можно судить по характеру распределения воды в породах в данное время. Анализ распределения воды в породах Мяндухи показал следующее - вода распределена крайне неравномерно и ее содержание варьирует от 1,27 до 4,88 мас.%, причем неизменные породы содержат не более 2% H_2O . Наибольшее количество воды присутствует в metabазальтах по стекловатым разностям, св. 3%.

На основании этих данных можно предположить, что содержание первичной воды в базальтах было весьма незначительно и распределена она была неравномерно. Глубинный источник воды, по всей вероятности, отсутствовал, что подтверждается отсутствием минеральных фаз, содержащих такие минерализаторы, как хлор, фтор, сера, которые обычно входят в состав водного флюида. Отсутствие флюидного потока, поднимающегося из глубин, по видимому, определяется в первую очередь и структурным положением данного блока Ветреного пояса, о чем было сказано выше,

3. P, T условия метаморфизма

Как показано ниже, центральные части потоков сложены практи-

чески неизменными долеритовыми базальтами. Вторичные м-лы: хлорит, серпентин развиваются по трещинам. О хорошей сохранности пород свидетельствуют также находки слабо измененного стекла. Вулканические стекла как термодинамически не устойчивые образования обычно изменяются на ранних стадиях метаморфогенного изменения пород. О низких температурах, при которых происходили метаморфогенные изменения свидетельствует также характер минеральных парагенезисов. В наиболее измененных разновидностях они представлены хлоритом, серпентином и амфиболом. В некоторых случаях наблюдаются полные псевдоморфозы серпентина по оливину. Отсутствие брусита свидетельствует о низких температурах серпентизации, вероятно, значительно ниже 400° . Мы предполагаем, что температура метаморфизма не превышала 200° .

Сопоставляя все рассмотренные факторы, мы считаем вполне правомочным сделанное нами допущение, что в центральных частях блоков могли сохраниться практически не измененные или слабоизмененные первичные породы, которые вдоль разломов контактируют с зонами интенсивно измененных metabазальтов или полностью замещенных вторичными минералами амфибол-серпентин-хлоритовых пород.

Метаморфизм палеорифта (или палеоавлакогена) Ветреного пояса отличается, как от метаморфизма "атлантического" типа с образованием спилитов и серпентинитов, так и от метаморфизма "африканского" типа с образованием глаукафановых сланцев. В этих случаях, вероятно существовал поток щелочных флюидов, которые способствовали глубокому изменению пород/63,64/

Рифтовая зона Ветреного пояса, по-видимому, не имела/60,77/ глубинных корней, тектоническое его развитие ограничивалось близкоповерхностными условиями по сравнению с классическими зеленокаменными поясами. Этим можно объяснить относительно слабое из-

менение связанных с ним образований.

4. Локальные тектонические факторы

Блоковый характер метаморфизма определялся и местной локальной тектоникой. Наибольшую проницаемость для метаморфогенных вод имели зоны трещиноватости, а также зоны шаровых лав и лавовых брекчий. Однако, зоны мелкой трещиноватости в пределах юго-восточного блока отсутствуют. Имеются сравнительно простые по строению трещинные зоны, вдоль которых рассматриваемый крупный блок разбит на серию более мелких блоков. Метаморфизмом как правило затронуты проницаемые участки этих блоков: зоны шаровых лав, верхние зоны потоков с повышенной пористостью. Центральные части блоков, как правило, не изменены или изменены весьма незначительно.

ГЛАВА П

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТ ОРОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО

КАМНЯ МЯНДУХА

І. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Как уже указывалось месторождение находится на юго-восточной окраине синклиория Ветреный пояс в непосредственной близости от участка погружения его под платформенный чехол (рис. I). В районе месторождения развита верхняя толща серии Ветреный пояс.

Впервые о породах Ветреного пояса упоминают Н. В. Альбов и В. А. Котович (1939 г.) которые назвали эти породы базальтами и отнесли к среднему протерозою. В связи с перспективностью района на бокситы проводилось детальное картирование территории. В 1958 году при съемке 1:50 000 эти породы были отмечены и названы пикритовыми порфиритами (С. Н. Никулин и др., 1977) /61/. В 1959-60 г. г. проводились поисковые работы на строительный камень, в процессе которых выявлено, что г. Мяндуха сложена эффузивами основного состава - оливиновыми, пикритовыми, диабазовыми метапорфиритами. В 1969-70 г. г. Плесецкой комплексной геолого-разведочной партией (Б. Н. Бетелев, 1970 г.) произведена предварительная разведка, при которой на месторождении были выделены базальты, долериты, агломератовые лавы и порфириты. Сотрудником Северо-Двинской КГРП А. А. Ячменевой породы Мяндухи были названы меймечитами, т. е. стекловатыми образованиями с вкрапленниками оливина и пироксена. Кроме того были выделены долериты - раскристаллизованные разности базальтов /67/.

При детальной разведке была принята классификация Б. Н. Бетелева, которая наиболее полно отражает петрографические и петрохимические особенности пород, а также весьма удобна при оконтуривании разновидностей эффузивов.

На месторождении были выделены оливиновые, толеитовые и пикритовые базальты (15-30%, 15% и 30% оливина соответственно). Так как породы в значительной степени метаморфизованы, по нашему мнению

их следует относить к метабазальтам, ~~к базальтам~~

Таким образом, месторождение Мяндуха изучалась довольно тщательно. Однако, при разведке делался упор на выделение только отдельных однородных по физико-механическим свойствам блоков. Поэтому детали строения месторождения были выявлены не достаточно полно. В процессе исследований удалось выявить целый ряд вопросов, важных для эксплуатации месторождения, которые не освещались предыдущими исследованиями.

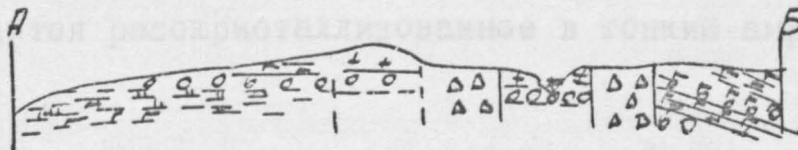
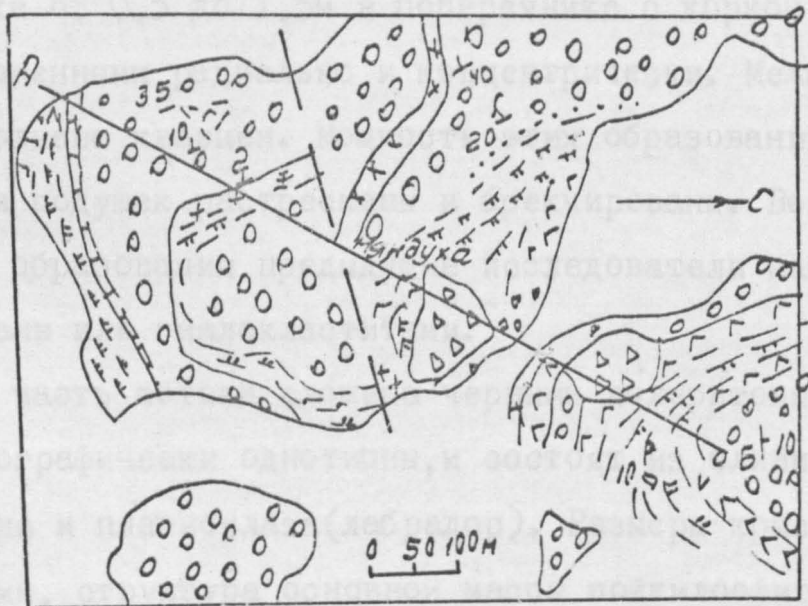
В уже упоминавшейся книге В.Д.Слюсарева и В.С.Куликова приведена геологическая карта горы Мяндуха (рис.2), где авторы выделяют: вулканические брекчии, среднезернистые оливиновые базальты, толеитовые базальты, оливиновые базальты, шаровые лавы оливиновых базальтов, гиалокластиты. Эта карта является шагом вперед по сравнению с предшествующими работами, однако детали строения потоков здесь не отмечены.

Выделенные вулканические брекчии, по данным детальной разведки, образуют субгоризонтальные тела, залегающие согласно с эффузивами. Интересные данные были получены Н.А.Рачеевым и Н.А.Алюновым при изучении ИЮм разреза скважины 55, расположенной в Центральной части месторождения. Здесь на глубине 1,6 - 14,8м и 20,3 - 28,1м обнаружены брекчии базальтов, обломки которых сцементированы гидротермальными минералами: кварцем и эпидотом.

По мнению Н.А.Рачеева и Н.А.Алюнова эти образования связаны с взрывом газовых пузырей в верхних частях лавовых потоков/67/.

Таким образом, по данным предыдущих работ, в геологическом строении месторождения принимают участие нижнепротерозойские образования верхней толщи серии Ветреный пояс, а также допалеозойская кора выветривания и четвертичные образования.

В результате полевых работ на месторождении автором выявлено



△△ 1 ++ 2 ГГГ 3 ▬▬ 4 ○○○ 5
..... 6 / 7 X 8

Рис. 2 Геологическая карта горы Мяндуха.

1-Вулканические брекчице-среднезернистые оливиновые базальты, 2-мелкозернистые базальты, 3-оливиновые базальты, 4-оливиновые базальты, 5-маршевые лавы оливиновых базальтов, 6-циалокластиты, 7-разлом, 8-эпидиолиты.

среди эффузивов верхней толщи серии Ветреный пояс несколько лавовых потоков мощностью 30-40м, имеющих зональное строение (рис.4). Нижнюю часть каждого потока образует слой шаровых (или подушечных) лав. Шары или подушки от 0,5 до 1,5м в поперечнике с коркой закалки и трещинами, расположенными радиально и концентрически. Межподушечное пространство выполнено кварцем. Мощность этих образований до 10м. Иногда краевые части подушек растресканы и брекчированы. Возможно, что именно такие образования предыдущие исследователи называли агломератовыми лавами или гиалокластитам.

Средняя часть потока сложена черными долеритовыми базальтами, которые, петрографически однотипны, и состоят из оливина (очень редко), клинопироксена и плагиоклаза (лабрадор). Размеры кристаллов варьируют от 1 до 2мм, структура основной массы пойкилоофитовая. В интерстициях находится раскристаллизованное в тонкий амфиболовый агрегат стекло.

На контакте шаровых лав и долеритовых базальтов т/зернистая афанитовая порода с дендритовидными скоплениями игольчатых кристаллов пироксена, напоминающих морозные узоры. Мощность этой зоны очень небольшая - до 0,5м.

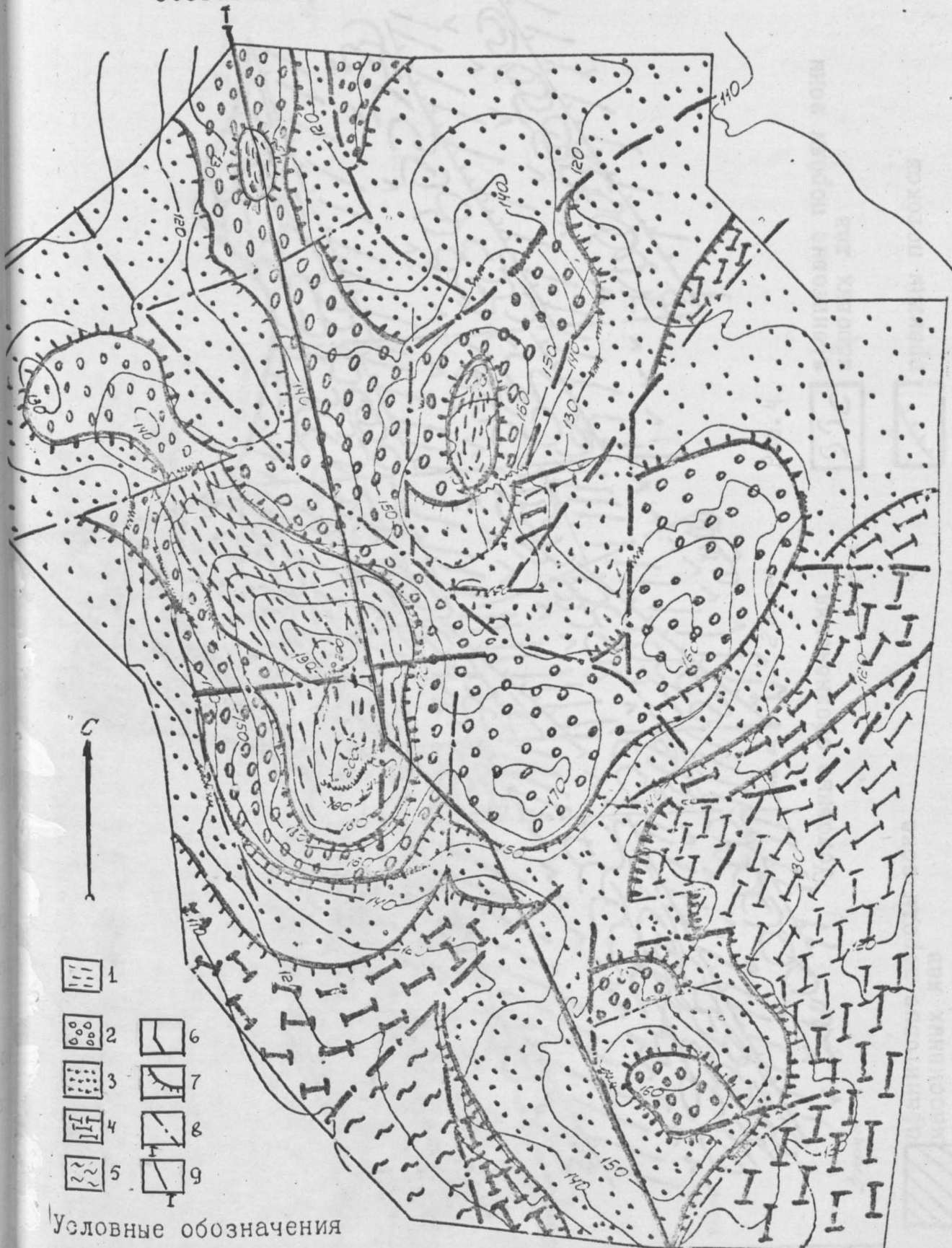
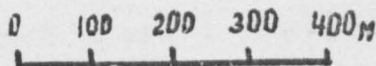
Выше долеритовых базальтов первично стекловатые разности - черные афанитовые metabазальты, иногда сливные, иногда с плитчатой ковчатой отдельностью. Перечисленные разновидности по нашим данным, образуют единое тело /73/ выше залегает следующий поток и т.д.

Непосредственные контакты между этими структурными разновидностями макроскопически трудны для наблюдения, поэтому границы между потоками можно провести с точностью 1-2м.

На составленной автором геологической карте (рис.3) показано положение зональных лавовых потоков. Выше залегающие четвертичные образования условно сняты для удобства рассмотрения. На карте и разрезе (рис.4), видно, что все вершинки рельефа (а они, как правило, образуют скальные выходы), бронируются наиболее прочными породами - ша-

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАБАЗАЛЬТОВ МЯНДУХА СО СНЯТЫМИ РЫХЛЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ.

составленв Е. Б. Золотых



Условные обозначения

7-ой поток, 2-6-ой поток, 3-5-ый поток,
4-ый поток, 5-3-ий поток, 6 - граница месторождения,
границы потоков, 8 - разломн, 9 - линия разреза

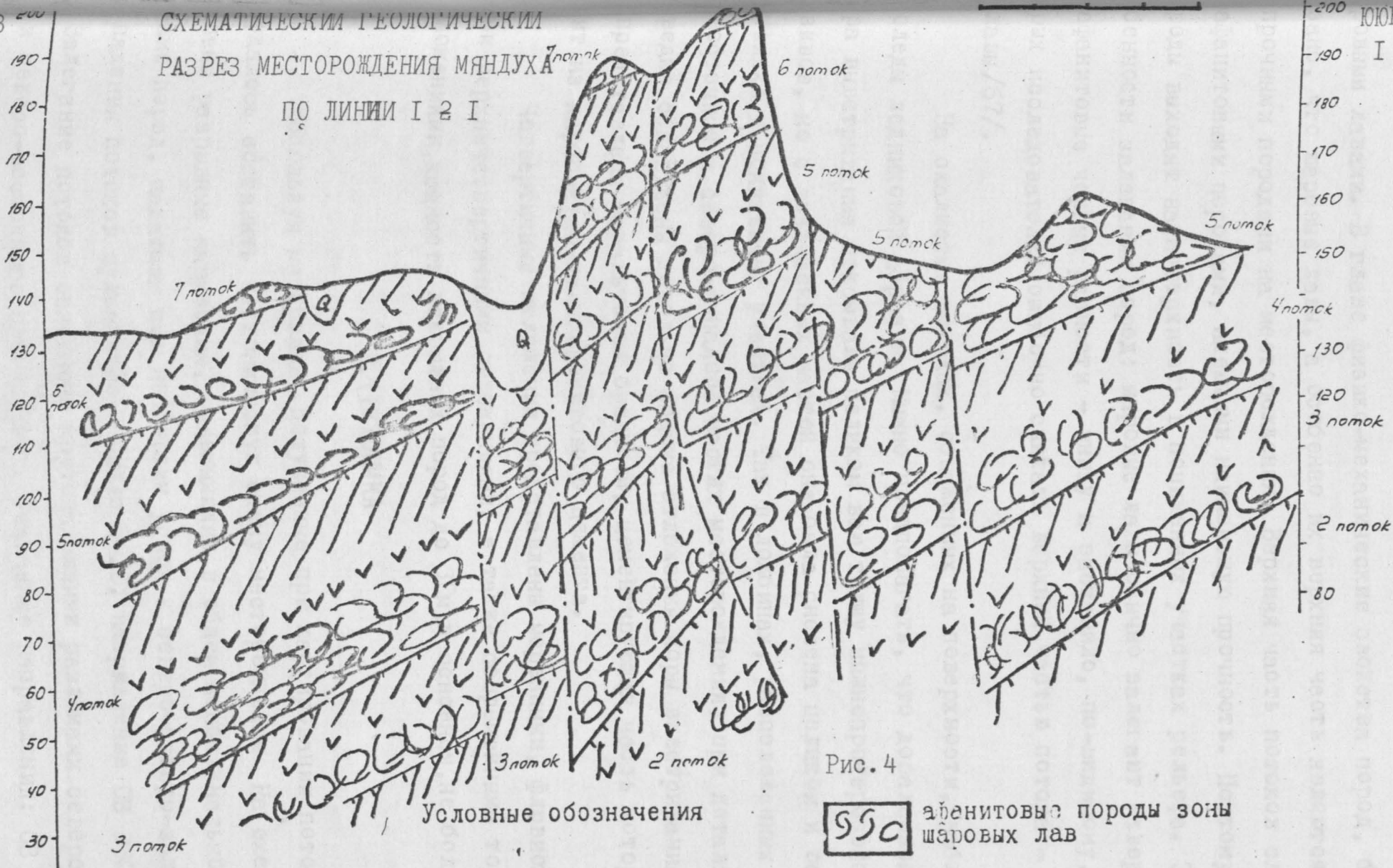
Рис. 3

ССЗ

I

СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
РАЗРЕЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЯНДУХА

ПО ЛИНИИ I 2 I



Условные обозначения


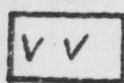
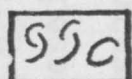


-  анранитовые породы зона массивных лав
-  раскристаллизованные породы зоны массивных лав

Рис. 4

-  аранитовые породы зоны шаровых лав
-  границы потоков
-  разрывные нарушения

ровыми лавами. В главе физико-механические свойства пород, будет показано, что шаровые лавы, а особенно их верхняя часть являются наиболее прочными породами на месторождении. Верхняя часть потоков сложена афанитовыми породами, имеющими наименьшую прочность. Поэтому эти породы выходят на поверхность в пониженных участках рельефа. Эти особенности залегания пород: шаровые лавы обычно залегают наверху, а афанитовые черные разности - внизу и заставило, по-видимому, некоторых исследователей ошибочно считать верхней частью потока - шаровые лавы /67/.

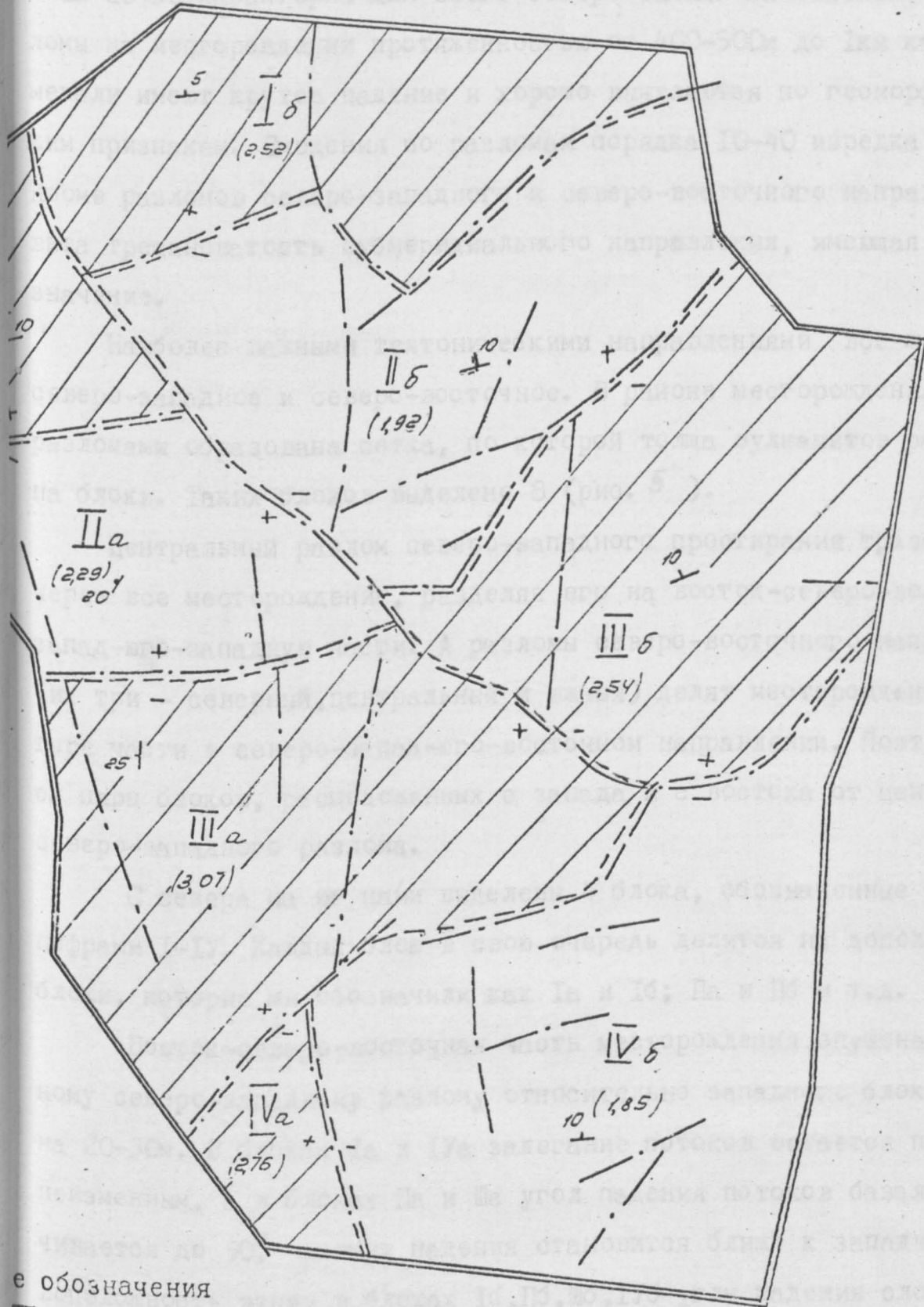
На скалистых выходах, обнаженных на поверхности, наблюдаются следы ледниковой абразии. Можно предполагать, что допалеозойская кора выветривания покрывала целиком всю толщу нижнепротерозойских эффузивов, но с возвышенных частей она была снесена целиком и осталась только в пониженных участках. Так в ложбинах, расположенных в северо-восточной и северо-западной частях месторождения, при детальной разведке обнаружены довольно мощные отложения коры выветривания, которые представлены базальтовой брекчией, цементирующая часть которой состоит из карбонатно-палыгорскитового цемента.

Четвертичные отложения представлены моренными, флювиогляциальными верхнечетвертичными отложениями, а также современными торфяными отложениями, мощность вскрышных пород до 30м, в основном, не более 1м.

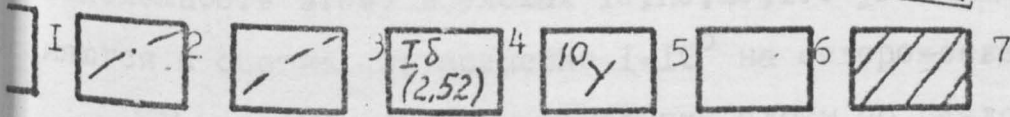
2. ТЕКТНИКА

Используя материалы, полученные при картировании потоков удалось составить тектоническую схему месторождения. На схеме выделены разрывные нарушения, осложняющие в общем моноклиналиное залегание пород, падающих под небольшим углом к северо-северо-западу (угол падения потоков вулканитов - около $5-10^{\circ}$, направление СЗ $330-350^{\circ}$). Залегание потоков осложнено крутопадающими разломами северо-западного и северо-восточного простирания. Указанные направления: СЗ $320-350$ и

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАБАЗАЛЬТОВ МЯНДУХА
составлена Е. Б. Золотых



е обозначения



1 - граница месторождения, 2 - разрывные нарушения, 3 - границы тектонических
4 - номера блоков, цифры в скобках - среднее содержание п.п.л. в по-
данного блока, 5 - элементы залегания, 6 - слабометаморфизованные блоки,
7 - сильнометаморфизованные блоки

РИС. 5

и СВ $20-50^\circ$ характерны для всего северо-запада Балтийского щита. Разломы на месторождении протяженностью от 400-500м до 1км как мы отмечали имеют крутое падение и хорошо выявляются по геоморфологическим признакам. Смещения по разломам порядка 10-40 изредка 50-70м. Кроме разломов северо-западного и северо-восточного направления развития трещиноватость субмеридиального направления, имеющая подчиненное значение.

Наиболее важными тектоническими направлениями все же являются северо-западное и северо-восточное. В районе месторождения этими разломами образована сетка, по которой толща вулканитов разделена на блоки. Таких блоков выделено 8 (рис. 5).

Центральный разлом северо-западного простирания трассируется через все месторождение, разделяя его на восток-северо-восточную и запад-юго-западную части. А разломы северо-восточного направления (их три - северный, центральный и южный) делят месторождение на четыре части в северо-запад-юго-восточном направлении. Поэтому мы имеем пары блоков, расположенных с запада и с востока от центрального северо-западного разлома.

С севера на юг нами выделены 4 блока, обозначенные римскими цифрами I-IV. Каждый блок в свою очередь делится на дополнительные блоки, которые мы обозначили как Ia и Ib; Pa и Pb и т.д.

Восток-северо-восточная часть месторождения опущена по центральному северо-западному разлому относительно западного блока в среднем на 20-30м. В блоках Ia и IVa залегание потоков остается практически неизменным, а в блоках Pa и Ша угол падения потоков базальтов увеличивается до 30° , азимут падения становится ближе к западному. В противоположность этому в блоках Ib, Pb, Шб, IVб углы падения слоев не изменяются и составляют примерно $1-10^\circ$ на северо-северо-восток.

В меридиональном направлении блоки по разломам ступенчато сброшены, т.е. блоки IVа и IVб опущены на 15-25м относительно блоков Ша и

Шб, последние опущены на 10-20м относительно блоков Па и Пб. В свою очередь эти блоки опущены на 20-40м относительно блоков Ia и Ib. Таким образом общее опускание с севера на юг составляет 50-80м. Наиболее поднятым являются блок Ia, расположенный в северо-западной части месторождения, а наиболее опущенным блоком является блок IУб, который находится в юго-восточной части месторождения.

Тектонический облик месторождения создается сочетанием двух противоречивых тенденций - общим моноклинальным опусканием толщ вулканитов в северо-северо-западном направлении и ступенчатой сбросовой тектоникой с наиболее поднятыми северо-западными и западными блоками и наиболее опущенными юго-восточными блоками.

(рис. 3)

На геологической карте месторождения ни одна из описанных тенденций не может быть ярко выражена. В следствие того, что опускание отдельных блоков происходило без изменения угла наклона пород, блоковое строение оказалось замаскированным и возникла иллюзия моноклинального ненарушенного залегания пород. Это нашло отражение на картах геологов проводивших разведку месторождения (В.Г. Никульченко и А.Я. Петренко, 1960г., Б.Н. Бетелеев, 1970г., Н.А. Рачеев и др. 1981г.). Блоковая тектоника определила и метаморфизм пород. Чередование в различной степени метаморфизованных блоков, подчеркивает блоковый характер строения месторождения /45/.

3. МЕТАМОРФИЗМ ПОРОД

Для характеристики метаморфических изменений пород месторождения были проанализированы результаты химического опробования metabазальтов месторождения.

Сопоставление данных петрографического исследования и химических анализов пород месторождения Мяндуха показало, что содержание таких вторичных минералов как хлорит, серпентин, тальк и др. находятся с п.п. в прямо-пропорциональной зависимости. Это дает основание судить о степени метаморфизма пород, потоков и блоков на основании

данных о общем содержании летучих (п.п.п.) табл.3,4.

При анализе данных опробования видно (табл. 3), что во всех блоках присутствуют как породы кайнотипного облика так и метаморфизованные разности, но в одних блоках пород кайнотипного облика более 50% (блоки II и IV), а в других 25-40% (блоки I и III). Эти блоки и отмечены на тектонической схеме (рис.5) как блоки неравномерного метаморфизма. Те блоки, содержание летучих в которых выше среднего по месторождению отнесены нами к метаморфизованным, а те блоки в которых п.п.п. менее среднего по месторождению условно отнесены к неизменным и слабоизменным.

Апобазальтовые метаморфические породы соседствуют с породами кайнотипного облика на расстоянии в несколько метров. Неоднородность по содержанию летучих можно отметить также внутри блоков. Наблюдается своеобразный пятнистый метаморфизм, вероятно связанный с локальными изменениями $P-T$ условий в данном блоке.

Из таблицы 3 и рис. 5 следует, что наименее измененные породы образуют зоны к востоку от центрального разлома. Блоки IIIa и IIIб изменены в наибольшей степени.

Данные о степени метаморфизма, хорошо коррелируются с другими физико-механическими свойствами: прочность, модуль Юнга и др.

Анализ петрографических характеристик пород в пределах каждого потока и по блокам (табл.3,4) показывает, что в среднем все породы потоков изменены примерно в равной степени. Аномалии в степени метаморфизма связаны с тектоническим положением того или иного блока.

В блоках, как уже отмечалось имело место локальное изменение $P-T$ условий, которое может зависеть от многих причин и в частности от наличия зон повышенной трещиноватости. В потоках месторождения Мяндуха наиболее проницаемыми для гидротермальных растворов явились зоны подушечных лав, брекчий, стекловатых пород.

Если рассматривать потери при прокаливании как суммарное содержание летучих (вода + другие газы), то в разрезах потоков, представ-

Таблица

Содержание воды и других летучих в мета-
 базальтах разных тектонических блоков
 месторождения Мяндуха

Блоки	Потери при прокаливании, мас. %			Количество пород кайнотипного облика	Количество метаморфизованных пород
	наименьшее	наибольшее	среднее		
Ia	-	-	-	-	-
Iб	1,43	4,29	2,53	$\frac{40,6\%}{13}$	$\frac{59,4\%}{19}$
IIa	1,33	3,40	2,29	$\frac{50\%}{28}$	$\frac{50\%}{28}$
IIб	1,27	2,68	1,92	$\frac{79,5\%}{35}$	$\frac{20,5\%}{9}$
IIIa	2,25	4,88	3,07	-	$\frac{100\%}{27}$
IIIб	1,34	3,57	2,54	$\frac{36\%}{13}$	$\frac{63\%}{26}$
IVa	2,06	4,31	2,76	$\frac{70\%}{7}$	$\frac{30\%}{3}$
IVб	1,40	2,72	1,85	$\frac{69,6\%}{16}$	$\frac{30,4\%}{7}$
В целом по месторождению	1,27	4,88	2,42	$\frac{48,5\%}{112}$	$\frac{51,5\%}{119}$

Примечание: знаменатель - количество образцов

Содержание летучих (п.п.п) в метабазальтах разных потоков полезной толщи месторождения Мяндуха

Потоки	Содержание п.п.п. мас. %			Количество пород кайнотипного облика	Количество метаморфизованных пород
	наименьшее	наибольшее	среднее		
1-ый	1,71	2,51	1,99	$\frac{80\%}{4}$	$\frac{20\%}{1}$
2-ой	1,27	3,40	2,32	$\frac{63\%}{5}$	$\frac{37\%}{3}$
3-ий	1,28	4,88	2,36	$\frac{45,5\%}{20}$	$\frac{54,5\%}{24}$
4-ый	1,37	4,01	2,33	$\frac{58\%}{43}$	$\frac{42\%}{31}$
5-ый	1,40	4,29	2,35	$\frac{57\%}{28}$	$\frac{43\%}{21}$
6-ой	1,33	3,97	2,56	$\frac{45,1\%}{23}$	$\frac{54,9\%}{29}$
7-ой	1,99	3,37	2,68	-	$\frac{100\%}{11}$
В целом по месторождению	1,27	4,88	2,42	$\frac{48,5\%}{112}$	$\frac{51,5\%}{119}$

Примечание: Знаменатель - количество

ленных породами кайнотипного облика их содержание характеризуется следующими цифрами: в шаровых лавах в среднем 1,92%, в долеритовых базальтах - 2,11%, в слабоизмененных стекловатых породах массивной части потока 1,71%. Эти данные, вероятно, отражают распределение летучих внутри потока. При излиянии шаровые лавы соприкасались с водой и наибольшее давление паров воды можно предположить в нижних частях зоны массивных лав. Несколько повышенное количество летучих, по-видимому помогало кристаллизации и образовывались массивные довольно однородные породы в дальнейшем наиболее устойчивые к метаморфизму.

В стекловатых породах, в которых кристаллические образования (вкрапленники) обычно неизменены или изменены весьма слабо, стекло, как правило, интенсивно метаморфизовано, что подтверждает точку зрения на природу стеклообразного вещества, как термодинамически более не устойчивого по сравнению с кристаллом.

Таким образом, по степени метаморфизма выделяются три основные разновидности пород: 1) неизмененные или слабоизмененные (кайнотипного облика), 2) затронутые метаморфизмом и 3) апобазальтовые измененные породы (табл. 5, 6, 7)

При сравнении т. 5, 6, 7 видно, что содержание летучих несколько различается в разных частях потока - но в неизмененных породах кайнотипного облика оно не превышает 2%, в породах затронутых метаморфизмом несколько повышается до 2,5%, а в породах, отнесенных нами к апобазальтовым превышает 3%. Летучие могли поступать по зонам повышенной трещиноватости. Эти зоны имели, по-видимому разный масштаб. Наиболее интенсивные зоны, сквозные для многих потоков, связаны с блоковым строением месторождения, наиболее локальные зоны - связаны со степенью раскристаллизации пород - стекловатые породы - естественно, более трещиноваты, чем массивные. Поэтому прогрев неравномерно трещиноватых потоков вызывал и неравномерный характер

Таблица 5

Содержание летучих в породах кайнотипного
облика месторождения Мяндуха

Зона по- тока	Порода	Количес- тво образ- цов	Содержание летучих (п.п.п.), мас. %		
			наименьшее	наибольшее	среднее
Зона массивных лав	Гиалоба- зальты с футляро- видными кристал- лами пироксена	30	1,33	2,83	1,71
	Раскрис- таллизо- ванные разности	29	1,37	3,40	2,11
	В целом по зоне массив- ных лав	59	1,33	3,40	1,91
Зоны ша- ровых лав	Гиалоба- зальты с игольча- тыми кристал- лами пироксена	42	1,27	2,65	1,92
В целом по всем зо- нам потоков		101	1,27	3,40	1,91

Таблица 6

Содержание летучих в породах кайнотипного облика, затронутых метаморфизмом, месторождения Мяндуха

Зона потока	Порода	Количество образцов	Содержание летучих (п.п.п.), мас. %		
			наименьшее	наибольшее	среднее
Зона массивных лав	Гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена, метаморфизованные	17	1,56	3,87	2,14
	Раскристаллизованные разности метаморфизованные	11	1,69	4,31	2,55
	В целом по зоне массивных лав	28	1,56	4,31	2,30
Зона шаровых лав	Гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена, метаморфизованные	17	1,61	2,77	2,41
В целом по всем зонам потоков		45	1,56	4,31	2,34

Таблица 7

Содержание летучих в апобазальтовых
серпентин-хлорит-амфиболовых породах
месторождения Мяндуха

Зона потока	Порода	Количество образцов	Содержание летучих (п.п.п.), мас. %		
			наименьшее	наибольшее	среднее
Зона массив- ных лав	Апобазаль- товые по- роды с мо- заичной структурой	25	2,68	3,97	3,15
	Апобазаль- товые по- роды со спутанно- волокнис- той структу- рой	30	2,01	3,71	2,84
Зона шаровых лав	Тонкозер- нистые обрекчиро- ванные апобазаль- товые по- роды корок шаров	30	1,99	4,48	3,23
	В целом по зоне шаровых лав	60	1,99	4,48	3,04
В целом по всем зонам потоков		85	1,99	4,48	3,07

метаморфогенного изменения как в различных частях вулканических тел, так и в различных тектонических блоках и частях блоков.

Такое предположение тем более правдоподобно, что анализ минеральных парагенезов, а также присутствие слабо измененного стекла показывает, что температура при которой происходили метаморфогенные изменения не превышала 200° .

Этот вывод также подтверждается и материалами других авторов, основанных на результатах региональных исследований.

Метаморфизм в толщах вулканитов Ветреного пояса слабый - не выше зеленосланцевой фации, проходил изохимически. Поэтому, как будет показано при петрохимической характеристике, возможно выделить отдельные потоки по их химической характеристике, вне зависимости от того, сложены они, или их отдельные участки кайнотипными или палеотипными породами.

Главными особенностями геологического строения месторождения являются следующие:

1. Наличие 7-ми потоков метабазальтов (в пределах участка оконтуренного разведочными скважинами).
2. Зональное строение потоков. Наличие нижней - шаровой и верхней - массивной частей потоков. Массивная часть потока, в свою очередь, делится на раскристаллизованную - нижнюю и стекловатую верхнюю части.
3. Ложно-моноклиналиное залегание потоков метабазальтов с падением на север-северо-запад с углом около 10° . Сочетание двух противоположных тенденций северо-западного погружения моноклинали и ступенчатого опускания блоков к юго-востоку, что создает сложную картину расположения пород на месторождении.
4. Наличие разрывных нарушений северо-западного и северо-восточного простираний с крутым, иногда вертикальным, залеганием.

Наличие второстепенных разрывных нарушений меридиального направления.

5. Блоковое строение месторождения, ступенчатая сбросовая тектоника небольших амплитуд 10-20м до 70-80м. При этом западные блоки оказываются подняты относительно восточных, а северные относительно южных.

6. Неравномерный метаморфизм толщи вулканитов определяемый северо-восточными так и северо-западными разломами. Благодаря этому наблюдаем и чередование полос метаморфизованных и практически неизмененных базальтов (в северо-западном направлении), а также общее повышение метаморфизма в запад-юго-западном направлении.

МЕТАБАЗАЛТЫ КАЛНОТИПНОГО ОБЛИКА

Долеритовые базальты

Долеритовые базальты - раскристаллизованная порода, состоящая в основном из плагиоклаза и пироксена. Структура колончатая, мелкокристаллическая, текстура изоморфная. Преобладают зерна размером 1-2мм, для них уже отмечены долеритовые базальты образуют кристаллы зоны потоков, переходы к стекловатым разностям постепенно. Иногда кристаллы не для дальнейшего образования огромных размеров кристаллизованной породы (2-5мм в поперечнике) среди стекловатых масс. Но чаще среди раскристаллизованной массы остаются стекловатые участки, в таких случаях раскристаллизованная участки (3х7мм) состоят из плагиоклаза и дальневых зерен пироксена, находящихся в магматическом окружении (рис.7), а стекловатые участки (1х4мм) образуют окрестности кристаллов пироксена (рис.8).

ГЛАВА III

ПЕТРОГРАФИЯ И ПЕТРОХИМИЯ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ

I. ПЕТРОГРАФИЯ

Как уже говорилось в предыдущей главе месторождение состоит из нижнепротерозойских основных эффузивов. Эффузивы изменены в различной степени: ~~разности~~ разности кайнотипного облика соседствуют с измененными разновидностями вплоть до /8,10,18,32/ серпентин-хлоритовых пород. Но, в основном, структурно-текстурные особенности первичных пород сохраняются даже при сильном изменении.

По химическому составу базальты Ветреного пояса близки к породам коматиитовой серии (см. табл. II).

Материалом для этой главы послужило изучение 650 шлифов (500 сделаны Синегорской партией, 150 - из образцов автора, собранных при полевых исследованиях). Нами разработана классификация базальтовых пород месторождения Мяндуха, в основу которой положены особенности минерального состава и структуры породы (рис. 6).

МЕТАБАЗАЛЬТЫ КАЙНОТИПНОГО ОБЛИКА

Долеритовые базальты

Долеритовые базальты - раскристаллизованные породы, состоящие в основном из плагиоклаза и пироксена. Структура толеитовая, местами пойкилоофитовая, текстура пятнистая. Преобладают зерна размером 1-3 мм. Как мы уже отмечали долеритовые базальты образуют центральную зону потоков, переходы к стекловатым разностям постепенные. Иногда кристаллизация не шла дальше образования островков раскристаллизованной породы (2-5 мм в поперечнике) среди стекловатой массы. Но чаще среди раскристаллизованной массы остаются стекловатые участки, в таких случаях раскристаллизованные участки (5x7 мм) состоят из плагиоклаза и удлиненных зерен пироксена, находящихся в пегматитоподобном сростании (рис. 7), а стекловатые участки (1x4 мм) содержат скелетные кристаллы плагиоклаза (рис. 8).

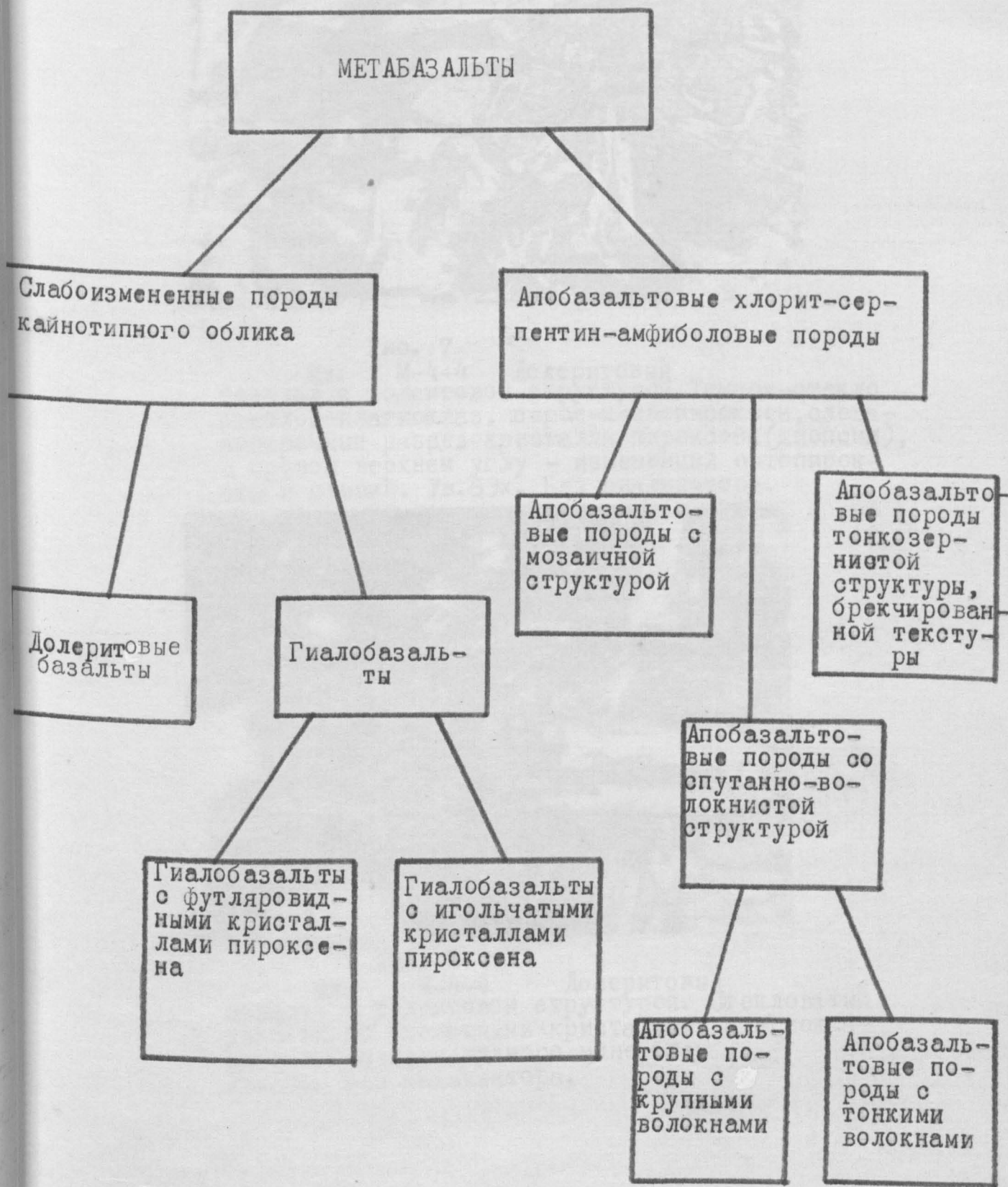


Рис. 6

КЛАССИФИКАЦИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЯНДУХА

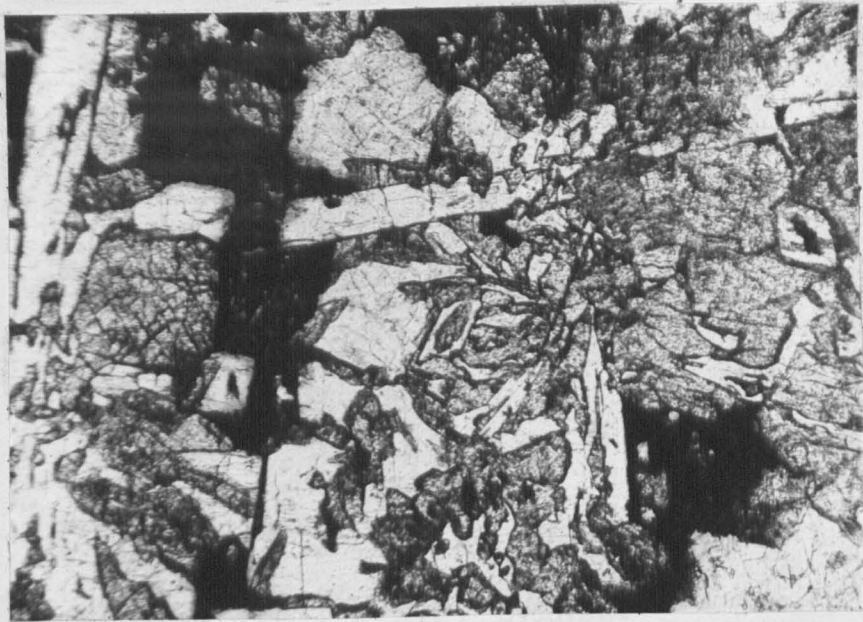


Рис. 7

Шл. М-4-4 Дolerитовый базальт с толеитовой структурой. Темное-стекло светлое-плаггиоклаз, серое-клинопироксен, слева-поперечный разрез кристалла пироксена (диопсид), в правом верхнем углу - измененный ортопироксен и оливин. Ув. 63х. Без анализатора.



Рис. 8

Шл. М-4-4 Дolerитовый базальт с толеитовой структурой. Стекловатый участок со скелетными кристаллами плаггиоклаза и иголочками рудного минерала. Ув. 63х. Без анализатора.

Раскристаллизованные участки занимают 70-80% площади шлифа, стекловатые 20-30%.

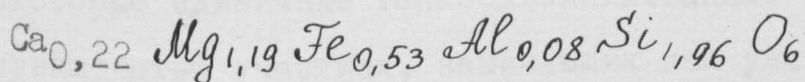
В целях более тщательной диагностики минералов кроме оптических методов на месторождении впервые был применен микрозондовый анализ и определены кристаллохимические формулы важнейших минералов (табл. 8).

В минералогическом отношении долеритовые базальты состоят из клинопироксена и плагиоклаза, второстепенное значение имеет оливин, а также ортопироксен, присутствует рудный.

Клинопироксен образует неправильные, слегка буроватые со слабой шагреневой поверхностью игольчатые кристаллы, не плеохроирующие, изредка идиоморфные. Размер кристаллов клинопироксена 0,3-0,8мм. Эти кристаллы сростаются с более идиоморфным плагиоклазом. Морфологически пироксен можно отнести к диопсиду: отчетливо видны четыре развитые грани и четыре зачаточные, спайность под углом 87° в двух направлениях, $2U$ - большой, положительный, $n_g - n_p$ до 0,032^x)

Кристаллохимическая формула (табл. 8) $Ca_{0,78} Mg_{0,92} Fe_{0,18} Al_{0,20} Si_{1,96} O_6$ отвечает клинопироксену диопсид-геденбергитового ряда с содержанием геденбергитовой молекулы до 16-18% с содержанием Al до 5%.

Ортопироксен образует изометричные и удлиненные кристаллы, слегка окрашенные в розоватый или зеленоватый цвет, часто неправильные, иногда идиоморфные. Размер кристаллов 0,5-0,8мм, спайность под углом 87° , в двух направлениях, погасание прямое, $n_g - n_p$ до 0,014, $2U$ - большой. Кристаллохимическая формула (табл. 8) -



соответствует гиперстену с содержанием энстатитовой молекулы до 69%.

Плагиоклаз образует пластинчатые, таблитчатые кристаллы с оформленными гранями, а также скелетные кристаллы в стекле основной массы. Размеры кристаллов плагиоклаза 1-2мм. Кристаллы сдвойникованы

x)

Здесь и далее $n_g - n_p$ определялось по стандартной номограмме.

Таблица 8.

Химические составы главных породообразующих минералов долеритовых базальтов, определенные с помощью микронзондового анализа (мас.%) (обр. 99)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO_2	53,50	53,84	51,79	51,25	52,62	54,01	58,82
TiO_2	0,35	0,08	0,33	0,33	-	-	-
Al_2O_3	1,76	4,8	4,31	4,55	28,69	27,33	24,51
FeO	17,23	12,10	6,77	5,73	0,86	1,02	0,97
MnO	0,37	0,22	0,22	0,15	-	-	-
MgO	21,75	16,90	17,21	16,75	-	-	-
CaO	5,48	10,35	18,08	19,63	13,36	11,99	7,30
Na_2O	0,00	0,20	0,19	0,18	3,86	5,16	7,04
K_2O	0,02	0,23	0,01	0,01	0,18	0,18	0,19

1-2 - ромбический пироксен

3-4 - моноклинный пироксен

5-6 - плагиоклаз раскристаллизованных участков

7 - плагиоклаз из стекловатого участка

по альбитовому закону.

Плагиоклаз представлен в основном, лабрадором - 51-65% Al (табл. 8). Некоторые единичные тонкосдвойникованные зерна содержат до 45% Al . В стекловатых участках, занимающих как уже сказано 20-30% шлифа игольчатые скелетные кристаллы плагиоклаза имеют более кислый состав. Содержание анортитовой молекулы в этих кристаллах по данным микронзонда до 36% (табл. 8) т.е. игольчатые кристаллы в участках оста-

точного стекла имеют андезиновый состав.

Судя по степени окристаллизованности породы долеритовые базальты, как уже сказано, находятся в центре потоков, выше и ниже по разрезу сменяясь разновидностями гиалобазальтов со скелетами пироксенами.

Гиалобазальты

Гиалобазальты характеризуются порфировой структурой и гиалиновой основной массой. Вкрапленники — оливин и пироксен. Пироксен образует структуры подобные беспорядочному спинифексу 2-х разновидностей:

а) с футляровидными кристаллами пироксена

б) с игольчатыми кристаллами пироксена

Химический состав фаз гиалобазальтов обеих разновидностей помещен в табл. 9.

а) Гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена

(рис. 9, IО, II)

Вкрапленники представлены гломеропорфировыми сростками оливина и футляровидными скелетными кристаллами пироксена (пижонита).

Оливин (рис. 9) образует изометричные идиоморфные кристаллы, несколько вытянутые с высоким рельефом с шагреновой поверхностью, очень редко прозрачные, но чаще замещенные чешуйчатым агрегатом серпентина, спайность отсутствует, погасание прямое, $n_g - n_p = 0,019$. Низкое двупреломление свидетельствует о существенной магнезиальности оливина. По данным А. В. Гирниса, который изучал химический состав минералов базальтов Ветреного пояса, оливины имеют магнезиальность 0,87 в ядре и 0,84 по периферии зерна. Образцы, излучавшиеся им, были взяты в синклинии Ветреный пояс в 200 км к северо-западу от месторождения Мяндуха, но из тех же толщ. Наши исследования показали, оливин в породах месторождения более железистый (табл. 9). Кристаллохимическая формула оливина из этой разновидности гиалобазальтов $Mg_{1,49} Fe_{0,48} Si O_4$, что соответствует магнезиальности 0,76. Это обстоятельство, по видимому, хорошо можно объяснить

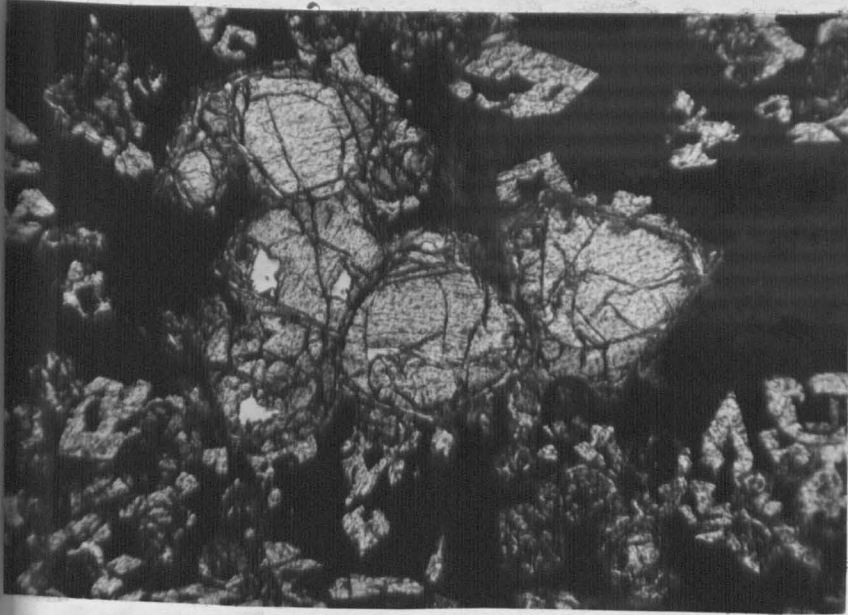


Рис. 9 шл.54-18

Габбазальт с футляровидными скелетными кристаллами пироксена, с габбиновой основной массой с гломеропорфировыми сростками оливина. Увеличение 63х. При одном николе.

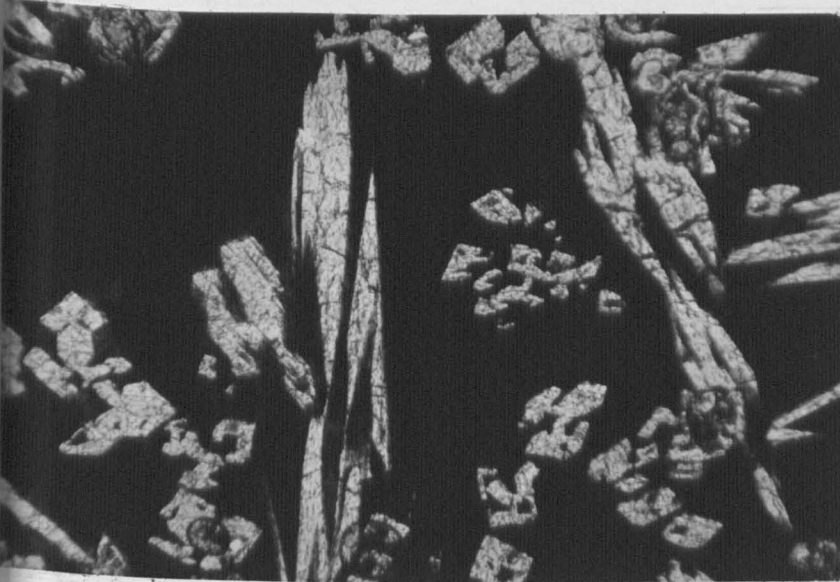


Рис. 10 шл.54-18

Тот же базальт, участок с шестоватыми футляровидными кристаллами пироксена (пиконита). Увеличение 63х. При одном николе.



Рис. 11 шл.54-18

То же.

Видно, что стекло не реагирует на поляризованный свет. Николи скрещены.

Химические составы фаз гиаобазальтов с футляровидными кристаллами пироксена (обр. 7I) и с игольчатыми кристаллами пироксена (обр. 3I) по данным микрозондового анализа

Конгло Компоненты	I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II
SiO ₂	38,42	49,17	49,01	56,76	57,16	37,09	36,17	47,58	57,97	57,54	54,61
TiO ₂	0,03	0,81	0,89	0,78	0,78	0,00	0,00	1,00	0,70	0,75	0,72
Al ₂ O ₃	0,34	5,83	6,05	16,58	17,09	0,22	0,32	7,29	17,09	16,48	14,84
FeO	22,14	7,33	8,47	7,57	7,65	24,86	29,04	7,61	6,96	7,99	7,97
MnO	0,44	0,22	0,22	0,18	0,13	0,55	0,56	0,12	0,06	0,08	0,12
MgO	38,53	14,55	14,18	2,76	2,65	34,90	33,72	13,30	1,64	0,51	3,63
CaO	0,43	20,27	19,62	7,96	8,24	0,33	0,43	20,75	8,48	8,49	11,23
Na ₂ O	0,00	0,41	0,50	3,16	3,16	0,00	0,00	0,22	3,71	3,40	2,04
K ₂ O	0,00	0,11	0,09	0,91	0,77	0,00	0,00	0,00	0,11	0,12	0,11

I - 5 - гиаобазальты с футляровидными кристаллами (I - оливин, 2-3 - клинопироксен,
4-5 - основная масса)

6 - II - гиаобазальты с игольчатыми кристаллами (6 - 7 - оливин, 8 - клинопироксен,
9-II - основная масса)

общим меньшим содержанием Mg в породах месторождения (12 мас.%) по сравнению с образцами, изучавшимися А.В.Гирнисом (15 мас.%).

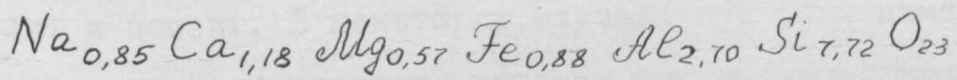
При метаморфических изменениях оливин замещается серпентином, хлоритом, иногда мелкими зеленоватыми иголочками актинолита/18,24,28/.

Пироксен этой разновидности гялобазальтов образует скелетные (футляровидные) кристаллы /86/ (см.рис.10). Они имеют шестоватый облик с отношением длины к ширине 1:10 (0,2 x 1,5), бесцветные, или слегка буроватые, плеохроизма не наблюдается. Спайность отсутствует.

Погасание косое, $2Y = 5-7^{\circ}$, положительный, $C:N_g = 35-42^{\circ}$, $n_g - n_p = 0,018$. Кристаллохимическая формула $Ca_{0,79} Mg_{0,79} Fe_{0,27} Al_{0,27} Si_{1,84} O_6$ (табл.9) соответствует пироксену пижонит-авгитового ряда с отношением $\frac{\sum Fe}{Mg + \sum Fe} \cdot 100 = 25\%$ и содержанием $Al = 6,8\%$. Пироксен отнесен нами к пижониту.

Стекло составляет 70-80% площади шлифа, в большинстве случаев бурое. Наблюдается 2 случая изменения стекла: первичное (девитрификация) и вторичное (метаморфогенное) /10,30/. В первом случае образуется сферолитовый агрегат пироксена (впоследствии уралитизированного) и игловидного плагиоклаза.

Специфика метаморфогенного изменения стекла была установлена при зондовом изучении. При изучении на микрозонде даже довольно светлых участков стекла, не реагирующих на поляризованный свет выяснилось, что стекло превращено в тонкозернистый агрегат с зернами микронного размера. Валовый состав стекловатой фазы (табл.9) в пересчете на амфиболы



Если вычесть молекулу альбита, что составит немного меньше 1/3 всех молекул, то остаток составит молекула актинолита с несколько повышенным содержанием алюминия - около 7%.

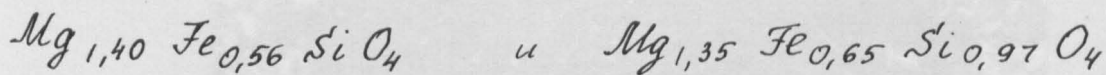
Таким образом стекло измеряется в агрегат, в котором $\sim 1/3$ молекул приходится на $NaAlSi_3O_8$ (альбит) и $\sim 2/3$ молекул на $Ca_{1,75}Mg_{0,84}Fe_{1,30}Ti_{0,12}Al_{2,74}Si_{7,67}O_{22}(OH)_2$ [$Ca_{1,75}(Mg, Fe, Ti, Al)_5Si_{7,67}O_{22}(OH)_2$] (актинолит).

б) Гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена

Другая разновидность гиалобазальтов, представленная на рис. 12, 13

также характеризуется порфировой структурой породы, содержание вкрапленников 20-30%, основная масса - гиалиновая. Вкрапленники также представлены оливином и пироксеном. Оливин образует более мелкие зерна, чем в предыдущей разновидности и также собран в гломеро-порфировые срастания. Зерна оливина идиоморфны, изометричны, размером 0,1-0,3 мм. Некоторые кристаллы не изменены, хорошо различима шагреневая поверхность, спайность отсутствует, $n_g - n_p = 0,024$, погасание прямое. В большинстве случаев оливин изменен и его можно узнать по форме кристаллов при наблюдении без анализатора.

Кристаллохимические формулы свежих кристаллов оливина (табл. 9)



соответствуют еще более железистым разностям, чем для предыдущей разновидности гиалобазальтов, а именно - магнезиальность этих оливинов равна 0,71 и 0,68.

Оливин в обеих разновидностях гиалобазальтов кристаллизуется первым. Он наиболее подвержен изменению и замещается сначала иддингситом, баститом, затем серпентином по которому $24,35$ развивается тремолит и цоизит. В некоторых случаях при этих изменениях образуется рудная пыль (магнетит) которая или насквозь пропитывает зерна оливина, или откладывается по периферии зерна. Вкрапленники оливина занимают 10-15% площади шлифа.

От гломеропорфировых сростков перпендикулярно их граням растут игольчатые кристаллы пироксена, по-видимому, диопсида (рис. 12, 13, 14)

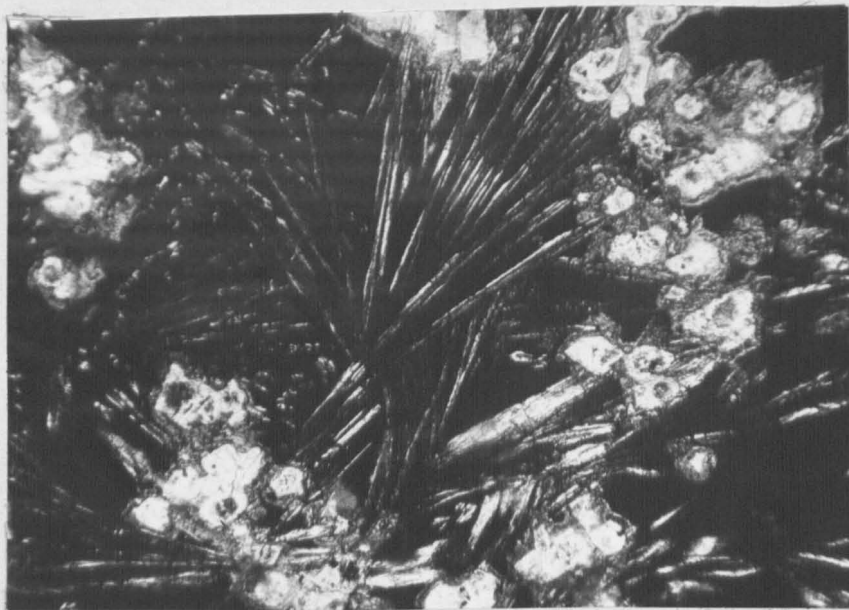


Рис. 12

Шл. 56-6 Гиалобазальт с игольчатыми кристаллами пироксена (диопсида) растущими пучками из центров с гломеропорфировыми сростками кристаллов пироксена. Структура порфировая, ~~текстура порфировая~~ ~~мелко-волокнистая~~, структура основной массы - гиалиновая. Ув. 63х. Без анализатора.

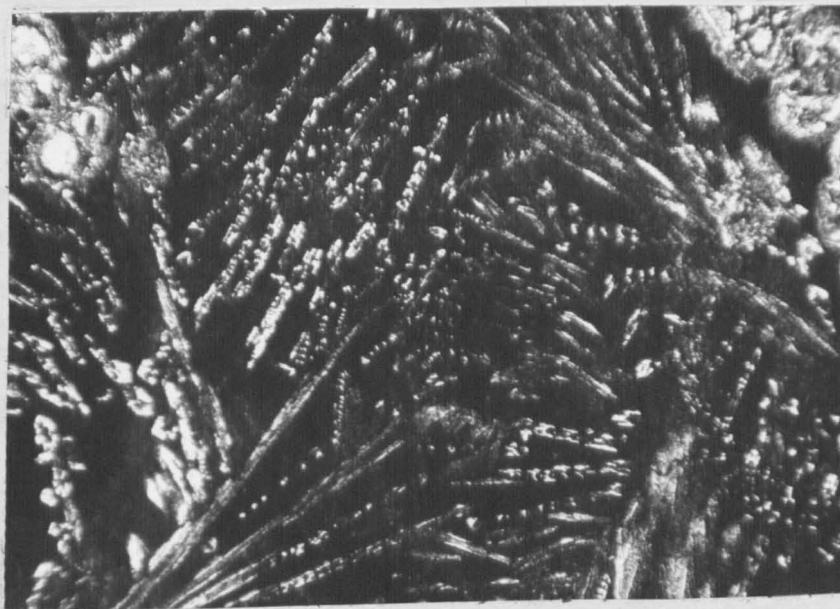


Рис. 13

Шл. 51-20 То же, но видно строение игольчатых кристаллов - они скелетные, иногда срез зерна напоминает пунктир. Ув. 63х. Без анализатора.

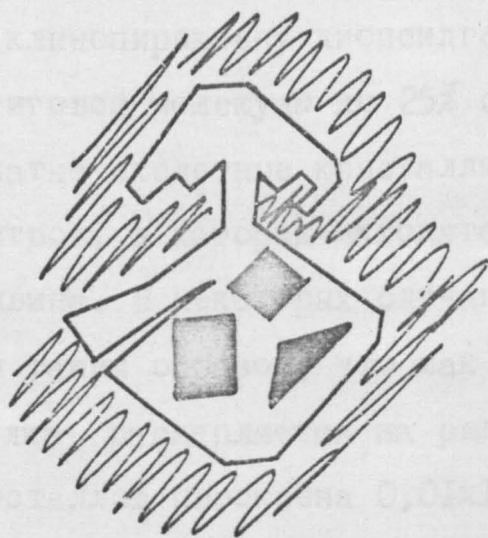
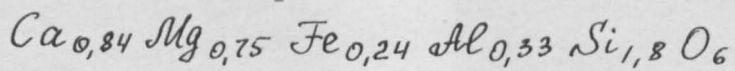


Рис. 14

перечный разрез склептривидного кристалла
пироксена в шлобазальтах с чешуйчатыми кристал-
лами пироксена 2V-большой положительный, $n_g - n_r = 0,028$
явно это диопсид.
Увеличение 500x

$n_g - n_p$ - большой, $n_g - n_p = 0,028-0,030$. Эти игольчатые кристаллы пронизывают всю стекловатую основную массу породы. Игольчатые кристаллы пироксена также занимают 10-15% площади шлифа. Таким образом, общее содержание порфировых выделений 20-30%, кристаллическая формула игольчатых вкрапленников пироксена (табл. 9).



соответствует клинопироксену диопсидгеденбергитового ряда с содержанием геденбергитовой молекулы до 25% с содержанием Al около 8%.

Игольчатые скелетные кристаллы клинопироксена расположены пучками из центров, в которых находятся гломеропорфировые сростки кристаллов оливина. В некоторых случаях игольчатые кристаллы пироксена расположены таким образом, что как бы формируют скелетный кристалл. Других - иголка - расщепляется на ряд скелетных индивидов. Размеры игольчатых кристаллов пироксена 0,01x1мм, интерференционные окраски - от желтых первого порядка до голубых второго (т.е. $n_g - n_p = 0,018 - 0,024$). Оптическая ориентировка кристаллов пироксена зависит от оптической ориентировки оливина, что подтверждается порядком интерференционной окраски / 52/.

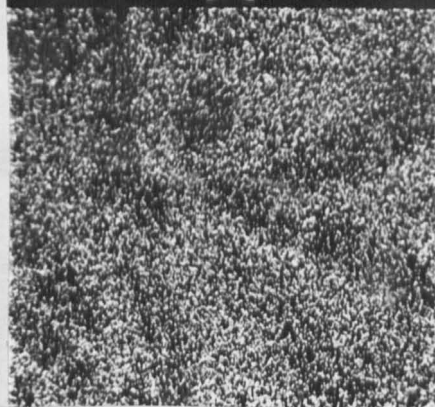
Фотографии, сделанные на микрозонде, (рис. 15) показывают качественную картину распределения катионов в гиалобазальтах с игольчатыми кристаллами пироксена. Хорошо видно, что Na концентрируется в стекле в промежутках между стенками скелетных кристаллов пироксена, Mg обозначает кристаллы пироксена и оливина большими концентрациями, Al в основном сосредоточен в стекле, но присутствует также в пироксенах. Ca - в большей степени концентрируется в пироксенах, но присутствует и в стекле, Fe - более или менее равномерно распределен по всему полю, но в стекле его содержится несколько больше. Эти данные хорошо согласуются с данными количественного анализа.

При анализе на микрозонде выявилось также, как и для гиалоба-

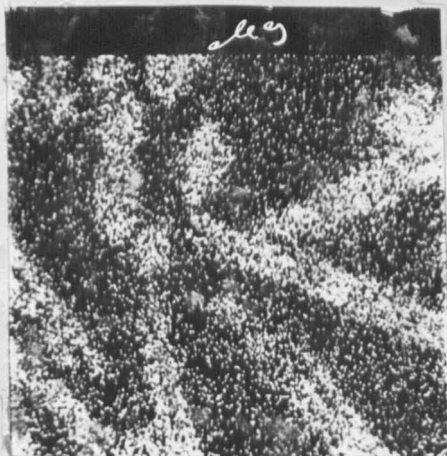
с+; 200x; обр 31; 20.06. N=131



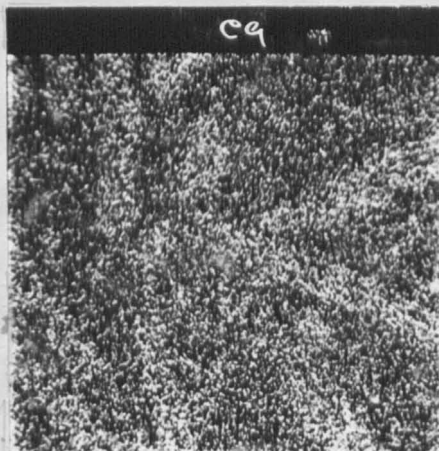
Al



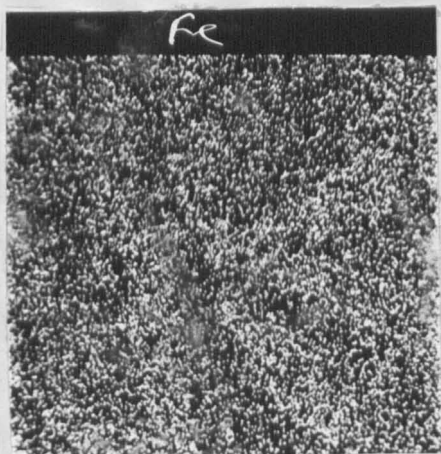
Ca



Ca



Fe



Na

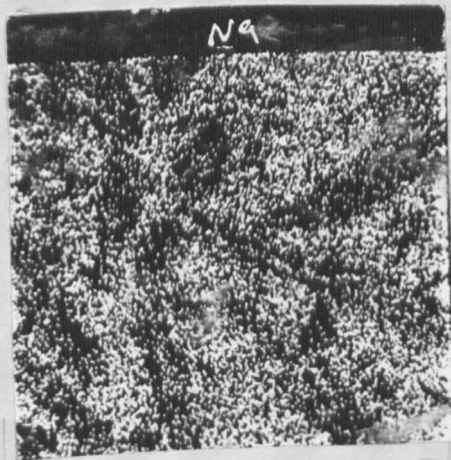


РИС. 15

Распределение элементов в порфировых выделениях и мезостазисе гиалобазальтов с игольчатыми кристаллами пироксена (обр. М-31).

зальтов с футляровидными кристаллами, даже самые свежие на вид участки стекла (не реагирующие на поляризованный свет) изменены и превращены в тонковолокнистый агрегат минералов с волокнами микронных размеров.

Выявилось также, что разные участки стекла имеют разный химический состав, т.е. отдельные участки имеют повышенные концентрации Ca , Mg , Fe , и пониженные Na и Al , в других участках наблюдаются обратные соотношения.

Валовый состав (табл. 9) первых по данным микрозондового анализа: $Na_{0,56} Ca_{1,70} Mg_{0,16} Fe_{0,94} Ti_{0,08} Al_{2,47} Si_{7,72} O_{23}$

вторых: $Na_{0,98} Ca_{1,24} Mg_{0,33} Fe_{0,80} Ti_{0,07} Al_{2,75} Si_{7,92} O_{23}$

При пересчете на актинолит и минерал, содержащий Na , в участках обедненных последним была сделана попытка разделить молекулы на актинолитовые и альбитовые. При таком подходе получилось, что 1/5 молекул - альбит $Na Al Si_3 O_8$, а 4/5 - молекулы актинолита $Ca_{2,2} (Mg_{0,96} Fe_{1,22} Ti_{0,1} Al_{2,8})_{(4,8)} Si_{7,88} O_{22} (OH)_2$

В участках стекла обогащенных натрием и алюминием при условии, что 1/3 молекул имеет альбитовый состав $Na Al Si_3 O_8$, то 2/3 молекул имеют актинолитовый состав.

$Ca_{1,96} (Mg_{0,52} Fe_{1,27} Ti_{0,11} Al_{2,8})_{(4,7)} Si_{7,88} O_{22} (OH)_2$

Таким образом при сравнении гиалобазальтов двух разновидностей можно констатировать различную концентрацию некоторых элементов в различных фазах (табл. 9). Так оливины в гиалобазальтах с игольчатыми кристаллами обнаруживают большую железистость, чем аналогичные кристаллы из гиалобазальтов с футляровидными кристаллами.

Клинопироксены по отношению $\frac{\sum Fe}{Mg + \sum Fe}$ одинаковы для обеих разновидностей гиалобазальтов, и это отношение равно 0,25. Содержание кальция стабильно 21,2 ат.%, а вот соотношение $\frac{Ca}{Mg}$ разное. Для гиалобазальтов с футляровидными кристаллами оно равно 1, а для

гиалобазальтов с игольчатыми кристаллами оно равно I, I2. Это показывает, что более железистым оливинам соответствуют более кальциевые клинопироксены, при этом также увеличивается содержание алюминия (для гиалобазальтов с футляровидными кристаллами содержание $Al = 6,8$ ат.%, а для гиалобазальтов с игольчатыми кристаллами 8 ат.%).

Гиалобазальты отличаются не только по составу вкрапленников, но и по составу стекла. Так для стекла гиалобазальтов с футляровидными вкрапленниками характерно отношение атомов $Ca/Mg = 2,07$, а для стекла гиалобазальтов с игольчатыми кристаллами отношение атомов Ca/Mg от 2,24 (участки обогащенные Na и Al) и до 3,76 (участки обедненные Na и Al). Общее количество щелочей в гиалобазальтах с футляровидными вкрапленниками выше по сравнению с второй разновидностью гиалобазальтов. Отношение $\frac{Na+K}{Ca}$ для первой разновидности 0,72-0,80.

Для разновидности с игольчатыми кристаллами это же отношение равно 0,33-0,79. То есть, вероятно повышенное содержание кальция связано с понижением содержания щелочей, т.к. отношение железа и магния стабильно для обеих разновидностей гиалобазальтов. Поэтому, возможно появляются участки стекла резко обедненные щелочами, в которых альбит не может кристаллизоваться.

Различный размер кристаллов в гиалобазальтах, расположенных ниже и выше долеритовых базальтов, обусловлен разными условиями остывания базальтовой лавы. Рост кристаллов зависит от вязкости стекла - чем больше вязкость, тем меньше кристаллы (К.Фрей, 1985г.)/58/.

Фазовый состав основной массы в значительной степени зависит от окислительно-восстановительной обстановки. По Фрею, при интенсивном окислении в базальтовом стеклоподобном расплаве образуется тонкая гомогенная эмульсия кристаллических зародышей, которые являются центрами кристаллизации. Уменьшение потенциала кислорода способствует появлению крупных рассеянных пузырьков и связанных с ними кри-

таллов магнетита (К. Фрей, 1985г.).

Все изученные базальтовые потоки Мяндухи содержат зону подушечных лав, поэтому можно предположить что, излияния происходили на мелководьи. Химизм вод безусловно мог оказывать влияние на характер кристаллизации. В.А. Мележином предлагается оценивать p^H и Eh морских палеобассейнов по поведению Mn и Fe /34,57/.

Поскольку железо и марганец элементы с переменной валентностью, то на их химическую подвижность влияют окислительно-восстановительные условия поверхностных вод. Можно предположить, что в протерозойское время (исключая время образования ятулийских красноцветов) марганец переносился в растворенной состоянии и накапливался в карбонатных толщах, а железо переносилось только в виде взвеси. Подобный механизм переноса возможен в условиях, в которых $p^H = 5-3$ и $Eh = +200 - +400$ мв. А т.к. при рассмотрении современных вод выявлено, что от пресных к соленым водам увеличивается щелочность и снижается окислительно-восстановительный потенциал, то можно предположить, что воды докембрийских бассейнов северо-запада Балтийского щита (исключая ятулийские) были пресными и солоновато-водными.

АПОБАЗАЛЬТОВЫЕ ПОРОДЫ

Эффузивы палеотипного облика распространены значительно шире нежели кайнотипные образования.

Из анализа 650 шлифов было выявлено, что породы кайнотипного облика петрографически различны и отражают все стадии перехода от неизменных долеритовых и гиалобазальтов к полностью метаморфизованным образованиям.

В ряде случаев метаморфизм был очень слабым, поэтому, почти везде удается найти переходные разности, и из 650 шлифов не более 20 представляют нацело измененные породы. Наиболее устойчивы к

метаморфизму раскристаллизованные породы [REDACTED]. Они сохраняют довольно свежий вид и поэтому в этом разделе мы их ^{подробно} не рассматриваем.

1. Долеритовые базальты изменяются в [REDACTED] лепидогранобластовые амфиболиты, но при одном никеле видна первичная структура. Контуры отдельных минералов хорошо различимы. Метаморфизованные долериты можно выделить даже в самых метаморфизованных блоках (например - блок Ша), где только в этих разностях, в отличие от стекловатых пород можно обнаружить остатки первичных микроструктур.

2. Гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена изменяются в апобазальтовую хлорит-серпентин-актинолитовую породу с "мозаичной" текстурой и тонкозернистой структурой.

3. Гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена изменяются в апобазальтовую хлорит-серпентин-актинолитовую породу спутанно-волокнутой текстуры тонкозернистой структуры.

4. К измененным породам также относится апобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболовая порода тонкозернистой структуры брекчиевидной текстуры. Аналогов кайнотипного облика для этой породы нет. Автором к породам подобного вида отнесены породы слагающие корки шаров и межшаровых выполнений. Вероятно, эти породы приобретают палеотипный облик практически сразу, поэтому даже в наименее метаморфизованных блоках Пб и IУб эта разновидность нацело метаморфизована.

Рассмотрим все выделенные разновидности более подробно.

Наиболее сильным метаморфическим изменением подвергаются стекловатые породы - вкрапленники нацело замещаются серпентином/ 20,22/, хлоритом, актинолитом, цоизитом, а стекло превращается в волокнустый или слоистый агрегат амфибола. Метаморфизм вызывает резкие колебания физико-механических свойств, что в свою очередь и определя-

ет свойства строительного камня. Одни разновидности в результате метаморфизма сильно упрочняются, другие наоборот — становятся менее прочными.

По структурным особенностям среди апобазальтовых пород выделены 2 главные структурные разновидности: а) апобазальтовые породы с мозаичной структурой, б) апобазальтовая порода с волокнистой структурой.

а) Апобазальтовая порода серпентин-хлорит-амфиболовая с мозичной структурой

Порфиновые гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена превращаются при метаморфизме в апобазальтовые серпентин-хлорит-амфиболовые породы с мозаичной структурой. Крупные фенокристаллы оливина замещаются серпентином, при этом происходит сильное увеличение их объема, они оказывают механическое воздействие на довольно однородное стекло и оно, вероятно, поэтому растрескивается. В дальнейшем эти трещинки залечиваются хлоритом, а основная масса (т.е. промежутки между трещинами) раскристаллизовываются в пластинчатый веерообразно-погасающий амфиболовый агрегат, бурого цвета. При скрещенных николях мы имеем мозаичную структуру, состоящую из угловатых также веерообразнопогасающих фрагментов (см. рис. 16, 17).

Так как тонкозернистые породы (размер чешуек $< 0,01\text{мм}$) плохо поддаются диагностике, было проведено рентгеновское изучение образцов. Установлено, что породы этого типа состоят из хлорита, амфибола и кварца (см. рис. 18).

Детальное петрографическое исследование показало, что между слабоизмененными базальтами и апобазальтовыми породами имеются все переходные разновидности. В девитрифицированном стек-

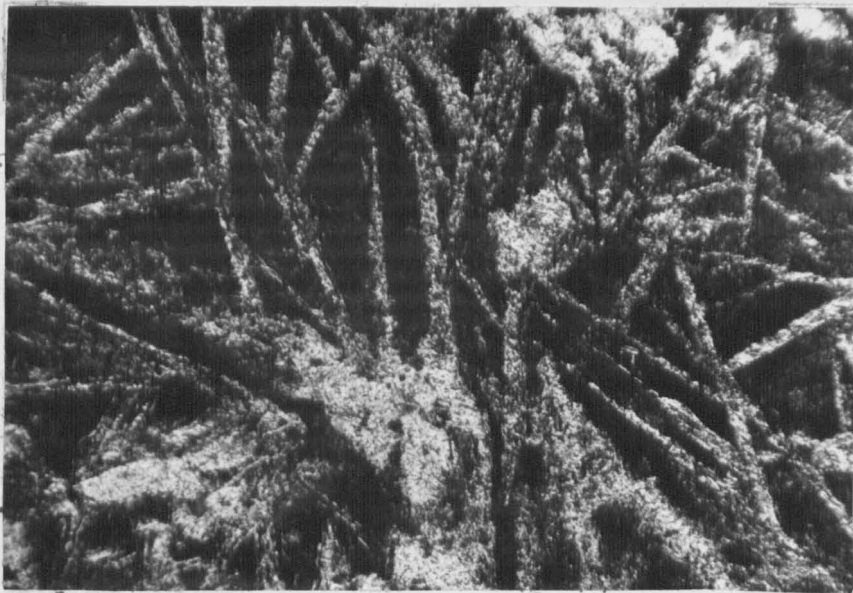


Рис. 16

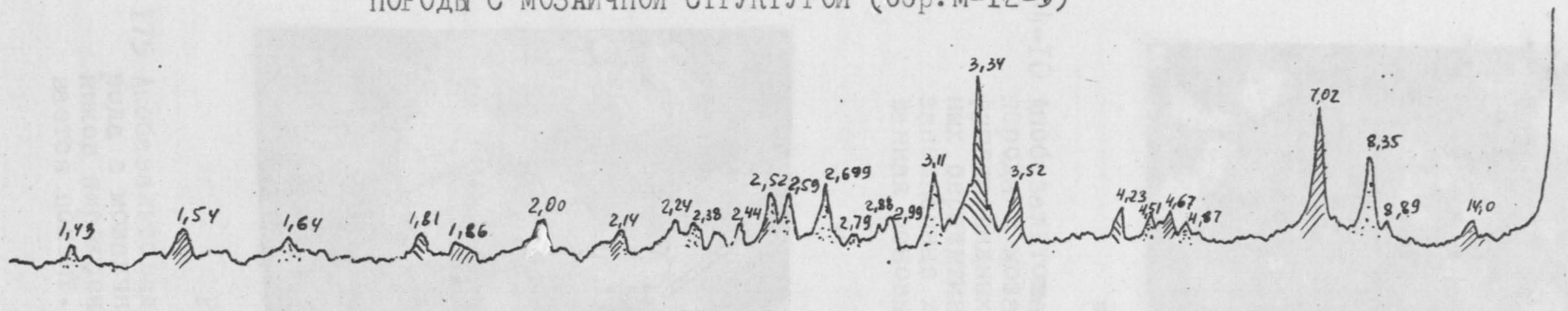
Шл. 17-2 Апобазальтовая серпентин-хлорит-амфиболовая порода с мозаичной зернистой структурой. Светло-измененные порфирировые вкрапленники оливина и пироксена, замещенные серпентином, серое-трещинки залеченные хлоритом, изредка в них встречается кварц, темное-амфиболизированное стекло. Ув. 63х. Без анализатора.



Рис. 17

Шл. 17-2 То же. Ув. 63х. Николи скрещены.

РЕНТГЕНОГРАММА АПОБАЗАЛЬТОВОЙ СЕРПЕНТИН-ХЛОРИТ-АМФИБОЛОВОЙ
ПОРОДЫ С МОЗАИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ (обр. М-12-5)



хлорит



кварц



амфибол

РИС. 18

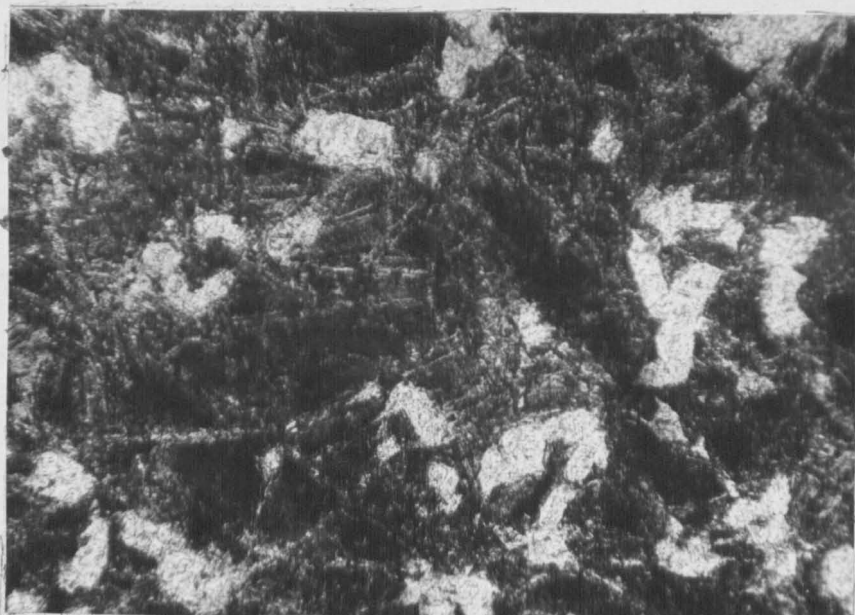


Рис. 19

Шл. М-4-10 Апобазальтовая серпентин-хлорит-амфиболовая порода с мозаичной структурой с реликтами футляровидных кристаллов пироксена, замещенных серпентином (светлое) видны трещинки, заполненные хлоритом и темная амфиболизированная основная масса. Ув. 63х. Без анализатора.



Рис. 20

Шл. 175 Апобазальтовая серпентин-хлорит-амфиболовая порода с мозаичной структурой. Замещение вкрапленников пироксена серпентином, по которому развивается цоизит. Ув. 160х. Без анализатора.

ле видны замещенные серпентином фюльяровидные кристаллы пироксена (рис. 19). При более интенсивном изменении серпентин замещается Цоизитом (рис. 20). Подобные разновидности измененных базальтов с мозаичной структурой и многочисленными микротрещинами, залеченными, хлоритом, характеризуются пониженной прочностью.

б) Апобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболовая порода со спутанно-волокнистой структурой

Эта разновидность образуется при метаморфизме порфировых гиа-лобазальтов с игольчатыми кристаллами пироксена. На рис. 21, 22 видна начальная стадия раскристаллизации стекла - оливин и пироксен еще во многом сохраняют свою структуру, но стекло уже все пронизано иголочками амфибола. Для этой породы характерны более мелкие по сравнению с предыдущей разновидностью кристаллы оливина. Стекло раскристаллизовано в спутанно-волокнистый войлок амфибола. Кроме того, сами волокна амфибола имеют скрученно-волокнистое строение и тем самым напоминают канат (рис. 23, 24, 25).

Породы со спутанно-волокнистой структурой образуют два под-типа - породы с крупными волокнами (размер волокон 50-100 мкм.) и породы с мелкими волокнами (размер волокон 1-5 мкм.), последние характеризуются аномально высокой прочностью.

Термическое изучение образца с крупными волокнами (см. рис. 26) показало наличие плавного эндотермического эффекта, в области 78/200-500 градусов, соответствующего хлориту, отчетливого эндотермического эффекта в области 680° и слабого эффекта в области 800° соответствующего серпентину, а также слабого эндотермического эффекта в области 950-1000°, соответствующего амфиболу. Впервые для подобных пород использованы - сканирующая микроскопия для пород с крупными волокнами и микронзондирование для пород с тонкими воло-



Рис. 21

Шл. I7-I6 **Измененный**
гялобазальт с игольчатыми кристаллами пироксена. Оливин еще довольно свежий (светлые пятна), а стекло начинает раскристаллизовываться. Ув. 63х. Без анализатора.



Рис. 22

Шл. I7-I6 То же, но николи +, Видно, что основная масса в большой степени раскристаллизована.

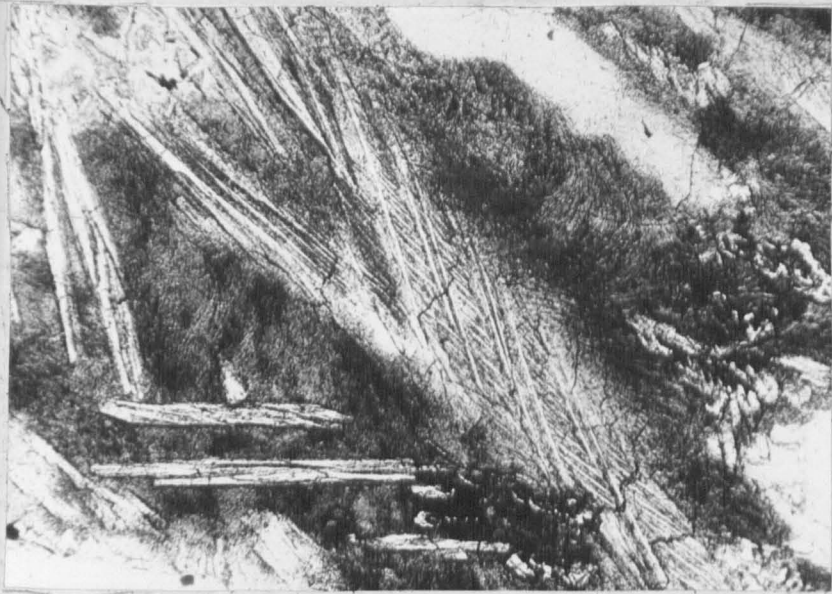


Рис. 23

Шл. 20-9 Измененный габбро с игльчатыми кристаллами пироксена. Начальная стадия раскристаллизации стекла—появление веретеновиднозакрученных пучков кристаллов амфибола. Белое—оливин, сероватое—пироксен, темное—метельчатый агрегат нераскристаллизованного стекла. Ув. 160х. Без анализатора.

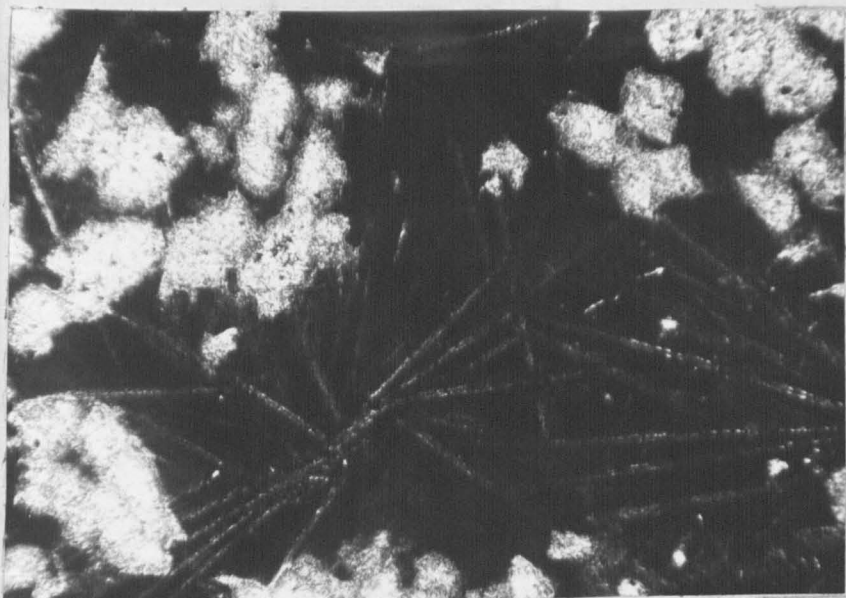


Рис. 24

Шл. 5I-6 Апобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболовая порода со спутанно-волокнистой структурой. Светлое-серпентиновый агрегат по гломеропорфировым скоплениям кристаллов оливина. Основная масса пронизана пересекающимися пучками волокон амфибола. Ув. 63х. Без анализатора.

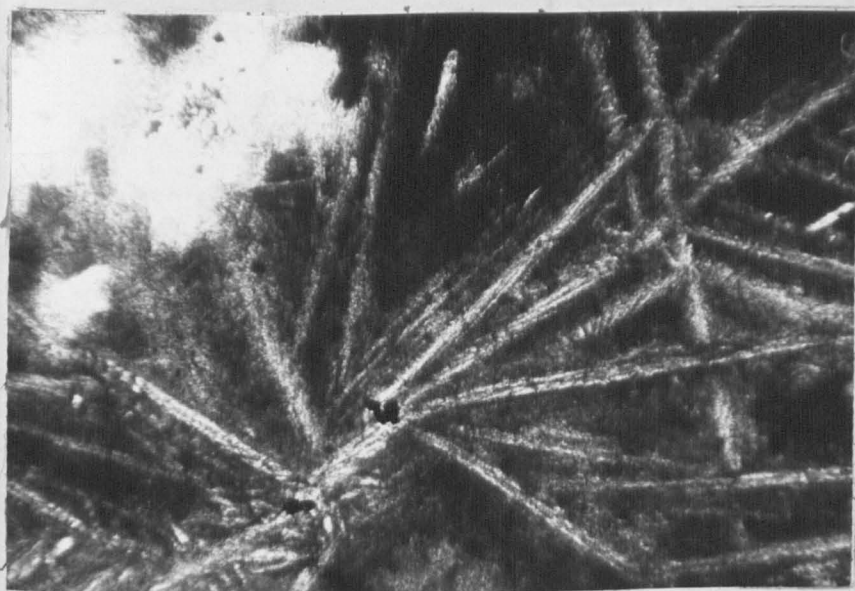


Рис. 25

То же, но увеличение 125х.

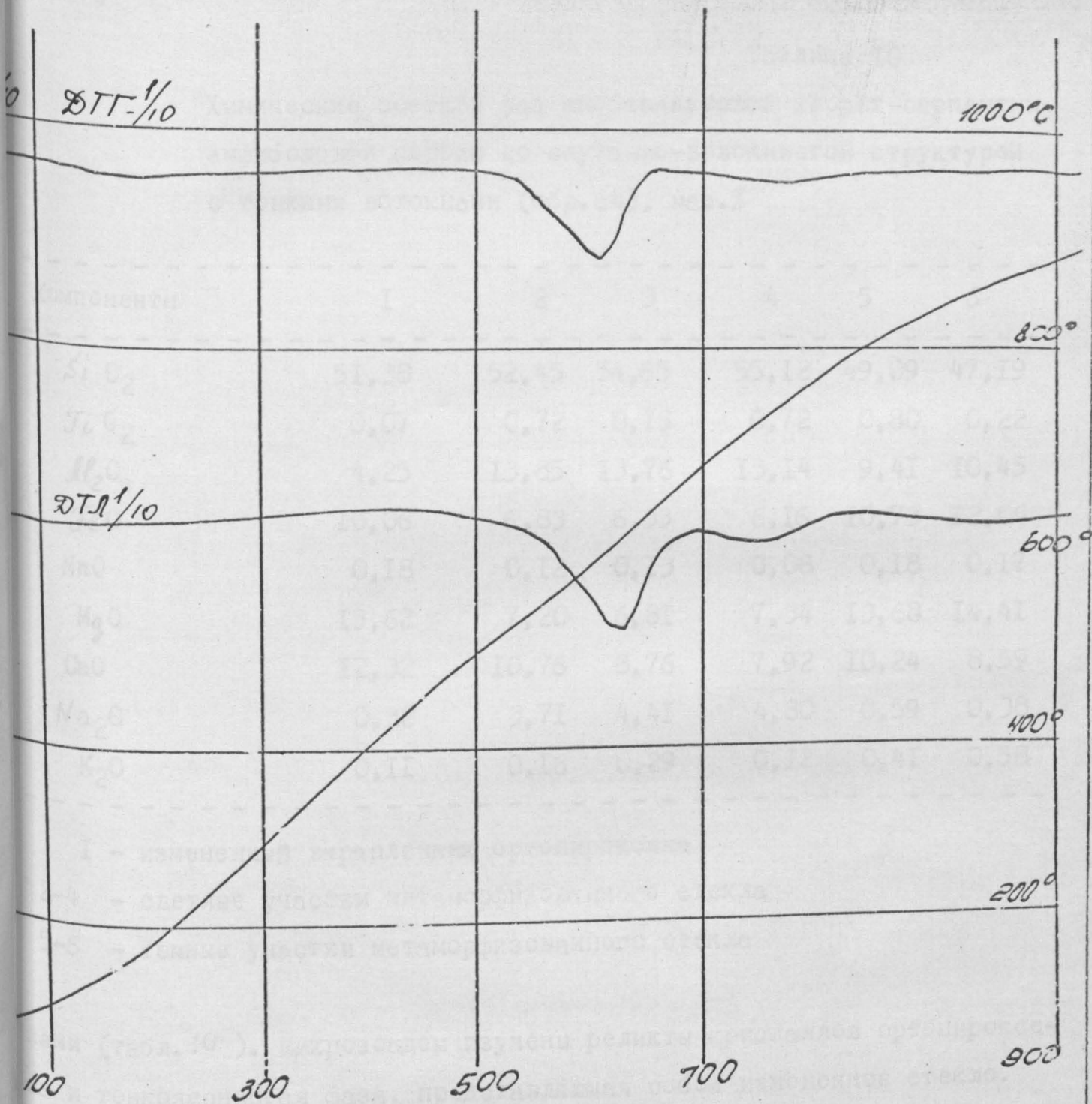


Рис. 26

грамма опобдзальтовой гелорит - серпентин-амфиболо-
вой со спутанно-волокнистой структурой.
(обр. М-3-20)

Таблица 10

Химические составы фаз апобазальтовой хлорит-серпентин-амфиболовой породы со спутанно-волокнистой структурой с тонкими волокнами (обр.64), мас.%

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	51,38	52,45	54,65	55,12	49,09	47,19
TiO ₂	0,07	0,72	0,75	0,72	0,80	0,22
Al ₂ O ₃	4,25	13,85	13,76	13,14	9,41	10,45
FeO	10,06	6,83	6,33	6,16	10,73	12,06
MnO	0,18	0,12	0,13	0,08	0,18	0,17
MgO	15,62	7,20	6,81	7,34	13,68	14,41
CaO	12,32	10,76	8,76	7,92	10,24	8,59
Na ₂ O	0,32	3,71	4,41	4,80	0,59	0,38
K ₂ O	0,11	0,16	0,29	0,12	0,41	0,58

1 - измененный вкрапленник ортопироксена

2-4 - светлые участки метаморфизованного стекла

5-6 - темные участки метаморфизованного стекла

нами (табл. 10). Микронзондом изучены реликты кристаллов ортопироксена и тонкозернистая фаза, представляющая собой измененное стекло.

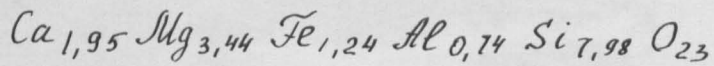
Изометричный вкрапленник ^{орто}пироксена, размером 0,2x0,3мм

имеет кристаллохимическую формулу: Ca_{0,51} Mg_{0,90} Fe_{0,32} Al_{0,19} Si_{1,98} O₆ и относится к гиперстену с содержанием энстатитовой молекулы до 74% и содержанием Al 4,9 ат.%.
(Ca_{0,51}Mg_{0,90}Fe_{0,32}Al_{0,19}Si_{1,98}O₆(OH)₂)

При метаморфизме оливин замещается пластинчатым агрегатом серпентина (рис. 27,28). Пластинки серпентина имеют размеры 5-10м. Обнаружены также случаи замещения пироксена спутанно-волоконистым агрегатом амфибола (рис. 29,30).

В отличии от оливина пироксен во многих случаях замещается пластинчатым агрегатом хлорита, серпентина, цоизита.

Так уже упоминавшийся кристалл ортопироксена замещается тонким агрегатом минералов, при пересчете имеющих валовый состав амфибола



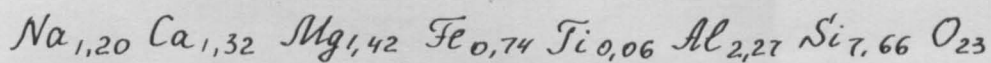
Высокие содержания *Mg* и *Ca* не исключают присутствия серпентина и цоизита. При вычете этих минералов остается амфибол актинолитового ряда.

Микросондом изучено было также девитрифицированное стекло.

На рис.22,24 видно, что стекло в разностях с крупными волокнами имеет неоднородное строение. При детальном анализе выяснилось, что также как и в гиалобазальтах с игольчатыми кристаллами стекло раскристаллизовывается не равномерно и имеет в разных участках разный состав. Для разновидности с тонкими волокнами это хорошо видно на рис.33,34

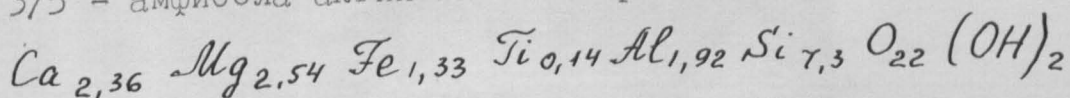
Так выявлены участки стекла обогащенные натрием и алюминием и обедненные этими элементами.

Участки, обогащенные *Na* и *Al* при пересчете на амфибол характеризуются следующим составом (табл. IO)



При рентгеновских исследованиях этой разновидности обнаружены четкие пики, отвечающие кварцу, хлориту, полевому шпату и амфиболу, по-видимому скелетному (рис. 32). Если выделить из валового состава стекла молекулу альбита, то получается, что в участках стекла обогащенных щелочами 2/5 молекул имеют состав альбита $NaAlSi_3O_8$

а 3/5 - амфибола актинолитового ряда -



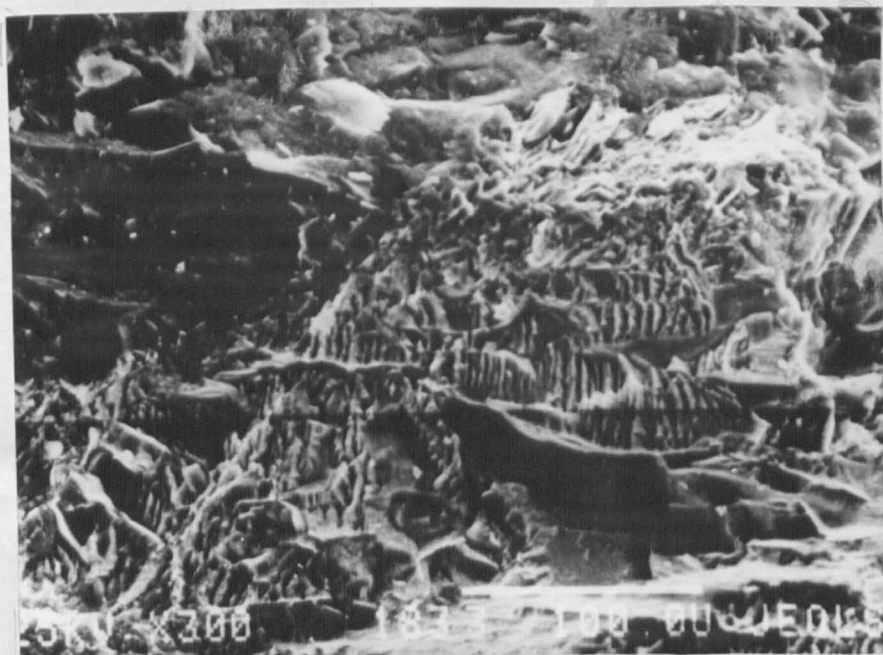
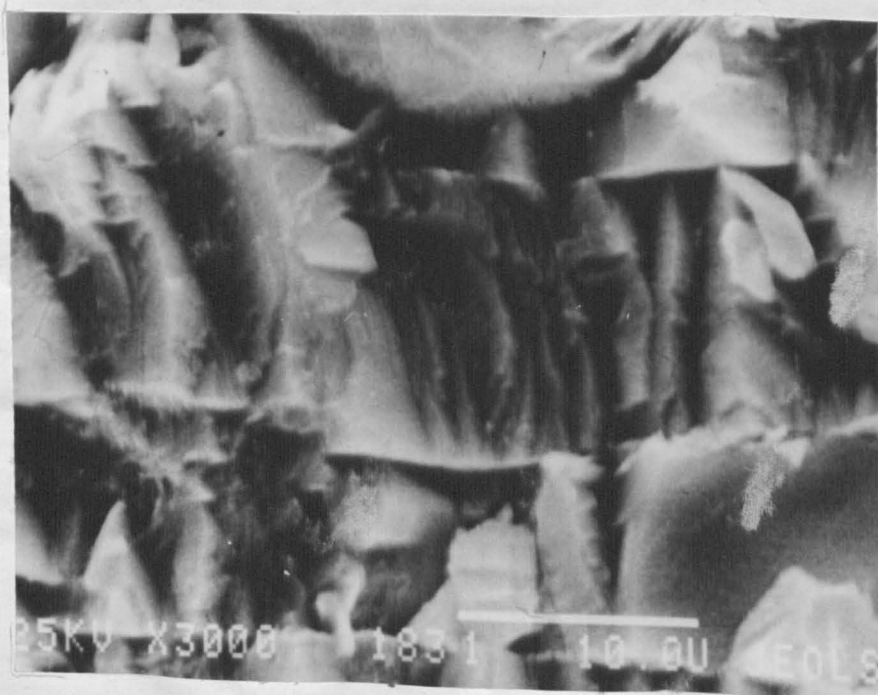


Рис. 27
Обр. М-3-20
Апобазальтовая
серпентин-хлорит-
амфиболовая порода
со спутанно-волокну-
истой текстурой.
а Замещение зерна
оливина серпенти-
ном.
Масштаб на каждой
фотографии



б



в



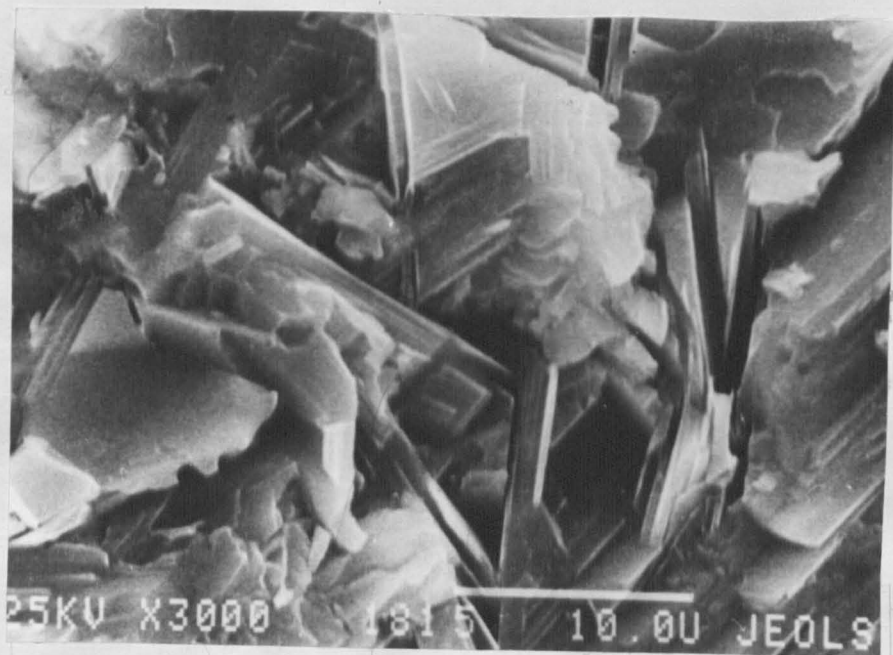
а



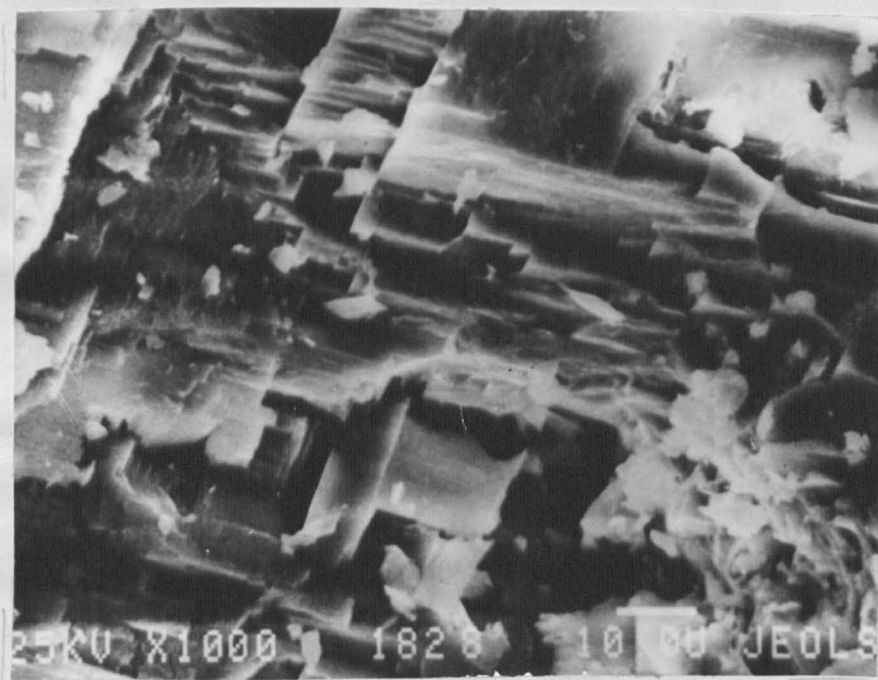
б

Рис. 28

обр. М-3-20 Апобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболовая порода со спутанно-волокнистой структурой. Характер срастания зерен оливина и пироксена, замещенных серпентином. Масштаб на каждом снимке



a



б

Рис. 29

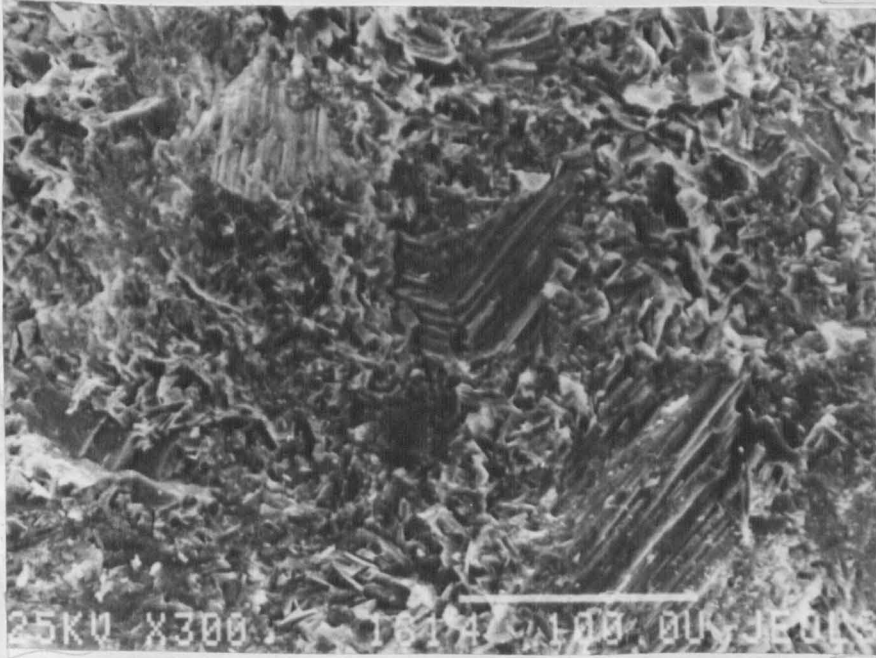
Обр. М-3-1 Алобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболовая порода со спутанно-волокнистой структурой а-амфибол (игольчатый), серпентин (пластинчатый) б-серпентиновая псевдоморфоза по оливину. Масштаб на каждом снимке.

Рис. 30

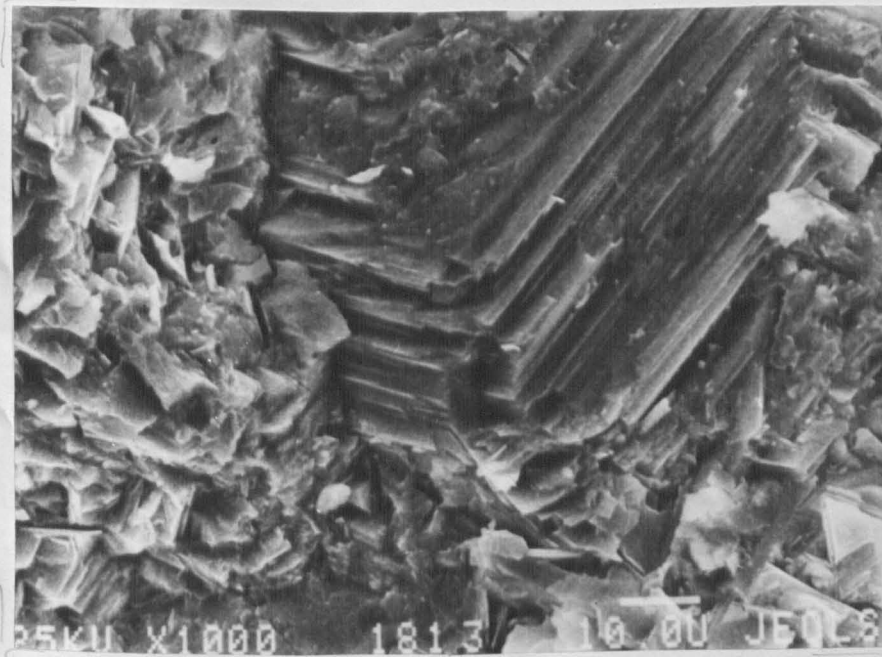
Обр. М-3-1

Апобазальтовая серпентин-хлорит-амфиболовая порода со спутанно-волокнистой текстурой. Среди хлорит-серпентинового агрегата зерна ромбического пироксена нацело замещенные баститом. Масштаб на каждом снимке.

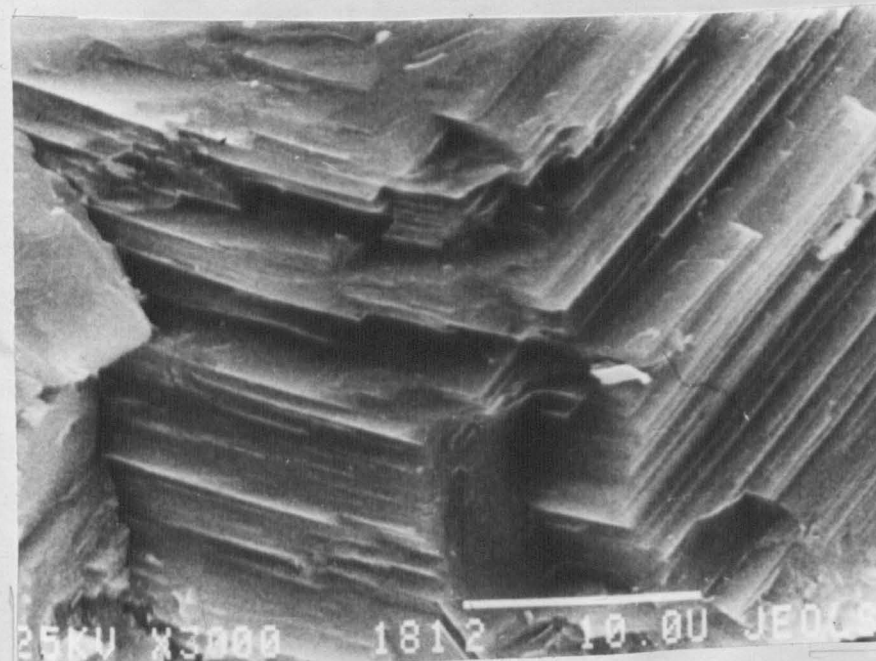
а



б

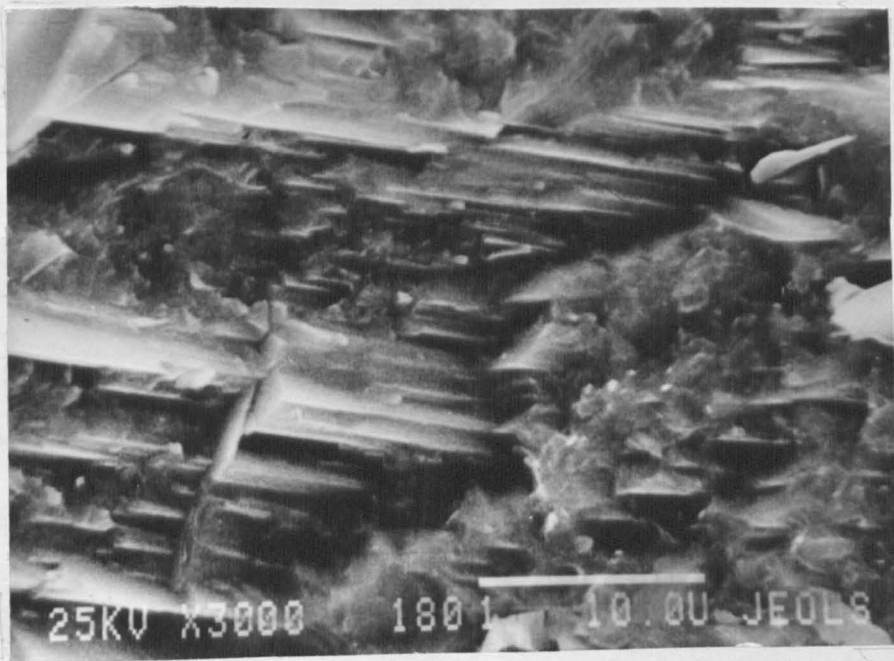


в





а

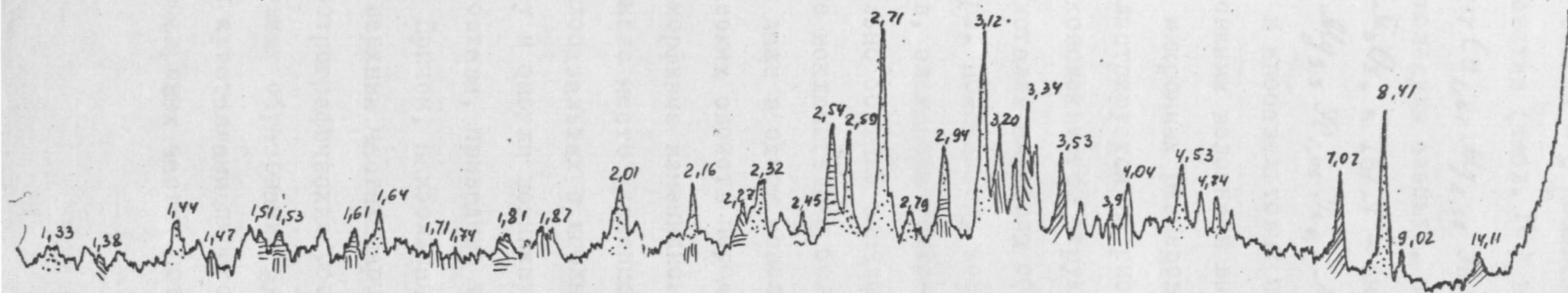


б

Рис. 31

Шл. М-3-1 Апобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболовая порода со спутанно-волокнистой структурой. Волокна амфибола перекрещиваются в разных направлениях. Серое - хлорит.

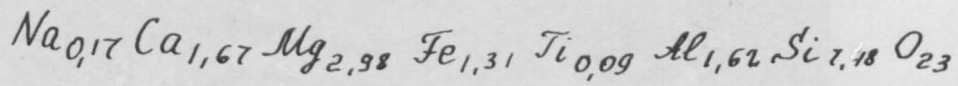
РЕНТГЕНОГРАММА АЛОБАЗАЛЬТОВОЙ ХЛОРИТ-АМФИБОЛОВОЙ
 ПОРОДЫ СО СПУТАННО-ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ (с тон-
 кими волокнами обр. М-64)



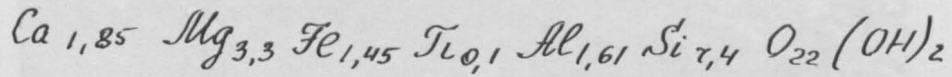
- | | |
|--|--------------|
| | хлорит |
| | амфибол |
| | кварц |
| | пироксен |
| | полевои шпат |
| | биотит |

РИС.32

Другие участки стекла - с пониженным содержанием щелочей и алюминия имеют валовый состав (табл. 10) в пересчете на амфиболы



При выделении молекулы альбита, получается, что I/I7 молекул имеют состав $NaAlSi_3O_8$, а I6/I7 - амфибола актинолитового ряда



Таким образом, в апобазальтовых породах со спутанно-волокнистой структурой с тонкими волокнами выявлены участки почти нацело состоящие из тонких микронных размеров кристаллов амфибола. Это положение хорошо иллюстрируется на рис. 34, где показана апобазальтовая порода тонковолокнистой структуры (ув. 3000 ~~1500~~). Видно, что волокнистые кристаллы амфибола образуют спутанный войлок нефритоподобной структуры. По-видимому концентрация в образце большого количества участков, сложенных тонко-спутанно-волокнистым амфиболом и дает исключительно большие значения прочности. Это обстоятельство объясняет также исключительно большой разброс прочности образцов в одной пробе, и даже в одном монолите (как это выявлено при анализе физико-механических свойств пород месторождения).

При метаморфизме изменились соотношения элементов, по-видимому из стекла имело место удаление щелочей и кальция, что наблюдается уже в гиалобазальтах с игольчатыми кристаллами кайнотипного облика. Поэтому и смогли возникнуть такие участки неоднородности минерального состава, приведшие к появлению участков нефритоподобной структуры. Причем, наибольшая концентрация таких участков наблюдается в верхних частях шаровых лав.

Анализ петрографических особенностей породы позволяет сделать выводы об условиях образования вулканических тел. Гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена образуются только в верхних массивных витрофировых частях потока, а гиалобазальты с игольчаты-

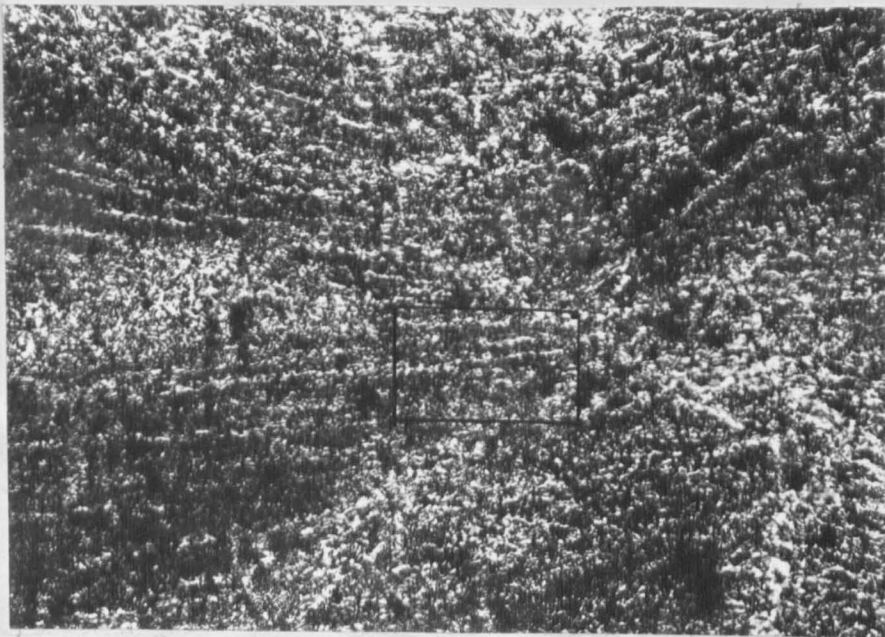


Рис. 33

Шл. М-64. Ув. 500, без анализатора

Тонкоспутанно-волокнистая апобазальтовая хлорит-
-серпентин-амфиболовая порода

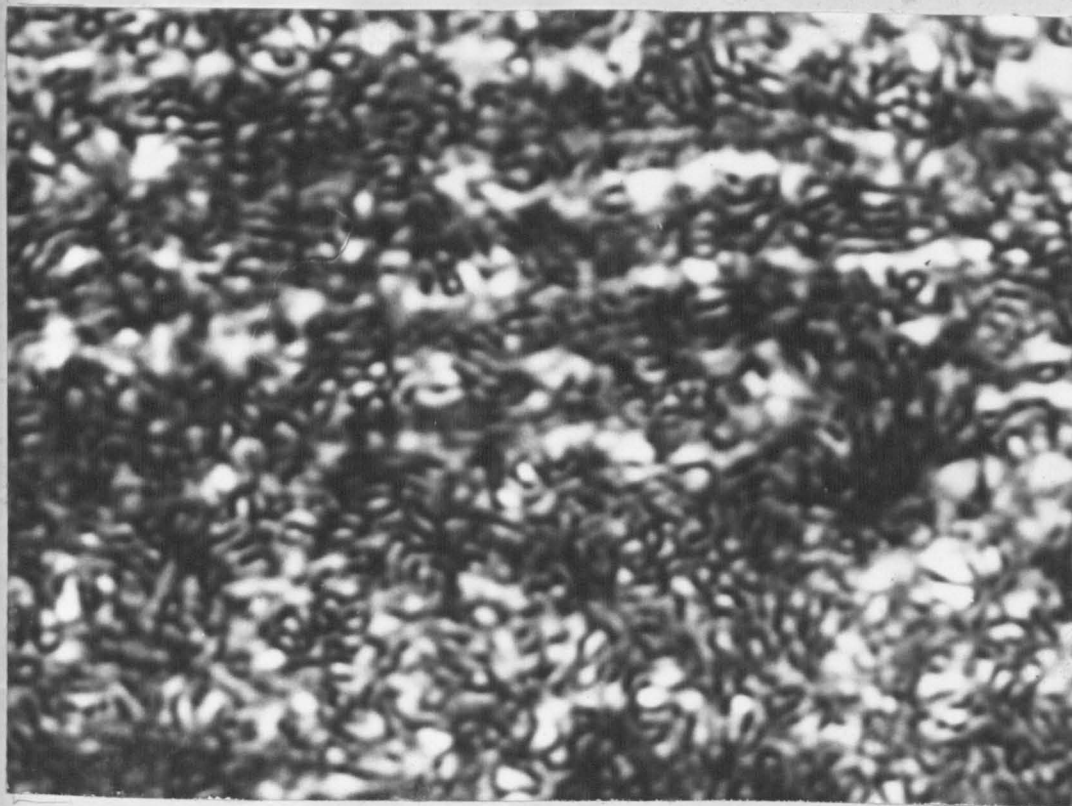


Рис. 34

То же, увеличено фотографическим способом. Спутанно-
-волокнистый войлок кристаллов амфибола нефритоподоб-
ной структуры. (увеличение ~ 3000x)

ми кристаллами пироксена характерны для нижней части потока, т.е. для зоны шаровых лав и в частности для внутренних частей шаров (подушек). Во внешней, закалочной зоне подушек наблюдается стекловатое вещество, не реагирующее на поляризованный свет с небольшим количеством мелких нацелоизмененных вкрапленников.

При рентгеновском анализе образца М-7-1 обнаружено, что основная фаза - амфибол с небольшой примесью кварца и возможного полевого шпата (рис. 35). Между подушками расположен агрегат гидротермальных минералов (рис. 36, 37, 38). Брекчиевые разности характеризуют межшаровое (межподушечное) пространство. Все вышесказанное дает право сделать вывод; что верхним частям потоков соответствуют гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена среди мало измененных пород и апобазальтовая хлорит-серпентин-амфиболитовая порода с мозаичной структурой - среди метаморфизованных пород.

А нижним частям - гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксенов, среди пород кайнотипного облика и апобазальтовые хлорит-серпентин-амфиболитовые породы со спутанно-волокнутой структурой, среди глубоко измененных пород.

Метаморфические структуры палеотипных пород в значительной степени унаследованы. При остывании в верхней части потока образовалось массивное стекло. Благодаря специфическому режиму образовались футляровидные кристаллы пироксена. Нижняя часть, вероятно соприкасалась с водой, застывала при большом переохлаждении ниже солидуса. Поэтому кристаллы образовались более мелкие, игольчатые, пронизывающие всю ткань породы, что и определило раскристаллизацию пород при метаморфизме.

Таким образом, в результате петрографического анализа выявлены микроструктурные особенности пород, прослежены пути изменений кай-

РЕНТГЕНОГРАММА ГИАЛОБАЗАЛЬТА ИЗ ЗОНЫ ЗАКАЛКИ
(обр. М-7-1) ОСНОВНАЯ ФАЗА АМФИБОЛ С ПРИМЕСЬЮ
КВАРЦА, ВОЗМОЖНО ПОЛЕВОГО ШПАТА



- | | |
|--|--------------|
| | хлорит |
| | амфибол |
| | кварц |
| | полевоу шпат |

РИС. 35

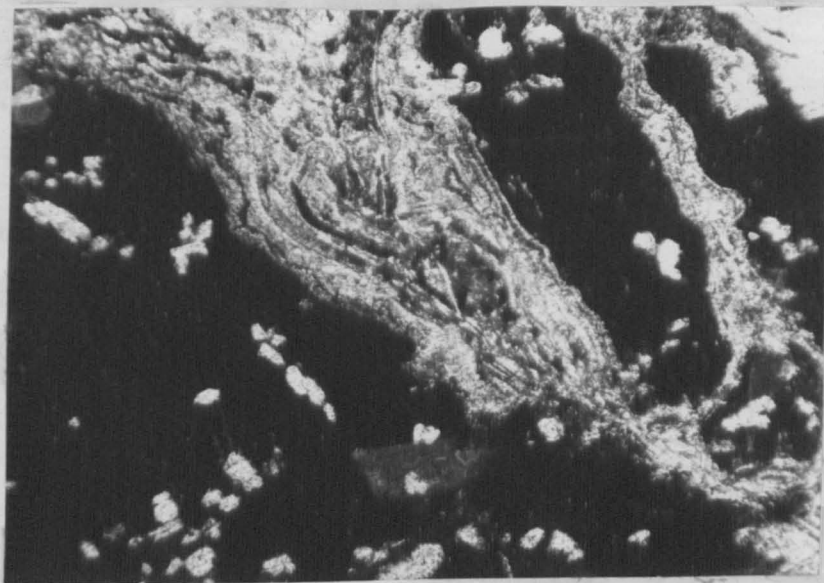


Рис. 36

Шл. М-10-2 Зона закалки - краевая часть подушки - скрытокристаллический гиалобазальт с редкими нацело серпентинизированными гломеропорфировыми вкраплениями интрателлурического оливина. Ув. 40х. Без анализатора.

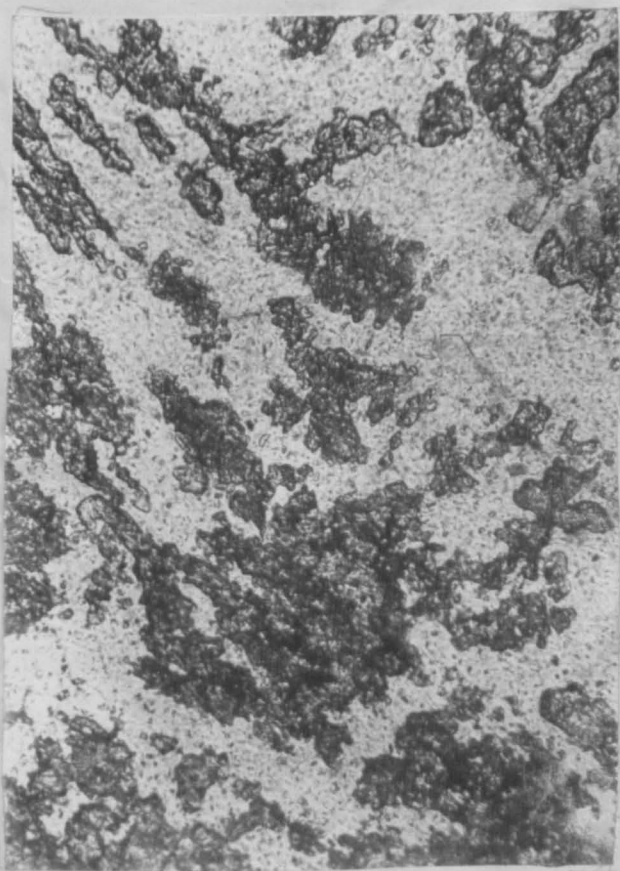


Рис. 37

М-11-2 Ув. 200х. Без анализатора



Рис. 38

Шл. М-11-2 Ув. 200х. Николи +

Кварц-цоизитовый агрегат - выполнение межподушечного пространства. Темное - цоизит, светлое - кварц (при одном николе).

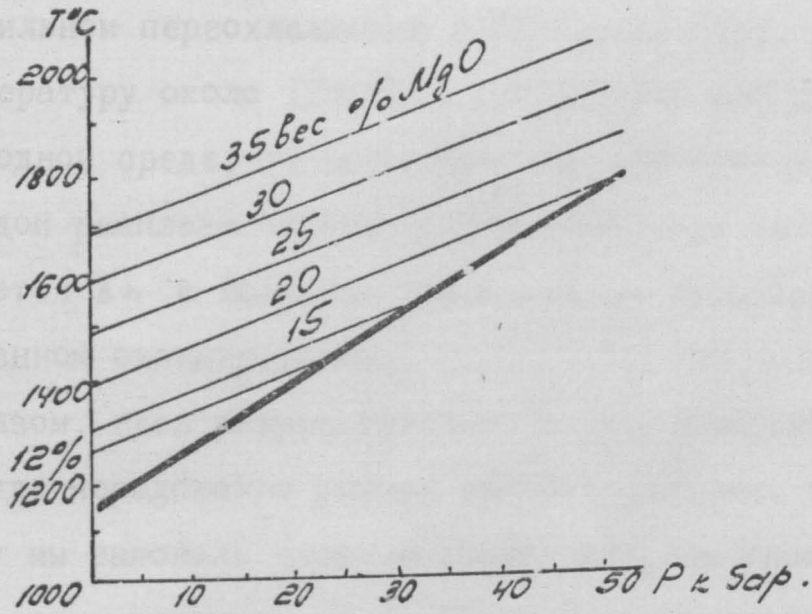


Рис. 39

Температуры ликвидусов коматиитовых расплавов по литературным данным (Аелдт, 1976, Вилке е.а. 1977, Уккер et al 1975)
Жирная линия - солидус мантийного перидотита [15]

нотипных пород в процессе метаморфизма, выявлены текстурно-структурные разновидности пород, отвечающие разным сортам полезного ископаемого, а также возможности идентификации измененных пород с определенными зонами потока.

Эксперименты А. В. Гирниса показали, что волокнистые структуры возникают при сильном переохлаждении в базальтах /15/. При излиянии лавы имеют температуру около 1250° (рис. 39). А так как излияния лавы происходили в водной среде, то возможно, что при пропаривании переохлажденного водой расплава за счет разложения воды на водород и кислород повышается E_h и возможно реализовался механизм кристаллизации при повышенном окислении.

Таким образом, весь разрез вулканитов месторождения можно представить в виде чередования разных микроструктурных типов базальтов. А поскольку мы выяснили связь микроструктурных типов пород с определенными частями потоков, то в каждом разрезе удалось выявить чередование микроструктур, характерных для верхних частей потока и соответственно для нижних его частей. А отсюда возможно разделить все разрезы на потоки. Петрохимическая характеристика всего месторождения и отдельных потоков дана ниже.

2. ПЕТРОХИМИЯ МЕТАБАЗАЛЬТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЯНДУХА

При изучении вулканитов месторождения нами впервые предпринята попытка выявить индивидуальные характеристики отдельных потоков и связать между собой петрографические и петрохимические особенности слагающих пород. На основе данных разведки и на собственном статистическом материале автором были проанализированы литературные источники /7, 9, 19, 26, 54, 69, 70, 72, 80, 82, 83, 85/. Аналогов по химическому составу не было найдено, кроме базальтов Ветреного пояса /32, 61/. Для толеитовых базальтов содержание Mg сильно повышено, а для коматитовых - повышено содержание кремния.

Предыдущие исследователи выделяли типы базальтов, основ-

ваясь на формальных петрографических признаках. Так, по аналогии с другими районами развития серии Ветреный пояс на месторождении были выделены: толеитовые, оливиновые и пикритовы базальты только по относительному количеству псевдоморфоз серпентина по крупным кристаллам, принимаемым за количество оливина.

В соответствии с этим принципом для толеитовых базальтов количество кристаллов оливина или псевдоморфоз по ним не должно превышать 5%, для оливиновых базальтов - 15-30%, для пикритовых базальтов - 30%. Эта классификация носит весьма условный характер, т.к. в метаморфизованных разностях невозможно точно определить содержание оливина.

В табл. II даны средние анализы разновидностей, выделяемых предыдущими исследователями на месторождении в сопоставлении со средними данными по региону (В.Д. Слюсарев, В.С. Куликов, 1973г., А.В. Гирнис).

Из сопоставления приведенных анализов видно, что породы месторождения чрезвычайно однородны по химическому составу и ближе всего к оливиновым базальтам, выделенным для суйсарского комплекса в целом. Как было отмечено выше в данной работе сделана попытка разделить породы Мяндухи по составу. Для сопоставления был взят 22I анализ базальтов данного участка.

В табл. I2 показано распределение анализов по разновидностям и по потокам. Как видно из табл. I2 отдельные разновидности и потоки охарактеризованы достаточным количеством анализов. Для всех изученных разновидностей пород были рассчитаны средние химические составы в мас.% в атомных%. Последние гораздо вернее отражают соотношения элементов. Как видно из табл. I3 химический состав разновидностей довольно табилен. Содержание SiO_2 колеблется от 49,7 до 51,5 мас.%, (от 46,8 до 48,8 ат.%), а содержание MgO от 11,0 до 13,8 мас.% (от 15,5 до 9,3 ат.%). Обращает на себя внимание очень большая стабильность, падающая на суммарную долю атомов кремния, алюминия и магния: от

Химический состав метабазальтов месторождения Мяндуха и
суйсарского комплекса синклиория Ветреный пояс (вес.%)

Месторождение Мяндуха ^{x)}					Ветреный пояс					Базальты			
базальты толеитовые	базальты оливиновые	базальты пикритовые	доле-риты	агломератовые лавы	В целом по м-нию	Средний состав изверженных пород суйсарского комплекса синклиория Ветреный пояс				коматиитовый базальт по данным А.В.Гирниса		по Дели	
						пикритовый базальт	оливиновый базальт	толеитовый базальт	пироксеновый базальт	Восточн. Карелия	!Ветрен. !пояс		
51,0	50,3	51,6	51,4	50,0	50,7	44,60	49,17	52,10	51,60	51,2	48,2	49,06	
0,57	0,58	0,62	0,6	0,61	0,6	0,43	0,65	0,76	0,74	0,69	0,59	1,36	
12,0	12,0	12,4	12,2	11,9	12,1	8,0	11,60	13,45	13,16	13,2	10,2	15,7	
2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,94	1,57	1,78	2,19	10,08	10,62	5,38	
8,3	8,2	8,2	8,15	8,25	8,2	8,51	9,20	8,60	8,32			6,37	
0,17	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16	0,21	0,19	0,18	0,19	0,16	0,22	0,31	
12,1	12,3	12,0	11,8	11,8	12,2	23,37	13,70	9,19	9,31	8,47	15,4	6,17	
8,7	8,9	8,8	8,9	8,9	8,8	6,83	9,11	10,19	10,07	9,94	8,4	8,95	
1,64	1,6	1,8	1,54	1,64	1,62	0,58	1,50	1,93	2,10	3,15	1,81	3,11	
0,45	0,46	0,46	0,5	0,51	0,5	0,17	0,38	0,59	0,40	0,08	0,35	1,52	
0,11	0,09	0,08	0,08	0,11	0,09	0,30	0,17	0,11	0,14			1,62	
Сумма	97,24	96,73	98,32	97,49	95,97	97,17	95,94	97,24	98,88	98,22	96,97	95,79	99,55

x) Метабазальты в таблице разделены на разновидности по работе /67/.

Распределение химических анализов по потокам
и разновидностям пород

Индекс	Разновидности Название	Количество химанализов							Всего
		Потоки							
		1-ый	2-ой	3-ий	4-ый	5-ый	6-ой	7-ой	
1а	долеритовые базальты, свежие, мелкозернистые	2	4	2	3	6	-	-	17
1б	долеритовые базальты, свежие, среднезернистые	-	-	-	2	9	1	-	12
1м	долеритовые базальты, затронутые метаморфизмом	1	2	-	1	1	3	1	9
2	гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена	-	1	9	13	-	7	-	30
2м	то же, затронутые метаморфизмом	1	-	1	6	5	2	-	15
3	гиалобазальты с иголецатыми кристаллами пироксена	-	6	6	16	8	4	-	40
3м	то же, затронутые метаморфизмом	-	1	-	2	-	-	2	5
3 ← 4	то же, метаморфизованные в большей степени	-	7	-	2	1	1	1	12
4	апобазальтовые хлорит-серпентин-амфиболовые породы со спутанноволокнистой структурой, развиваются по гиалобазальтам с иголецатыми кристаллами пироксена	1	-	2	4	4	6	1	18
4м	то же, сильно хлоритизированные породы	-	2	-	3	2	-	-	7
4 ↔ 5	апобазальтовые породы с участками различной структуры - как спутанно-волокнистой так и мозаичной	-	-	-	1	1	-	1	3
5	апобазальтовые хлорит-серпентин-амфиболовые породы с мозаичной структурой, развивающиеся по гиалобазальтам с футляровидными кристаллами пироксена	2	1	5	4	4	5	-	21
5м	то же, сильно хлоритизированные породы	1	-	-	-	2	-	-	3
6	апобазальтовые породы тонкозернистой структуры, брекчиевидной текстуры, развивающиеся по закалочным зонам корок шаров	-	1	1	8	6	10	3	29
Всего:		8	25	26	65	49	39	9	221

СРЕДНИЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ РАЗНОВИДНОСТЕЙ МЕТАБАЗАЛЬТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЯНАУХА

РАЗНО- ВИД- НОСТЬ*	КОЛИ- ЧЕСТ- ВО		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.П.П.	SO ₃	Si+AL	Si+ AL+ Mg
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1A	17	МАС.%%	50.17	0.57	11.53	2.37	0.17	8.34	0.18	13.46	8.87	1.55	0.46	0.03	2.28	0.05		
		АТ.%%	47.17	0.41	12.94	1.69	0.12	6.55	0.14	18.85	8.92	2.83	0.55	0.02			60.11	78.96
1B	12	МАС.%%	51.19	0.61	12.31	2.22	0.11	8.13	0.19	11.73	9.02	1.55	0.54	0.00	2.01	0.07		
		АТ.%%	48.44	0.43	13.71	1.58	0.08	6.42	0.15	16.55	9.14	0.85	0.65	0.00			62.15	78.70
1M	9	МАС.%%	51.50	0.63	12.52	2.04	0.12	8.27	0.17	11.03	9.03	1.75	0.54	0.02	2.38	0.09		
		АТ.%%	48.75	0.45	13.97	1.45	0.08	6.55	0.14	15.54	9.14	3.22	0.67	0.02			62.72	78.26
2	30	МАС.%%	51.47	0.60	12.46	2.02	0.12	8.40	0.18	11.80	9.12	1.73	0.49	0.04	1.67	0.10		
		АТ.%%	48.22	0.42	13.77	1.42	0.04	6.57	0.14	16.47	9.16	3.13	0.59	0.03			61.99	78.46
2M	15	МАС.%%	51.51	0.62	12.38	2.18	0.13	8.27	0.19	12.34	8.94	1.63	0.49	0.00	1.75	0.10		
		АТ.%%	48.19	0.43	13.63	1.45	0.08	6.45	0.15	17.19	8.96	2.94	0.60	0.00			61.82	79.01
3	40	МАС.%%	51.02	0.60	12.15	2.41	0.12	8.18	0.18	12.12	9.11	1.67	0.43	0.02	1.93	0.07		
		АТ.%%	48.02	0.43	13.48	1.70	0.05	6.46	0.14	16.98	9.21	3.04	0.51	0.02			61.50	78.48
3M	5	МАС.%%	50.44	0.62	11.99	2.11	0.13	8.27	0.16	12.02	9.10	1.69	0.46	0.04	2.44	0.04		
		АТ.%%	47.88	0.44	13.42	1.52	0.10	6.56	0.13	17.02	9.46	3.10	0.56	0.03			61.30	78.32
3<->4	12	МАС.%%	49.81	0.60	11.60	2.44	0.20	8.18	0.19	13.82	8.95	1.51	0.32	0.01	2.39	0.02		
		АТ.%%	46.82	0.42	12.85	1.73	0.15	6.43	0.15	19.31	9.01	2.77	0.39	0.01			59.67	78.98

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	18	MAC.%%	50.58	0.62	12.15	2.21	0.12	8.24	0.18	11.65	9.02	1.64	0.49	0.02	2.76	0.03	
		AT.%%	48.17	0.44	13.64	1.56	0.09	6.57	0.14	16.59	9.18	3.03	0.59	0.02			61.81 78.40
4M	7	MAC.%%	49.73	0.59	12.07	1.88	0.11	8.59	0.15	11.67	9.25	1.71	0.47	0.07	3.17	0.09	
		AT.%%	47.60	0.43	13.61	1.36	0.09	6.87	0.12	16.64	9.47	3.19	0.58	0.06			61.21 77.8
4<->5	3	MAC.%%	49.87	0.61	12.02	1.97	0.15	8.32	0.17	12.06	8.96	1.68	0.57	0.03	3.22	0.03	
		AT.%%	47.60	0.44	13.50	1.40	0.11	6.63	0.14	17.17	9.17	3.10	0.70	0.03			61.10 78.27
5	21	MAC.%%	50.24	0.60	11.89	2.16	0.13	8.17	0.18	12.04	9.04	1.58	0.48	0.03	3.15	0.09	
		AT.%%	47.94	0.43	13.38	1.55	0.09	6.52	0.14	17.17	9.24	2.91	0.59	0.02			61.32 78.49
5M	3	MAC.%%	49.90	0.62	11.70	2.28	0.10	8.42	0.16	11.97	9.29	1.61	0.48	0.05	3.22	0.10	
		AT.%%	47.83	0.45	13.23	1.93	0.07	6.73	0.13	17.07	9.27	3.00	0.59	0.04			61.06 78.13
6	29	MAC.%%	50.29	0.61	12.00	2.10	0.12	8.20	0.16	11.80	8.80	1.68	0.58	0.04	3.25	0.05	
		AT.%%	48.03	0.44	13.53	1.52	0.09	6.55	0.13	16.95	9.02	3.05	0.69	0.02			61.56 78.51
ВСЕГО	221	MAC.%%	50.72	0.60	12.10	2.20	0.13	8.26	0.18	12.11	9.01	1.65	0.48	0.03	2.40	0.07	
		AT.%%	47.96	0.43	13.50	1.56	0.08	6.53	0.14	17.09	9.14	3.01	0.58	0.02			61.46 78.56

* - ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ НАИМЕНОВАНИЯ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ДАНЫ В ТАБЛИЦЕ 12

78,0 до 79,0 ат%. Это говорит о том, что основная доля изменчивости химического состава приходится на взаимные компенсирующие изменения количеств атомов этих трех элементов. В табл. I⁴ представлены химические составы как наименее измененных пород кайнотипного облика так и метаморфизованных. В этой таблице довольно отчетливо видно, что в разрезах потоков сложенных породами кайнотипного облика количество магния увеличивается от кровли потока к подошве, а количество кремния и алюминия уменьшается, таким образом суммарное содержание этих трех элементов достаточно стабильно. А для разрезов, потоков, сложенных апобазальтовыми породами изменение элементов от кровли к подошве обратное, но их суммарное содержание также очень стабильно и близко к таковому для пород кайнотипного облика.

Для того чтобы наиболее четко показать изменение химизма метабазальтов внутри потоков при разной степени метаморфизма составлена табл. I⁵. Хорошо видно, что в разрезах потоков, сложенных мало затронутых метаморфизмом породами вниз по разрезу увеличивается атомное содержание железа и магния, увеличение их содержания имеет очень небольшую амплитуду, но четко прослеживается. Можно связать это изменение химизма с процессом оседания интрателлурических вкрапленников оливина в нижние части потоков. При этом в нижних частях потоков увеличивается количество окисной формы железа, а также количество летучих (п.п.п.). Это обстоятельство хорошо согласуется с теоретическими посылками образования зональных потоков, высказанными выше. В разрезах сложенных апобазальтовыми породами изменения химизма имеют в основном обратные тенденции. Вероятно, изохимичность метаморфизма определялась перераспределением элементов внутри потока. Для того чтобы выяснить в чем заключалось это перераспределение составлена табл. I⁶. Из табл. I⁶ хорошо видно, что для пород афанитовой части зоны массивных лав характерно уменьшение содержания кремния, алюминия и щелочей по мере

СРЕДНИЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОД РАЗНЫХ ЗОН ПОТОКОВ, ЗАТРОНУТЫХ И НЕЗАТРОНУТЫХ МЕТАМОРФИЗМОМ

РАЗНО- ВИД- НОСТЬ*	КОЛИ- ЧЕСТ- ВО	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.П.П.	SO ₃	Si+Al	Si+ Al+ Mg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

РАЗРЕЗЫ ПОТОКОВ, СЛОЖЕННЫЕ НАИБОЛЕЕ СВЕЖИМИ ПОРОДАМИ

2*	30	МАС.%%	51.47	0.60	12.46	2.02	0.12	8.40	0.18	11.80	9.12	1.73	0.49	0.04	1.67	0.10		
⟨АФАНИТОВЫЕ			АТ.%%	48.22	0.42	13.77	1.42	0.04	6.57	0.14	16.47	9.16	3.13	0.59	0.03		61.99	78.46
ПОРоды ЗОНЫ																		
МАССИВНЫХ ЛАВ)⟨																		
1Б	12	МАС.%%	51.19	0.61	12.31	2.22	0.11	8.13	0.19	11.73	9.02	1.55	0.54	0.00	2.01	0.07		
⟨РАСКРИСТАЛ-			АТ.%%	48.44	0.43	13.71	1.58	0.08	6.42	0.15	16.55	9.14	2.85	0.65	0.00		62.15	78.70
ЛИЗОВАННЫЕ ПОРОДЫ																		
ЗОНЫ МАССИВН. ЛАВ)⟨																		
3	40	МАС.%%	51.02	0.60	12.15	2.41	0.12	8.18	0.18	12.12	9.11	1.67	0.43	0.02	1.93	0.07		
⟨АФАНИТОВЫЕ			АТ.%%	48.02	0.43	13.48	1.70	0.05	6.46	0.14	16.98	9.21	3.04	0.51	0.02		61.68	78.66
ПОРоды ЗОНЫ																		
ШАРОВЫХ ЛАВ)⟨																		
2+1Б+3	82	МАС.%%	51.21	0.60	12.29	2.24	0.12	8.25	0.18	11.95	9.10	1.67	0.47	0.02	1.85			
⟨В ЦЕЛОМ ПО			АТ.%%	48.15	0.43	13.62	1.58	0.05	6.49	0.14	16.73	9.10	3.05	0.56	0.02		61.77	78.50
СВЕЖИМ ПОРОДАМ)⟨																		

СМ. ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ 14 НА СЛ. СТРАНИЦЕ

РАЗНО-ВИД-НОСТЬ*	КОЛИ-ЧЕСТ-ВО	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.П.П.	SO ₃	Si+Al	Si+Al+Mg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

РАЗРЕЗЫ ПОТОКОВ , СЛОЖЕННЫЕ ПОРОДАМИ КАЙНОТИПНОГО ОБЛИКА

2+2М*	45	МАС.%%	51.48	0.61	12.43	2.07	0.12	8.36	0.18	11.98	9.06	1.70	0.49	0.03	1.70	0.10		
⟨АФАНИТОВЫЕ ПОРОДЫ ЗОНЫ МАССИВНЫХ ЛАВ⟩		АТ.%%	48.21	0.42	13.72	1.43	0.05	6.53	0.14	16.71	9.09	3.07	0.59	0.02		61.93	78.45	
1А+1Б	29	МАС.%%	50.59	0.59	11.05	2.31	0.15	8.25	0.18	12.74	8.93	1.55	0.49	0.02	2.17	0.06		
⟨РАСКРИСТАЛЛИЗОВАННЫЕ ПОРОДЫ ЗОНЫ МАССИВН. ЛАВ⟩		АТ.%%	47.70	0.42	13.26	1.64	0.10	6.50	0.14	17.90	9.01	2.84	0.59	0.01		60.98	78.86	
3+3М+3	4	57	МАС.%%	50.71	0.60	12.02	2.39	0.14	8.19	0.18	12.47	9.08	1.64	0.41	0.02	2.07	0.06	
⟨АФАНИТОВЫЕ ПОРОДЫ ЗОНЫ ШАРОВЫХ ЛАВ⟩		АТ.%%	47.76	0.43	13.34	1.69	0.08	6.46	0.14	17.47	9.19	2.99	0.49	0.02		61.10	78.48	
2+2М+1А+1Б+	3+3М+3	4	131	МАС.%%	50.95	0.60	12.13	2.26	0.13	8.26	0.18	12.36	9.04	1.64	0.46	0.02	1.96	0.07
⟨В ЦЕЛОМ ПО КАЙНОТИП. ПОРОДАМ⟩		АТ.%%	47.90	0.42	13.45	1.59	0.07	6.49	0.14	17.31	9.12	2.98	0.55	0.02		61.35	78.66	

СМ. ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ 14 НА СЛ. СТРАНИЦЕ

РАЗНО-ВИД-НОСТЬ*	КОЛИ-ЧЕСТ-ВО		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.П.П.	SO ₃	Si+AL	Si+AL+Mg
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
РАЗРЕЗЫ ПОТОКОВ , СЛОЖЕННЫЕ МЕТАМОРФИЗОВАННЫМИ И СИЛЬНО МЕТАМОРФИЗОВАННЫМИ ПОРОДАМИ																		
5+5М*	24	МАС.%%	50.20	0.60	11.87	2.18	0.13	8.20	0.18	12.03	9.07	1.58	0.48	0.03	3.16	0.09		
АФАНИТОВЫЕ ПОРОДЫ ЗОНЫ МАССИВНЫХ ЛАВ)		АТ.%%	47.93	0.43	13.36	1.60	0.09	6.55	0.14	17.16	9.24	2.92	0.59	0.02			61.29	78.45
1М	9	МАС.%%	51.50	0.63	12.52	2.04	0.12	8.27	0.17	11.03	9.03	1.75	0.54	0.02	2.38	0.09		
РАСКРИСТАЛЛИЗОВАННЫЕ ПОРОДЫ ЗОНЫ МАССИВН. ЛАВ)		АТ.%%	48.75	0.45	13.97	1.45	0.08	6.55	0.14	15.54	9.14	3.22	0.67	0.02			62.72	78.26
4+4М+	57	МАС.%%	50.29	0.61	12.06	2.10	0.12	8.27	0.17	11.75	8.93	1.67	0.54	0.04	3.08	0.05		
АФАНИТОВЫЕ ПОРОДЫ ЗОНЫ ШАРОВЫХ ЛАВ)		АТ.%%	48.00	0.44	13.57	1.51	0.09	6.60	0.13	16.81	9.13	3.06	0.65	0.03			61.58	78.39
5+5М+1М+4+4М+	81	МАС.%%	50.26	0.61	12.00	2.12	0.12	8.25	0.17	11.83	8.97	1.65	0.46	0.04	3.11	0.06		
В ЦЕЛОМ ПО МЕТАМОР. ПОРОДАМ)		АТ.%%	47.98	0.44	13.51	1.53	0.09	6.58	0.13	16.91	9.17	3.02	0.63	0.02			61.49	78.40

* - В ТАБЛИЦЕ 14 ПОМЕЩЕНЫ ТОЛЬКО ИНДЕКСЫ РАЗНОВИДНОСТЕЙ МЕТАБАЗАЛЬТОВ , ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ НАИМЕНОВАНИЕ СМ. В ТАБЛИЦЕ 12.

Таблица 15

Изменения химизма в разной степени метаморфизованных metabазальтов от верхних частей потоков к нижним (+ - увеличение атомного содержания элемента от кровли потоков к подошве, - - уменьшение атомного содержания элемента от кровли потоков к подошве)

Разрезы потоков в разной степени метаморфизованных	Э Л Е М Е Н Т Ы									
	Si	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺ ΣFe	Mg	Ca	Na	K	n.n.n.	
Наиболее свежие гиалобазальты и долеритовые базальты	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+
Гиалобазальты и долеритовые базальты, затронутые метаморфизмом	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+
Гиалобазальты и долеритовые базальты, как свежие, так и затронутые метаморфизмом	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+
Апобазальтовые и аподолеритовые породы, не подвергшиеся сильной хлоритизации	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-
Апобазальтовые породы сильно хлоритизированные	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+
Все апобазальтовые породы	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-
В целом	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+

Таблица I6

Изменение химизма в разной степени метаморфизованных метабазальтов разных зон потоков

- (+ - увеличение атомного содержания элемента от свежих пород к метаморфизованным
- - уменьшение атомного содержания элемента от свежих пород к метаморфизованным
- 0 - стабильное содержание как в свежих породах так и в метаморфизованных)

Зоны потоков	Э Л Е М Е Н Т Ы									! п.п.п.	
	! Si	! Al	! Fe ³⁺	! Fe ²⁺	! ε Fe	! Mg	! Ca	! Na	! K		
Зона афанитовых мас-сивных лав	афанитовые метабазаль- ты	-	-	+	+	+	+	+	-	0	+
	раскристал- лизованные метабазаль- ты	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+
Зона ша- ро-вых лав	афанитовые метабазаль- ты	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+
Целом по всем нам потоков		+	+	-	+	+	-	+	+	+	+

усиления метаморфических изменений, а для пород зоны шаровых лав и для раскристаллизованных пород зоны массивных лав характерна обратная тенденция. По-видимому, можно говорить о выносе этих компонентов из наиболее трещиноватых стекловатых пород прикровлевой части потока и накоплении их в более монолитных срединных и приподожвенных частях. Рассматриваемые изменения химизма в целом очень невелики, поэтому с полным основанием можно говорить об изохимичности метаморфизма в пределах потоков/ 38, 34/.

Изменения метабазальтов при метаморфизме хорошо видны на рис. 40 и в частности отчетливо заметна тенденция изменения химизма пород. В метаморфизованных породах возрастают атомные содержания кремния, алюминия, щелочей и уменьшаются содержания железа, кальция и особенно магния. Но основная часть метаморфизованных пород не очень сильно отличается от пород кайнотипного облика.

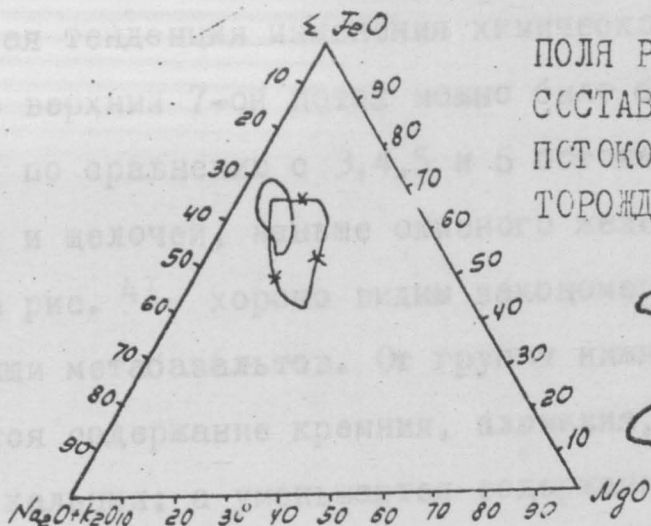
Рассмотрим далее химический состав отдельных потоков. Средние химические составы метабазальтов разных потоков даны в табл. I7. При сравнении средних химических составов пород, слагающих отдельные потоки (в ат.%) выделяются 2 группы пород: в первую группу попадают породы, слагающие потоки I и 2; во вторую группу породы, слагающие потоки 3, 4, 5, 6 и 7. Эти группы характеризуются отчетливо разным химизмом. Это обстоятельство хорошо видно и на рис. 41. Породы из группы нижних потоков имеют более основной состав по сравнению с верхними, что особенно хорошо видно, если пересчитать анализы на атомные %. Для них также характерно меньшее содержание алюминия и щелочей и большее магния и окисного железа. В то же время суммарное количество кремния, алюминия и магния, также как и для верхних потоков, в основном, также стабильно, в сумме 73-79 ат.%. По нашему мнению, это может свидетельствовать о существовании единого очага. Вероятно, мы имеем дело с разными фазами развития одного и того же магматического очага, и изменение химизма разных групп потоков вполне объяснимо механизмом кристаллизованной дифференциации.

ТАБЛИЦА 17

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОТОКОВ МЕТАБАЗАЛЬТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
МЯНДУХА

ПОТОКИ ЦЕМЕНТЫ	1	2	3	4	5	6	7
МАССОВЫЕ %							
SiO ₂	49.41	48.63	50.78	51.07	51.23	51.01	50.21
TiO ₂	0.59	0.55	0.57	0.62	0.61	0.62	0.63
Al ₂ O ₃	11.24	11.00	12.24	12.27	12.14	12.30	12.69
Fe ₂ O ₃	2.43	2.58	1.92	2.19	2.20	2.16	1.73
Cr ₂ O ₃	0.19	0.23	0.12	0.10	0.10	0.12	0.10
FeO	8.43	8.40	8.57	8.16	8.09	8.17	8.64
MnO	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.18	0.15
MgO	13.37	15.62	11.85	11.68	11.80	11.70	10.12
CaO	9.23	8.96	8.81	9.02	9.05	8.99	9.12
Na ₂ O	1.50	1.50	1.73	1.65	1.63	1.60	1.94
K ₂ O	0.36	0.27	0.57	0.49	0.50	0.48	0.73
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.06	0.00	0.01	0.01	0.07
П.П.П.	2.88	2.48	2.14	2.32	2.40	2.55	2.50
SO ₃	0.04	0.05	0.05	0.05	0.09	0.07	0.03
АТОМНЫЕ %							
SiO ₂	46.88	45.64	48.11	48.32	48.43	48.45	48.47
TiO ₂	0.42	0.39	0.40	0.44	0.43	0.43	0.47
Al ₂ O ₃	12.56	12.18	13.64	13.69	13.62	13.74	14.29
Fe ₂ O ₃	1.73	1.84	1.36	1.57	1.59	1.50	1.23
Cr ₂ O ₃	0.14	0.14	0.06	0.09	0.07	0.07	0.08
FeO	6.67	6.59	6.63	6.52	6.38	6.48	6.91
MnO	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12
MgO	18.88	20.94	16.74	16.46	16.69	16.55	14.43
CaO	9.33	9.00	8.91	9.18	9.15	9.13	9.47
Na ₂ O	2.78	2.74	3.18	3.03	2.98	2.92	3.60
K ₂ O	0.48	0.32	0.69	0.59	0.59	0.58	0.89
Si+Al	59.44	57.82	61.65	62.01	62.03	62.19	62.76
ΣFe	8.40	8.43	7.99	8.09	7.97	7.98	8.14
ΣFe+Mg	27.28	29.37	24.73	24.55	24.66	24.53	22.57
Na+K	3.26	3.06	3.87	3.61	3.57	3.50	4.49
Al+Mg	78.32	78.76	78.39	78.47	78.74	78.74	77.19
Al+Mg	31.44	33.12	30.38	30.14	30.31	30.29	28.72
Si+Mg	65.76	66.58	64.84	64.78	65.12	65.00	62.90

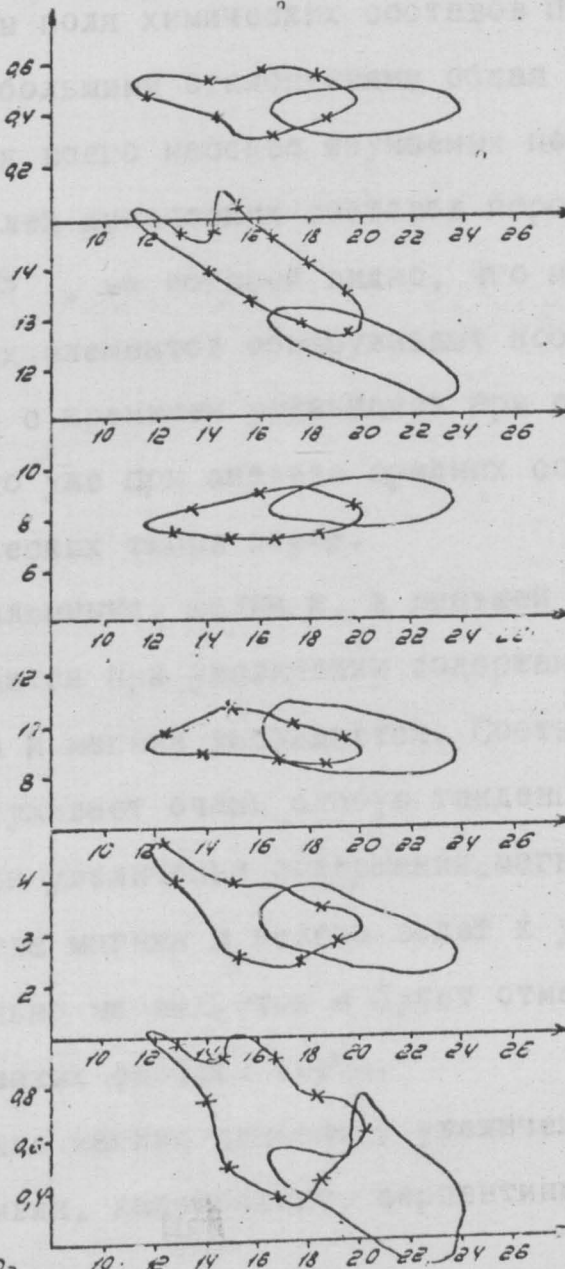
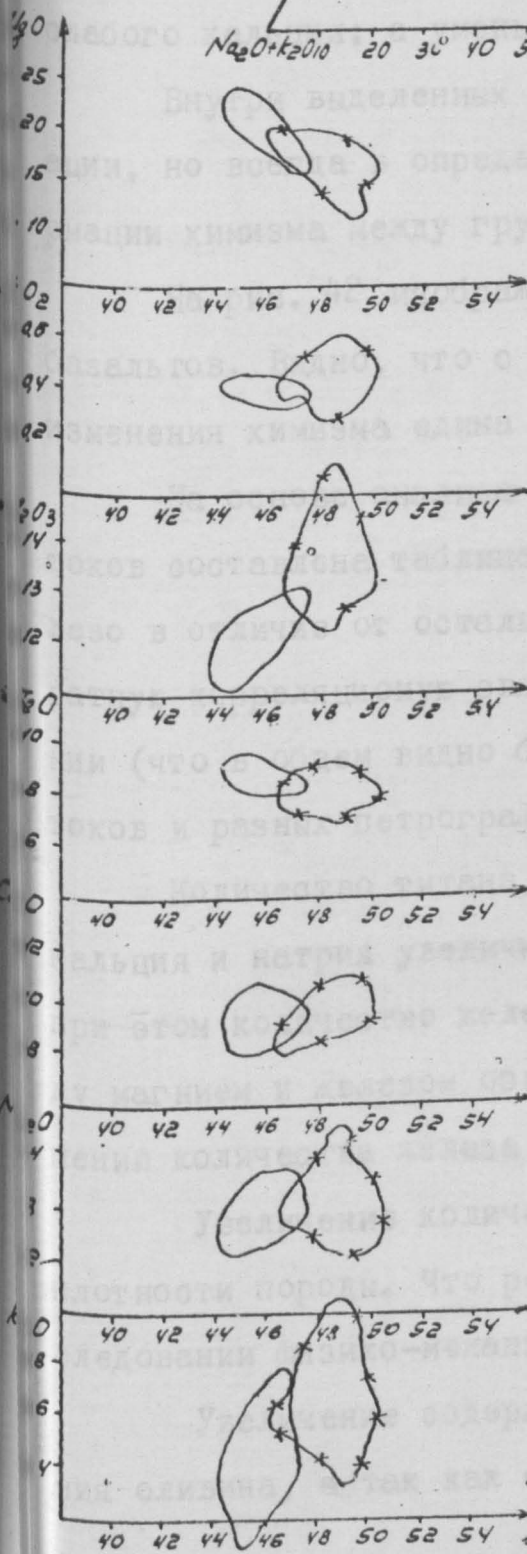
ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ТОЧЕК ХИМИЧЕСКИХ
СОСТАВОВ БАЗАЛЬТОВ ДВУХ ГРУПП
ПСТОКОВ (верхних и нижних) МЕС-
ТОРОЖДЕНИЯ МЯНДУХА



I и 2 потоки

3 - 7 потоки

ат.%%



SiO₂
ат.%%
Рис. 41

MgO ат.%%

Общая тенденция изменения химического состава гомодромная. Возможно верхний 7-ой поток можно было бы выделить в третью группу, т.к. по сравнению с 3,4,5 и 6 потоками он содержит больше алюминия и щелочей, меньше окисного железа и магния.

На рис. 41 хорошо видны закономерности изменения химизма всей толщи metabазальтов. От группы нижних потоков к верхним увеличивается содержание кремния, алюминия, щелочей, особенно калия, слабого кальция; а уменьшаются содержания магния и слабо железа.

Внутри выделенных групп потоков могут быть и обратные вариации, но всегда в определенных пределах, гораздо меньших, чем вариации химизма между группами потоков.

На рис. 42 изображены поля химических составов потоков metabазальтов. Видно, что с небольшими отклонениями общая тенденция изменения химизма едина для всего массива изучаемых пород.

На основе анализа полей химических составов пород разных потоков составлена таблица 18, из которой видно, что магний и железо в отличие от остальных элементов обнаруживают постоянную обратную корреляционную связь с кремнием уменьшаясь при его увеличении (что в общем видно было уже при анализе средних составов потоков и разных петрографических типов пород).

Количество титана, алюминия, калия и, в меньшей степени, кальция и натрия увеличиваются при увеличении содержания кремния, при этом количество железа и магния уменьшается. Соотношение между магнием и железом обнаруживает очень слабую тенденцию к повышению количества железа при увеличении содержания магния.

Увеличение количества магния и железа ведет к увеличению плотности породы. Что реально наблюдается и будет отмечено при исследовании физико-механических свойств пород.

Увеличение содержания магния связано с увеличением содержания оливина, а так как оливин, как правило, серпентинизирован, то

Зависимости содержаний породообразующих окислов (в атомных количествах)
от содержания кремния и магния

Поток	Отношение элементов к SiO_2 (при увеличении его значений)							Отношение элементов к MgO (при увеличении его значений)					
	TiO_2	Al_2O_3	ΣFeO	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	Al_2O_3	ΣFeO	CaO	Na_2O	K_2O
1-ый поток	+	+	-	+	0	0	-	-	-	+	-	0	0
2-ой поток	0	+	-	+	+	+	-	0	-	+	-	-	-
3-ий поток	0	+	шаровые лавы - и 0 массивные базальты -	+	+	+	-	0	-	шаровые лавы 0 и + массивные базальты +	-	-	-
4-ый поток	0	+	-	+	+	0	-	0	-	+	-	-	-
5-ый поток	-	шаровые лавы - массивн. базальты +	-	+	0	в шаровых лавах - меньшие знач. в массивн. -большие	шаровые лавы -0 массивн. базальты -	0	-	-	-	0	в шаровых лавах -меньшие значения, в массивных -большие
6-ой поток	-	0	0	+	0	0	-	0	-	0	-	0	0
7-ой поток	+	+	-	0	шаровые лавы - + массивн. базальты - общее -	+	-	-	-	+	0	-	-

+ - увеличивается содержание

-- уменьшается содержание

0 - нет зависимости

соответственно увеличивается количество микротрещин, образующихся при его изменении в серпентин. При этом, естественно, прочность пород уменьшается. Следует подчеркнуть, что прочность пород зависит также от характера текстурно-структурных особенностей пород, которые в свою очередь определяются положением породы в той или иной зоне вулканического тела.

Итак, при петрографическом и петрохимическом изучении месторождения автором выявлены следующие особенности:

1. На месторождении развиты породы как кайнотипного, так и палеотипного облика. Среди пород кайнотипного облика выделяются долеритовые базальты и гиалобазальты. Гиалобазальты в свою очередь более подробно подразделяются по характеру вкрапленников на разновидности с футляровидными кристаллами пироксена и с игольчатыми кристаллами пироксена. В результате метаморфического изменения двух вышеназванных разновидностей гиалобазальтов образуются породы с мозаичной структурой и со спутанно-волокнутой структурой.

2. Гиалобазальты и их измененные разновидности приурочены к определенным частям лавового потока. Гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена слагают верхи потока - стекловатую часть зоны массивных лав, а гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена характерны для низов потока - для шаровых лав. Выделена также разновидность тонкозернистых брекчированных апобазальтовых пород, соответствующих межшаровым выполнениям, которая встречается тоже только в нижних частях потоков.

3. Выявлен особый тип метаморфического изменения стекла в тонкозернистую апобазальтовую породу спутанно-волокнутой структуры. Стекло распадается на две фазы - обогащенную щелочами и алюминием и обедненную этими элементами. Развитие этих фаз происходит унаследованно: гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена, пронизывающими всю толщу породы, превращаются в породы с игольчатыми кристаллами амфибола. Следовательно в апобазальтовых породах

сохраняется первичное волокнистое строение. При метаморфизме одни волокна превращаются в амфибол - альбитовый агрегат, другие - в тонкоспутанно-волокнистый войлок амфибола нефритоподобной структуры.

4. Выделено 7 последовательных потоков. Каждый из которых характеризуется определенными петрографическими характеристиками.

5. Изменение химического состава пород определяется кристаллизационной дифференциацией, главным образом, оседанием кристаллов оливина в магматическом очаге и излиянием порций лав с различным их количеством/ 2,76/.

6. На основании данных о химизме лав, выявлены два цикла магматической деятельности. Потоки четко разделяются по химизму на 2 группы: 1) потоки 1 и 2, 2) потоки 3,4,5,6,7. Группа нижних потоков имеет более основной состав, содержит меньше алюминия и щелочей. Группа 1 обогащена магнием и окисным железом по сравнению с группой верхних потоков. Общая направленность химической эволюции гомодромная, осуществляющаяся скачкообразно-поступательно с хорошо видными общими корреляционными связями. Внутри потоков, составляющих один цикл, наблюдаются иногда отклонения от гомодромной направленности, но эти вариации гораздо слабее, чем вариации между группами потоков.

7. Изменения химического состава пород при метаморфизме очень незначительны - в пределах 1-2%. В пределах потоков при метаморфизме отдельные зоны обедняются кремнием, алюминием, щелочами, другие обогащаются этими компонентами. Поэтому метаморфизм пород можно считать изохимическим.

ГЛАВА IV

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАБАЗАЛЬТОВ

МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЯНДУХА

Месторождения изверженных и метаморфических пород для строительного камня могут быть представлены как отдельными геологическими телами, так и произвольно выбранной частью большого массива однотипных пород. К месторождениям строительного камня применяется принцип петрографической однородности, т.к. полезное ископаемое представлено породой одного наименования, а следовательно должно быть однородным по своим потребительским свойствам. Однако в действительности мы обнаруживаем достаточно большую неоднородность состава и свойств породы, которые влияют на технологические свойства полезного ископаемого.

Физико-механические свойства породы, т.е. конкретные значения прочности, водопоглощения, пористости, модуля Юнга и т.д./I/, в общем довольно хорошо определяются принадлежностью к данному петрографическому типу полезного ископаемого. Они отражают многие факторы: принадлежность к той или иной фации или части вулканического потока, разное содержание одного и того же минерала, наличие микротрещин, силу сцепления отдельных зерен между собой и т.д.

Поэтому петрографическая неоднородность породы приводит к тому, что отдельные участки массива (по своему петрографическому наименованию единого) по разному реагируют на статические и динамические нагрузки (как в массиве - при образовании макро и микротрещиноватости, так и при испытании отдельных образцов из этих участков в лабораторных условиях. Этим, а не ошибкой опыта, как считают, в некоторых случаях, обусловлен довольно большой разброс значений отдельных физико-механических свойств, будь то прочность на сжатие или растяжение, упругие свойства и др./4,66/

Поэтому автором рассматриваются статистические данные, образованные значениями измерений отдельных образцов, а не проб. Изменчивость свойств образцов называется изменчивостью породы (Лопатников М. И., Золотых Е. Б., 1984г.) / 53/.

Для изучения месторождения как объекта разработки и переработки сырья важна еще другая изменчивость, которая названа /62/ горно-технологической неоднородностью (М. Л. Нисневич, 1978г.). Для определения этого вида изменчивости составляется статистика из средних значений физико-механических свойств пород, характеризующих отрезки опробования, соответствующие высоте добычного уступа. В таких случаях петрографическая неоднородность не учитывается

Таким образом, изменчивость породы дает возможность сравнивать разные месторождения и отдельные участки одного месторождения, а горно-технологическая неоднородность - служебная характеристика при разработке данного месторождения как единого целого.

Автором во время полевых маршрутов по месторождению Мяндуха собрано более 130 образцов-монолитов для физико-механических испытаний. В лабораториях Икшинского опытно-промышленного предприятия института "ВНИПИИстромсырье" и на кафедре инженерной геологии в МГУ было сделано свыше 300 определений плотности метабазальтов месторождения Мяндуха, свыше 50 определений водопоглощения, свыше 250 определений скорости распространения продольных волн в сухом состоянии, и 140 определений - в водонасыщенном состоянии. Прочность на сжатие была определена в тех же лабораториях на 108 образцах в сухом состоянии и на 126 образцах - в водонасыщенном. Прочность на растяжение была определена на 44 образцах в сухом состоянии и на 27 образцах в водонасыщенном, было произведено 16 измерений модуля упругости стати-

ческого и I_6 - коэффициента Пуассона, а также 100 измерений магнитной восприимчивости.

При работе над данной главой автором использованы материалы предварительной и детальной разведок месторождения. Определение физико-механических свойств производилось в трех лабораториях - лаборатории ПГО "Севзалгеология", лаборатории Икшинского опытно-промышленного предприятия института "ВНИПИИстромсырье" и лаборатории Ереванской опытно-методической экспедиции. Было сделано свыше 500 определений прочности на сжатие в сухом состоянии, столько же в водонасыщенном, свыше 1000 определений плотности, первые сотни определений прочности на растяжение, твердости, солеустойчивости модуля упругости и т.п.

Таким образом в этой главе обобщен очень большой статистический материал результатов опробования месторождения, полученный в четырех лабораториях в разные годы. Во всех лабораториях были подтверждены исключительно высокие прочностные характеристики пород месторождения.

Наиболее информативной физико-механической характеристикой можно считать хрупкую прочность породы, которую можно испытать разными способами /16, 35, 36, 51/. Для технологических целей наиболее удобен предел прочности при одноосном сжатии в водонасыщенном состоянии (в дальнейшем - прочность на сжатие). Для месторождений рассматриваемого вида сырья (строительные материалы) эта характеристика является универсальной. Она используется при расчете откосов карьера, при расчете параметров буровзрывных работ при добыче, при расчете режимов дробления и выборе оборудования для перерабатывающего предприятия. А также является важнейшим параметром определения качества продукции предприятия (щебня). На основании этих данных, производится отнесение разновидностей пород и место-

рождения в целом к тому или иному технологическому сорту или типу. Изменчивость других физико-механических свойств пород гораздо слабее влияет на технологическое качество породы и следовательно месторождения в целом.

Месторождение Мяндуха по прочностным характеристикам пород занимает особое положение среди других месторождений строительного камня (см. табл. I9).

Как видим из табл. I9 месторождение Мяндуха имеет наибольшую среднюю прочность, наибольшее среднеквадратичное отклонение и размах значений.

Автором просмотрен материал еще по нескольким десяткам месторождений. Сравнительный материал позволяет утверждать, что если средняя прочность на некоторых месторождениях выше, чем средняя прочность метабазальтов Мяндухи, то среднеквадратичное отклонение у метабазальтов этого месторождения превзойти не удастся.

По данным В. М. Ладыгина / 47, 48, 49, 51 /, изучавшего базальты Армении, Камчатки и Сибири для решения некоторых задач инженерной геологии, прочность базальтов зависит как от микроструктурных разновидностей так и от характера пористости.

Наиболее прочными являются базальты пойкилофитовой структуры, затем идут породы с интерсертальной структурой и наименее прочные гиалопилитовые базальты. По размеру зерен можно выделить ряд пород по уменьшению прочности: мелкозернистые----> среднезернистые----> крупнозернистые----> скрытокристаллические.

Кроме структуры на прочность породы влияет минеральный состав породы. В частности основность плагиоклаза, чем выше номер плагиоклаза, тем прочнее порода. Но все эти наблюдения сделаны над породами, во-первых, более молодыми, во-вторых, имеющими весьма большой разброс данных по пористости от 2% до 30%. Мы не

Таблица

Изменчивость некоторых месторождений строительного
камня по прочности пород

Месторождение	Породы	Прочность пород, в водонасыщенном состоянии на сжатие, МПа			Показатели изменчивости		
		наименьшая	наибольшая	средняя	размах, МПа	Средне-квадратичное отклонение, МПа	Коэффициент вариации, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Петровское	гранито-гнейсы и граниты	68,0	250,0	172,4	182,0	28,8	17
Мало-Кахновское	граниты, мигматизированные граниты, гнейсы	80,0	205,2	118,7	125,2	20,2	17
Кузнечное	гранитогнейсы	42,0	300,0	185,2	258,0	31,8	17
Лозовское	габродиабазы и диабазы	76,5	163,0	95,6	86,5	16,3	17
Микашевичи	диориты, гранодиориты и граниты	129,0	264,4	196,0	135,4	36,5	19
Токовское	граниты, амфиболиты	73,3	269,7	169,9	196,4	34,0	20
Арбатское	кварцевые диориты	76,7	180,8	134,7	104,1	27,7	21
Зубринское	граниты	90,0	330,0	213,9	240,0	44,1	21
Полумянское	то же	14,3	150,0	87,2	135,7	19,2	22
Шархинское	грано-диорит-порфиры	26,0	245,4	126,1	219,4	27,9	22
Жастарское	туфобрекчии и альбитофиры	84,8	271,8	188,0	187,0	42,1	22
Вишневатское	граниты	116,1	211,8	160,4	95,7	37,4	23
Галярен	то же	37,7	230,0	152,3	192,3	34,9	23
Анадольское	граниты, диориты	44,3	265,0	142,6	220,7	36,8	26
Кзыл-Адыр	то же	47,0	194,3	121,8	147,3	34,0	28
Койтасское	гранит-порфиры	87,6	388,2	233,2	300,6	64,8	28

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5	6	7	8
Горишне-Плавнинское (массив плагиогранитов)	плагиограниты	209,0	141,0	86,6	120,1	26,3	31
Шкурлатовское	граниты	112,8	403,1	198,3	290,3	62,3	31
Сабовское	мигматиты, граниты, гнейсы	26,7	184,0	88,7	157,3	28,8	32
Горишне-Плавнинское (массив кварцитов)	кварциты	34,0	199,0	118,1	165,0	42,0	36
Ташлыкольское	андезитовые порфириты	12,3	215,6	100,3	202,3	36,6	36
Витавское	мигматиты	10,0	270,0	128,5	260,0	46,2	36
Горишне-Плавнинское (массив амфиболитов)	амфиболиты	19,7	189,9	79,8	170,2	31,7	40
Мяндуха	метабазальты	41,6	587,0	256,2	545,4	105,3	41
Еристовское (массив плагиогранитов)	плагиограниты	19,6	233,0	84,9	213,4	36,4	43
Драгунское	мигматиты, граниты, гнейсы, монцониты	36,5	193,0	83,4	156,5	33,8	45
Горишне-Плавнинское (массив кристаллических сланцев К ₂)	кристаллические сланцы	10,0	130,0	59,5	120,0	28,5	48
Горишне-Плавнинское (массив кристаллических сланцев толщи К ₂)	то же	11,9	189,9	65,1	178,0	33,2	51
Еристовское (массив мигматитов)	мигматиты	11,2	189,4	61,8	177,2	35,7	58

исключаем возможности сопоставления петрографических особенностей базальтов и метабазальтов Мяндухи, но полное перенесение данных по другим месторождениям на породы Мяндухи неправомерно. Прежде

Всего следует отметить весьма низкую пористость базальтов Мяндухи (доли процента, см. табл. 27,28), что безусловно способствует увеличению прочности. Колебания этого показателя объясняются целиком петрографическими особенностями пород, рассмотренными в предыдущей главе/68/.

Из табл. 20 / 47,50 / В.М.) видно, что пироксены, особенно диопсид имеют высокие показатели упругих свойств, также высоки они у оливина и магнетита, у основного стекла они ниже, но выше, чем у плагиоклазов и других минералов. Также достаточно высокие показатели имеют амфиболы. А как было показано, именно из этих минералов и состоят metabазальты Мяндухи. Породообразующие минералы слабоизмененных пород: оливин, пироксен, альпюклас, основное стекло. Метаморфические минералы: серпентин, амфибол, хлорит. По видимому, именно от соотношения всех этих минералов в разных микроструктурных разновидностях, выделенных нами и зависят физико-механические свойства пород.

По Д. Чарльзу (/ 79/) прочность альбита на сжатие составляет 176,0 МПа, сподумена - 270,0 МПа, роговой обманки - 220,0 МПа, кварца - 267,0 МПа. А так как одними из главных минералов metabазальтов Мяндухи являются пироксены и амфиболы, то вероятно их количество в том или ином образце и определяет его прочность. Кроме того, мы имеем дело с тонкозернистой породой, а не монолитным кристаллом, за счет структурных особенностей мы можем получить и более высокие цифры прочности. Хотя средняя прочность по месторождению (256 МПа) близка к среднему между прочностью сподумена и роговой обманки по Д. Чарльзу.

Для характеристики физико-механических свойств пород месторождения как уже указано привлечены данные разведочного опробования, а также данные собственных исследований автора.

Физико-механические свойства породообразующих
минералов

Минералы		(плотность) г/см ³	км/сек	км/сек	км/сек	кг/см ²
Плагиоклазы	альбит №9	2,61-2,69	6,06	3,35	0,28	7,49
	олигоклаз №24	2,65	6,24	3,39	0,29	7,85
	"- №29	-	6,26	3,45	0,28	8,08
	андезит	2,64-2,69	-	-	-	-
	лабрадор №53	2,68-2,72	6,55	3,51	0,29	8,70
	"- №56	-	6,61	3,56	0,29	8,88
	битовнит	2,72-2,75	-	-	-	-
	анорит	2,70-2,76	-	-	-	-
Пироксен	диопсид	3,2-3,4	7,80	4,39	0,26	16,03
	авгит	3,2-3,6	7,20	4,17	0,24	14,04
	диаллаг	3,2-3,5	7,01	4,26	0,21	14,5
	гиперстен	3,2-3,5	-	-	-	-
Оливин	4,1-4,4	8,4	5,16	0,24	20,0	
Роговая обманка	3,0-3,4	7,21	3,99	0,28	12,9	
Биотит	2,69-3,16	5,13	2,98	0,25	7,0	
Кислое стекло (обсидиан)	2,342	5,83	3,80	0,13	7,65	
Основное стекло (плавленый базальт)	2,7-2,85	6,53	3,60	0,28	9,30	
Серпентинит	2,5-2,65	5,32	2,77	3,31	5,10	
Магнетит	4,97-5,18	7,40	4,20	2,26	23,08	
Кварц	2,65	6,03	4,11	0,08	9,04	
Хлорит	2,6-3,4	-	-	-	-	
Кальцит	2,71	6,66	3,39	0,28	3,8-9,0	

Для всех потоков были составлены статистические ряды прочностных данных. Результаты статистических расчетов отражены на графиках (рис.43), на которых ясно видна неоднородность по прочности пород

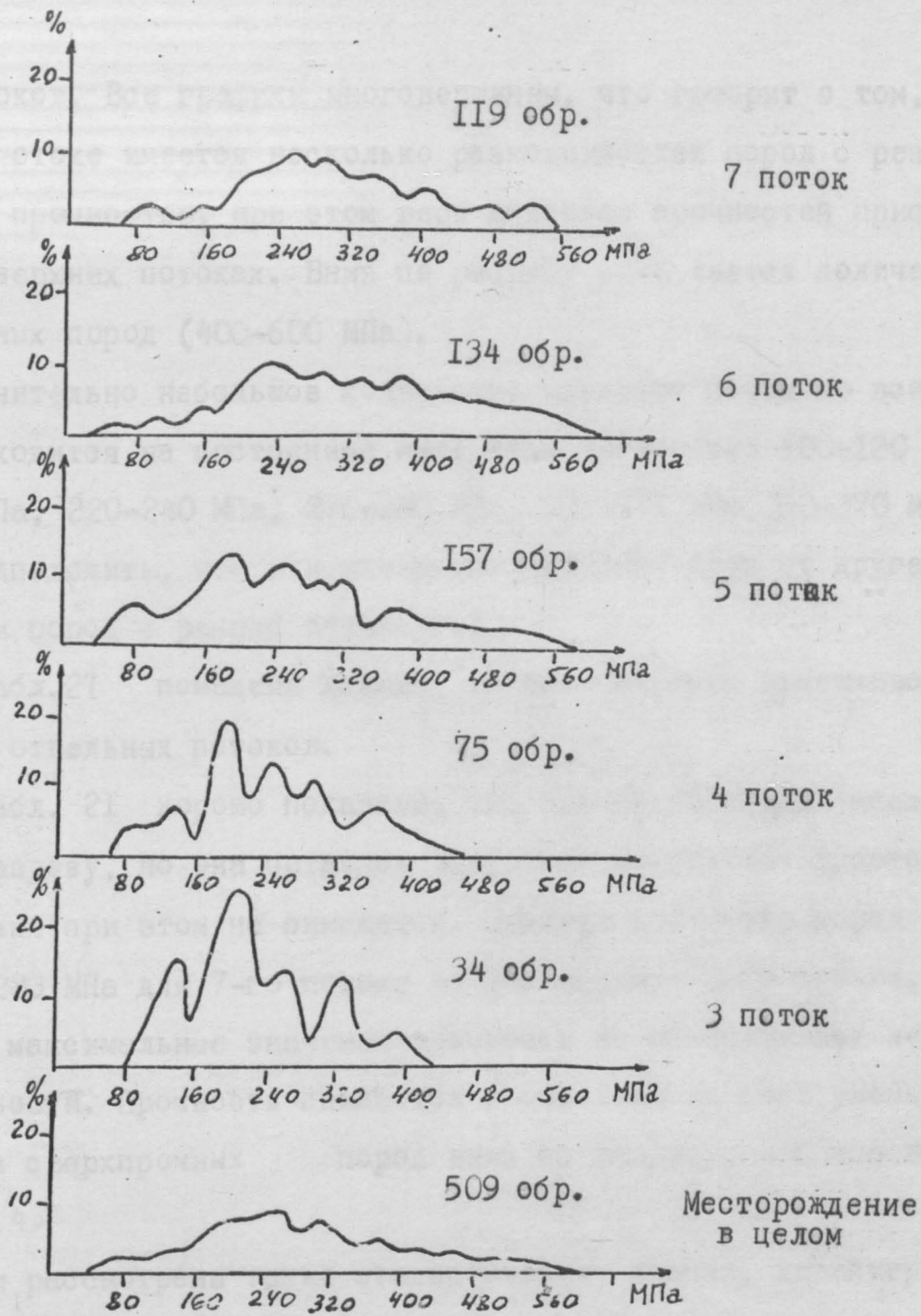


Рис. 43 Частотные кривые прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии образцов пород разных потоков метабазальтов месторождения строительного камня Мяндуха.

всех потоков. Все графики многовершинны, что говорит о том, что в каждом потоке имеется несколько разновидностей пород с резко различной прочностью, при этом весь диапазон прочностей присутствует в верхних потоках. Вниз по разрезу уменьшается количество сверхпрочных пород (400-600 МПа).

Сравнительно небольшое количество образцов почти во всех потоках приходится на постоянные интервалы прочности: 100-120 МПа, 150-170 МПа, 220-240 МПа, 270-280 МПа, 320-340 МПа, 360-370 МПа. Можно предположить, что эти интервалы отделяют друг от друга разновидности пород с разной прочностью.

В табл. 21 помещены данные, характеризующие изменчивость по прочности отдельных потоков.

В табл. 21 хорошо показано, что прочность пород уменьшается вниз по разрезу, но она остается все равно достаточно высокой. Качество камня при этом не снижается. Средняя прочность пород снижается с 283 МПа для 7-го потока до 209 МПа для 3-го потока. Минимальные и максимальные значения прочности не обнаруживают четкой закономерности. Прочность снижается в основном за счет уменьшения количества сверхпрочных пород вниз по разрезу, что хорошо видно на рис. 43

Были рассмотрены также статистические данные, характеризующие разные зоны и подзоны потоков. На рис. 44 представлены графики, отражающие статистические закономерности прочностных свойств этих зон. Видно, что породы с прочностью выше 300 МПа присутствуют в основном в зоне шаровых лав. Частотные кривые также как и для отдельных потоков многовершинны, что безусловно говорит о присутствии в разных зонах потоков пород разной прочности.

В табл. 22 помещены данные, характеризующие прочность образцов из разных зон потоков.

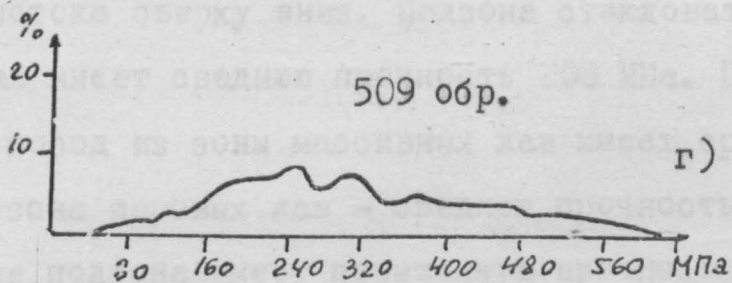
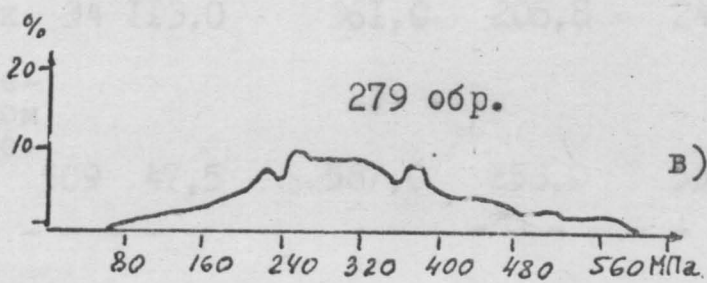
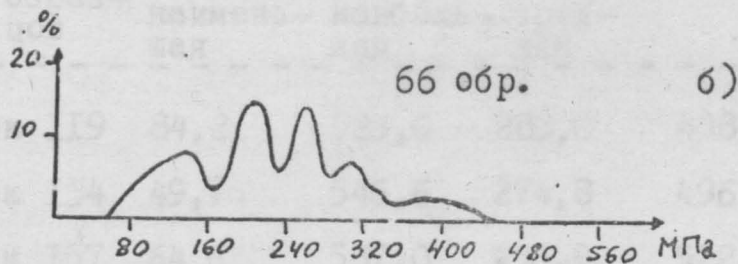
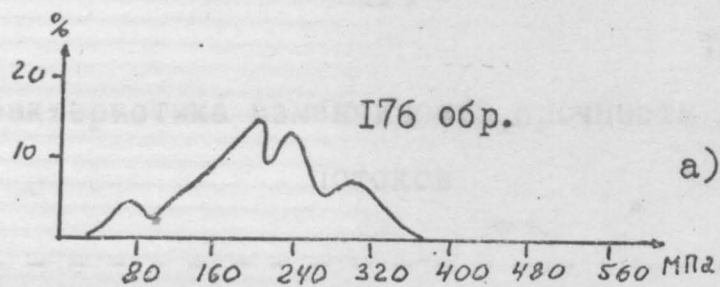


Рис. 44 Частотные кривые прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии образцов пород разных зон потоков метабазальтов месторождения строительного камня Мяндуха

- а) афанитовые метабазальты зоны массивных лав,
- б) раскристаллизованные метабазальты зоны массивных лав,
- в) метабазальты зоны шаровых лав,
- г) в целом по месторождению.

Характеристика изменчивости прочности отдельных
потоков

Потоки сверху вниз	Коли- чест- во образ- цов	Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа			Изменчивость по прочности		
		наимень- шая	наиболь- шая	сред- няя	размах МПа	Среднеквад- ратичное отклонение, МПа	Коэффи- циент вариации, %
7-ой поток	119	84,2	523,0	283,0	438,8	87,7	30,8
6-ой поток	134	49,7	546,6	274,8	496,9	101,5	36,9
5-ой поток	157	64,6	587,0	236,9	522,4	97,5	41,2
4-ый поток	75	47,5	451,7	226,5	404,2	75,5	33,0
3-ий поток	34	113,0	361,0	208,8	248,0	67,7	32,4
Месторожде- ние в целом (3-7-ой по- токи)	509	47,5	587,0	253,0	539,5	94,8	37,8

Как показано в табл. 23 прочность пород увеличивается в разрезе потока сверху вниз. Подзона стекловатых пород из зоны массивных лав имеет среднюю прочность 208 МПа. Подзона раскристаллизованных пород из зоны массивных лав имеет среднюю прочность 220 МПа, зона шаровых лав - среднюю прочностью 290 МПа, причем верхняя ее подзона имеет повышенную прочность (323 МПа).

Для выявления прочностных особенностей отдельных разновидностей было проведено детальное сопоставление петрографических особенностей пород и их петрографических характеристик.

Из каждого образца - монолита, отобранного автором на месторождении, были сделаны шлифы и образцы на физико-механические испытания. Результат этого сопоставления представлен в табл. 23. Наименьшей прочностью обладают измененные долеритовые базальты (172 МПа). Затем идут стекловатые породы кайнотипного облика,

Таблица 22

Характеристика изменчивости прочности разных зон потоков метабазальтов месторождения Мяндуха

Зоны потока	Количество образцов, шт.	Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа			Изменчивость по прочности			
		наименьшая	наибольшая	средняя	размах МПа	средне-квadraticное отклонение, МПа	коэффициент вариации, %	
Зона мас-сивных лав	афанитовые породы	176	47,5	455,4	208,6	407,9	79,4	38,0
	раскристаллизованные породы	66	70,4	439,0	220,6	368,6	84,1	38,0
Зона шаровых лав	верхняя часть	67	156,1	587,0	323,7	430,9	107,2	33,1
	нижняя часть	84	84,2	459,2	279,0	375,0	78,2	28,0
Зона шаровых лав в целом	зона шаровых лав в целом	279	76,3	587,0	290,6	510,7	89,7	30,9
Месторождение в целом		509	47,5	587,0	253,0	539,5	94,8	37,5

причем гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена имеют меньшую прочность (201 МПа), чем гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена (297 МПа). Из пород кайнотипного облика повышенную прочность имеют раскристаллизованные породы. Все вышесказанное хорошо согласуется с общетеоретическими представлениями о прочности стекловатых и раскристаллизованных пород /87/.

В разрезах, сложенных метаморфизованными породами (табл. 23) наблюдается интересная особенность. Раскристаллизованные породы при метаморфизме резко теряют прочность (172 МПа), а стекловатые

Таблица 23

Характеристика физико-механических свойств пород разновидностей метабазальтов верхних трех потоков

	Зона по-тока	Разновидность	Плотность, г/см ³		Прочность при сжа-тии в во-донасыщен-ном состо-янии, МПа		Прочность при растяжении в водонасыщен-ном состоянии МПа		Отноше-ние проч-ности на сжа-тие к прочн. на рас-тяжение
			сред-няя	кол-во обр.	сред-няя	кол-во обр.	сред-няя	кол-во обр.	
Разрезы потоков, сло-женые породами кайно-типаго об-лика	зона мас-сив-ных лав	гиалобазаль-ты с футля-ровидными кристаллами пироксена долеритовые базальты свежие	3,04	14	200,7	7	30,7	I	6,5
	зона шаро-вых лав	гиалоба-зальты с игольчаты-ми кристалла-ми пироксена	3,02	22	227,0	II	30,7	I	7,4
Разрезы потоков, сло-женых породами мета-морфизованными	зона мас-сив-ных лав	апобазальто-вые породы с мозаичной структурой долеритовые базальты измененные	3,02	15	230,3	6	29,3	5	7,9
	зона шаро-вых лав	апобазальто-вые породы со спутан. волоkn. структурой	3,04	3	172,0	I	39,0	I	4,4
В целом	зона мас-сив-ных лав	афанитовые породы	3,03	29	214,4	I3	29,5	6	7,3
	зона мас-сив-ных лав	раскристал-лизованные породы	3,02	23	252,9	9	37,6	4	6,7
	зона шаро-вых лав	шаровые лавы	3,04	225	262,8	83	35,0	16	7,5

прочняются (230 и 267 МПа). Это объясняется тем, что в силу опреде-

ленных химических особенностей стекло девитрифицируется в амфибол-плагиоклазовый агрегат микрозернистого и спутанно-волокнутого строения. Кристаллы, слагающие породы с толеитовой структурой при метаморфизме растрескиваются и микротрещины, как правило, залечиваются слоистыми силикатами. При этом достаточно хорошо объяснимо, что апогиалобазальтовые породы с футляровидными кристаллами пироксена имеют меньшую прочность (230 МПа) чем апогиалобазальтовые породы с игольчатыми кристаллами пироксена (267 МПа), т.к. первые девитрифицируются в породу мозаичной структуры, а вторые в породу спутанно-волокнутой структуры.

При сравнении табл. 22 и табл. 23 (в части общей характеристики зон потоков) обращает на себя внимание несколько повышенная прочность зоны массивных лав для верхних трех потоков (табл. 23) по сравнению с данными по пяти опробованным при разведке потокам (табл. 22). Это хорошо согласуется с общей тенденцией уменьшения прочности вниз по разрезу полезной толщи (табл. 22, рис. 43).

Несколько пониженные данные получены для зоны шаровых лав. Для того, чтобы объяснить это обстоятельство, была составлена табл. 24, где более подробно даны сведения об апобазальтовых породах зоны шаровых лав. В табл. 24 показано, что наименьшей прочностью обладают тонкозернистые брекчированные породы корок шаров (226 МПа), более высокую прочность имеют апобазальтовые породы со спутанно-волокнутой структурой с крупными волокнами (247 МПа) и самую высокую прочность имеет порода со спутанно-волокнутой структурой с тонкими волокнами (342 МПа). Строение последней при больших увеличениях под микроскопом показано на рис. 33 и 34.

Таким образом, можно считать доказанным, что породы разных микроструктурно-текстурных типов месторождения имеют разную прочность.

Физико-механические свойства апобазальтовых пород зоны шаровых лав, трех верхних потоков

Разновидности апобазальтовых хлорит-серпентин-амфиболовых пород со спутанно-волокнистой структурой	Плотность сред-кол-во обр.		Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа сред-кол-во обр.		Прочность на растяжение в водонасыщенном состоянии, МПа сред-кол-во образцов		Отношение прочности на сжатие к прочности на растяжен.
	3,03	34	226,0	16	31,1	5	
Тонкозернистые брекчированные породы корок шаров	3,03	34	226,0	16	31,1	5	7,3
Апобазальтовая порода со спутанно-волокнистой структурой с крупными волокнами	3,04	85	247,5	26	32,0	4	7,7
Апобазальтовая порода со спутанно-волокнистой структурой с тонкими волокнами	3,04	53	341,8	16	45,2	2	7,7
В целом по апобазальтовым породам зоны шаровых лав	3,04	172	267,6	58	34,0	11	7,9

На основании рассмотренных выше данных все результаты по прочности в водонасыщенном состоянии разделены на блоки цифр, относящиеся к определенным микроструктурным типам пород. Это разделение проводилось для каждого потока с учетом положения пробы в теле потока и микроструктуры разновидности. Причем шлиф был взят из образца, который испытывали на физико-механические свойства. Результаты этой операции показаны на рис. 45 и в табл. 25

Из анализа табл. 25 и рис. 45 можно сделать вывод, что структурные разновидности метабазальтов имеют резко различные прочностные характеристики и прочность непосредственно зависит от микро-

Разрезы потоков, сложенные породами кайнотипного облика

Разрезы потоков, сложенные метаморфизованными породами

Разрезы потоков, сложенные метаморфизованными породами

Разрезы потоков, сложенные метаморфизованными породами

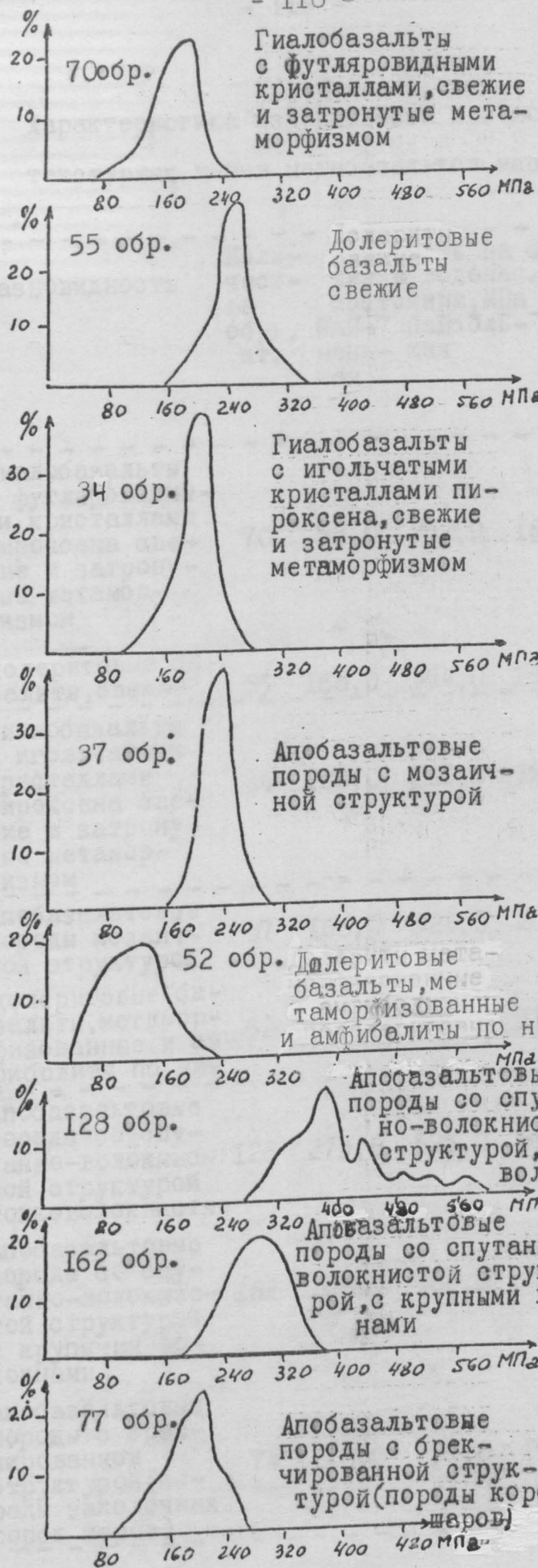


Рис. 45 Частотные кривые прочности в водонасыщенном состоянии различных структурно-текстурных типов метабазальтов месторождения Мяндуха.

Характеристика изменчивости прочности структурно-
текстурных типов metabазальтов месторождения Мяндуха

Типы разреза	Зона потока	Разновидность	Количество обр., шт.	Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа			Изменчивость по прочности		
				Наименьшая	Наибольшая	Средняя	Размах, МПа	Среднее отклонение, МПа	Коэффициент вариации, %
Разрезы потоков сложенных породами кайнотипного облика	Зона массивных лав	гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена свежие и затронутые метаморфизмом	70	55,0	252,0	166,3	197,0	37,2	22,4
		долеритовые базальты, свежие	55	168,0	354,0	255,5	186,0	39,9	15,6
	Зона шаровых лав	гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена свежие и затронутые метаморфизмом	34	128,0	241,9	196,5	113,9	29,4	15,0
		апобазальтовые породы мозаичной структурой	37	166,0	321,0	237,0	155,0	31,3	13,2
	Зона массивных лав	долеритовые базальты, метаморфизованные и амфиболиты по ним	52	47,5	202,1	115,8	154,6	39,3	33,9
		апобазальтовые породы со спутанно-волокнистой структурой тонковолокнистые	128	273,6	595,0	393,9	321,4	63,8	16,2
	Зона шаровых лав	апобазальтовые породы со спутанно-волокнистой структурой с крупными волокнами	162	188,0	363,0	285,1	175,0	37,0	13,0
		апобазальтовые породы с брекчированной структурой (породы заколочных корок шаров)	74	118,0	257,0	191,8	139,0	34,2	17,8

структурно-текстурных особенностей пород. Разные цифры для одних и тех же пород приведенных в таблицах 22 и 23 с одной стороны и в табл. 25 - с другой объяснимы разным объемом статистических совокупностей. На основании таблицы 25 и рис. 45 составлена технологическая классификация (табл. 26) metabазальтов по мере возрастания прочности пород на сжатие.

Исходя из технологической классификации (табл. 26) можно сказать, что metabазальты месторождения Мяндуха четко делятся на три сорта по прочности. 3) слабые породы (плохого качества) - метаморфизованные долериты, и гиалобазальты с футляровидными кристаллами - прочность 100-200 МПа, 2) породы средней прочности (хорошего качества) - прочность 200-300 МПа, все породы месторождения кроме двух вышеназванных и апобазальтовых пород с тонкими волокнами амфибола. 1) высокопрочные породы (весьма трудно перерабатываемые) - апобазальтовые породы спутанно-волокнистой структуры тонковолокнистые - прочность 300-500 МПа.

Наиболее благоприятны для переработки породы второго сорта.

Из пород третьего сорта можно получить только щебень низкого качества. Из пород первого сорта получается весьма прочный щебень. Однако переработка этих пород на щебень вызывает целый ряд трудностей, в частности, связанных с быстрой изнашиваемостью оборудования.

Как мы уже отметили, из пород второго сорта можно получить щебень весьма хорошего качества, однако, в зависимости от колебаний прочности при дроблении будет изменяться выход щебня; а следовательно и производительность предприятия.

Автор диссертации также проанализировал, как в зависимости от петрографических особенностей и положения в потоке меняются другие физико-механические свойства: водопоглощение, пористость, упругие свойства. Оказалось, что их вариации незначительны, хотя имеются и некоторые различия (табл. 27).

Технологическая классификация метабазальтов месторождения
Мяндуха по главному технологическому признаку — прочности
пород

Разновидности	Средняя прочность, МПа	Интервал преимущественных значений прочности, МПа	Технологический сорт
Долеритовые базальты измененные и амфиболиты по ним	115,8	70 - 140 МПа	слабые породы
Гиалобазальты с футляровидными кристаллами пироксена свежие и затронутые метаморфизмом	166,3	120 - 220 МПа	породы средней прочности
Апобазальтовые породы с брекчированной структурой (породы закалочных корок шаров)	191,8	140 - 240 МПа	породы повышенной прочности
Гиалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена свежие и затронутые метаморфизмом	195,6	160 - 240 МПа	породы повышенной прочности
Апобазальтовые породы с мозаичной структурой	237,0	180 - 260 МПа	породы высокой прочности
Долеритовые базальты, свежие	255,5	200 - 300 МПа	породы высокой прочности
Апобазальтовые породы спутанно-волокнистой структуры с крупными волокнами	285,1	240 - 340 МПа	породы очень высокой прочности
Апобазальтовые породы спутанно-волокнистой структуры, тонковолокнистые	393,9	300 - 480 МПа	породы исключительно высокой прочности

(табл. 27)

Рассмотрим эти зависимости более подробно. В целом для пород кайнотипного облика характерны пониженные значения прочности на сжатие, плотности, водопоглощения, скорости прохождения продольных волн, и повышенные значения пористости, прочности на растяжение по сравнению с метаморфизованными породами.

При сопоставлении свойств пород кайнотипного облика и метамор-

Таблица 27

Средние значения физико-механических показателей
выделенных технологических разновидностей, пород
месторождения Мяндуха

Тип раз- ре- за	Зона по- то- ка	Разновидность	Показатели							
			Проч- ность при сжа- тии в в/н сост., МПа	Плот- ность, г/см ³	Водо- пог- лоще- ние, %	Порис- тость, %	Проч- ность при сжа- тии в сух. сост. МПа	Проч- ность при раст. сост., МПа	Проч- ность при раст. сост., МПа	Ско- рость про- хожд. дольн волн км/сек
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Разре- зан- ные по- лодами райно- гоблика	Зона мас- сив- ных лав	гйалобазальты с футляровид- ными кристалла- пироксена	166,3	3,017	0,054	0,46	175,4	44,2	30,7	6,14
		долеритовые базальты свежие	255,5	3,025	0,046	0,53	260,7	41,6	34,3	6,07
	Зона шаро- вых лав	гйалобазальты с игольчатыми кристаллами пироксена	195,6	3,015	0,055	0,42	226,1	36,4	30,7	6,18
Разре- зан- ные поро- дами метер- вщи- ме- тамор- физм	Зона мас- сив- ных лав	апобазальто- вые породы с мозаичной структурой	237,0	3,034	0,040	0,48	272,6	36,4	30,7	6,18
		долеритовые базальты ме- таморфизован- ные	115,8	3,025	0,126	0,39	144,1	-	-	-
	Зона ша- ро- вых лав	апобазальто- вые породы спутанно-во- локнистой структуры, тонковолок- нистые	393,9	3,022	0,057	0,35	361,2	44,2	45,2	6,34
		апобазальто- вые породы с брекчирован- ной структу- рой	191,8	3,019	0,079	0,53	193,1	31,8	18,4	6,26

Продолжение таблицы 27

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Разрезы, сложенные породами, претерпевшими метаморфизм	Зона шаровых лав	апобазальтовые породы спутанно волонистой структуры с крупными волокнами	285,1	3,024	0,066	0,38	282,7	42,9	31,5	6,29
		Итого по зоне шаровых лав в метаморфизованных разрезах	290,3	3,024	0,065	0,40	289,5	39,7	31,7	6,30
В целом по разрезам, сложенным породами кайнотипного облика			205,5	3,019	0,052	0,47	220,7	40,7	31,9	6,13
В целом по разрезам метаморфизованных пород			264,7	3,025	0,074	0,43	270,7	38,9	31,5	6,27
В целом по месторождению			253,0	3,022	0,065	0,44	259,5	39,6	31,6	6,21

физованных, образец которых расположен в одних и тех же зонах, удается выявить некоторые закономерности. Так, например, стекловатые породы зоны массивных лав при метаморфизме увеличивают плотность (3,017 г/см³ - свежие, 3,035 г/см³ - метаморфизованные).

Как показано в предыдущей главе по мере увеличения метаморфизма из пород этой подзоны выносятся кремний и алюминий при этом увеличивается количество магния и железа. Этот процесс, по-видимому, и объясняет увеличение плотности по мере увеличения интенсивности метаморфических преобразований от гиалобазальтов с футлярными кристаллами пироксена к апобазальтовым породам мозаичной структуры. Для стекловатых пород зоны шаровых лав, увеличение плотности практически не наблюдается (3,015 г/см² - свежие породы, 3,024 - метаморфизованные). Для долеритовых базальтов свежих и метаморфизованных плотность одинакова. Проведенный анализ изменений плот-

ности лишней раз доказывает, что плотность и прочность для этих пород не взаимосвязаны.

Водопоглощение четко зависит от степени метаморфизма пород. Во всех зонах потока наблюдается увеличение водопоглощения от разновидностей кайнотипного облика к метаморфизованным породам. Пористость напротив при метаморфизме несколько понижается. Но, повидимому, открытая пористость увеличивается, т.к. увеличивается водопоглощение. С уменьшением общего количества пор, связано увеличение скорости прохождения продольных волн от свежих пород к метаморфизованным.

Общее уменьшение прочности на растяжение метаморфизованных пород по сравнению со свежими наблюдается только в одной разновидности метаморфизованных пород образовавшейся по базальту с брекчированной структурой. Понижение прочности на растяжение для этой породы (31,8 МПа в сухом состоянии и 18,4 в водонасыщенном) хорошо объяснимо ее структурными особенностями / 5,29,75/.

Таким образом, мы видим, что изменения всех физико-механических свойств metabазальтов месторождения Мяндуха находят объяснения в особенностях микроструктурных типов пород и объясняются либо первичными структурными особенностями породы, либо ее преобразованием при метаморфизме.

Как уже было сказано выше вниз по разрезу (от 7-го потока к 3-му) уменьшается общая прочность пород. Следствием этого обстоятельства являются разные технологические свойства пород разных зон разных потоков, что показано в таблице 28 .

Таблица 28 является фактически полным списком технологических разновидностей и может быть использована для прогнозирования свойств горной массы при добыче metabазальтов. Столь подробная характеристика технологических разновидностей может явиться основой для поуступного технологического картирования месторождения,

Физико-механические свойства, выделенных технологических разновидностей пород месторождения Мяндуха в пределах отдельных потоков

ПОКАЗАТЕЛИ

Разно- вид- ности	Пото- ки	Средняя прочн. при сжа- тии в в/н сост.;	Средняя плот- ность, г/см ³ ,	Среднее водо- погло- щение, %	Средняя порис- тость, %	Средняя проч- ность при сжа- тии в сух. сост., МПа	Сред- няя проч- ность при рас- тяж. в сух. сост., МПа	Сред- няя проч- ность при раст. в в/н сост., МПа	Сред- няя проч- ность при про- хож- дения про- долн. волн, км/сек
		МПа							
долеритовые ба- зальты, метамор- физованные и ам- фиболиты	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	7-ой	139,0	3,031	0,096	0,43	146,7	-	-	-
	6-ой	136,3	3,040	0,14	-	154,8	-	-	-
	5-ый	170,1	3,025	0,022	0,48	185,0	-	-	-
	4-ый	105,2	3,020	0,072	0,25	112,8	-	-	-
апоазальтовые породы с брекчированной струк- турой (породы закалоч- ных корок шаров)	3-ий	145,0	3,01	0,3	-	121,0	-	-	-
	7-ой	185,3	3,026	0,017	0,45	185,6	-	-	-
	6-ой	178,8	3,020	0,038	0,40	207,4	43,5	-	6,1
	5-ый	149,4	2,983	0,127	0,75	154,2	44,9	30,7	6,17
	4-ый	171,2	3,025	0,070	0,1	146,2	-	-	-
	3-ий	170,3	3,030	0,079	0,6	183,6	-	-	-
	7-ой	207,0	3,032	0,033	0,44	228,2	-	-	-
	6-ой	201,2	3,02	0,025	0,48	215,5	31,8	25,5	6,29
	5-ый	155,3	3,019	0,083	0,48	164,2	-	11,2	6,24
	4-ый	187,8	3,015	0,056	0,77	181,7	-	-	-
3-ий	152,3	3,01	0,2	-	176,0	-	-	-	

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
апобазальты с игальчатыми крис- таллами пироксена	7-ой	198,5	3,017	0,033	0,36	229,8	35,2	-	6,28
	6-ой	211,3	3,014	0,013	0,65	244,2	-	30,7	6,06
	5-ый	235,3	3,033	0,017	0,25	236,7	37,5	-	6,21
	4-ый	200,6	2,999	0,006	0,4	215,1	-	-	-
	3-ий	162,1	3,01	0,2	-	174,3	-	-	-
апобазальтовые по- роды с мозаичной структурой	7-ой	247,9	3,046	0,017	0,54	312,7	-	-	-
	6-ой	274,7	3,034	0,025	0,43	307,6	19,0	33,2	6,33
	5-ый	271,5	3,027	0,069	0,52	291,8	54,5	39,9	6,26
	4-ый	218,9	3,029	0,013	0,42	246,7	-	-	-
	3-ий	240,0	3,034	0,078	0,49	204,3	-	-	-
долеритовые базальты свежие	7-ой	217,0	3,027	0,018	0,36	276,0	38,4	36,0	5,93
	6-ой	259,4	3,027	0,021	0,57	275,0	-	39,0	6,15
	5-ый	246,7	3,023	0,03	0,75	246,2	44,5	28,0	6,12
	4-ый	225,6	3,026	0,05	0,6	233,9	-	-	-
	3-ий	248,2	3,023	0,11	0,72	272,6	-	-	-
апобазальтовые породы спутан- волокон. структуры с крупными волок- нами	7-ой	282,4	3,028	0,024	0,48	294,3	53,2	25,8	6,36
	6-ой	283,3	3,035	0,024	0,36	307,4	40,7	-	6,25
	5-ый	269,6	3,036	0,042	0,27	281,4	34,8	37,1	6,27
	4-ый	253,8	3,033	0,042	0,41	267,2	-	-	-
	3-ий	214,2	2,99	0,22	-	263,3	-	-	-
апобазальт. порода, спутан. волокнист. структуры, тонко- волокнистая	7-ой	371,9	3,022	0,032	0,33	390,5	-	-	6,39
	6-ой	393,4	3,033	0,028	0,33	391,5	44,5	61,0	6,36
	5-ый	367,0	3,036	0,018	0,38	353,7	44,5	29,5	6,26
	4-ый	320,9	3,033	0,009	0,36	318,4	-	-	-
	3-ий	332,5	2,99	0,2	-	352,0	-	-	-

а также целей усреднения сырья поступающего на перерабатывающее предприятие.

Для выяснения изменения не только прочности, но и других физико-механических показателей вниз по разрезу по материалам табл. 27 составлена табл. 28.

В табл. 29 хорошо показано, что прочность пород как кайнотипного ~~облика~~ облика так и метаморфизованных уменьшается вниз по разрезу. Это доказывает, что уменьшение прочности связано с первичными особенностями пород, а метаморфизм только накладывается на них. В 6-ом потоке метаморфизм, вероятно проявился наиболее сильно и прочность метаморфизованных пород этого потока максимальна. Плотность не обнаруживает особо четких тенденций в породах кайнотипного облика, а в метаморфизованных она убывает вниз по разрезу. Таким образом, изменения химизма вниз по разрезу, вероятно, не отражаются в колебаниях плотности, а сказываются только на прочностных характеристиках. Водопоглощение вниз по разрезу растет как у пород кайнотипного облика так и метаморфизованных, что, возможно, косвенно говорит об увеличении микротрещиноватости вниз по разрезу и доказывает нашу гипотезу о ^{увеличения} связи количества псевдоморфоз по оливину с уменьшением прочности породы. При этом пористость не обнаруживает заметного увеличения. Увеличение водопоглощения при слабых колебаниях пористости говорит об увеличении доли открытой пористости, что, по-видимому, ведет к уменьшению прочности.

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

I. Физико-механические свойства metabазальтов изменяются по разрезу. Это связано с тем, что месторождение сложено серией

Таблица 29

Средние физико-механические характеристики пород кайнотипного облика и метаморфизованных разных потоков месторождения Мяндуха

Тип пород	По-то-ки	Показатели							Скорости прохода
		Прочность при сжатии в во-донас. сост. МПа	Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Пористость, %	Прочность при сжатии в сухом сост., МПа	Прочность при растяжении в во-донас. сост., МПа	Прочность при растяжении в во-донас. сост., МПа	
Породы кайнотипного облика	7-ой	228,9	3,023	0,024	0,39	245,5	36,8	36,0	6,11
	6-ой	216,5	3,020	0,024	0,54	235,4	43,5	34,9	6,10
	5-ый	210,5	3,013	0,058	0,46	219,8	42,3	29,4	6,17
	4-ый	199,1	3,017	0,042	0,37	200,5	-	-	-
	3-ий	193,5	3,020	0,130	0,66	199,4	-	-	-
	В целом по породам кайнотипного типа	205,5	3,019	0,052	0,47	220,1	40,7	31,9	6,13
Метаморфизованные породы	7-ой	281,4	3,035	0,047	0,46	299,9	53,2	25,8	6,38
	6-ой	295,5	3,036	0,064	0,41	305,8	34,0	39,9	6,31
	5-ый	263,7	3,028	0,044	0,45	274,8	44,6	29,4	6,26
	4-ый	247,4	3,026	0,039	0,37	237,1	-	-	-
	3-ий	222,3	3,015	0,192	0,49	218,6	-	-	-
	В целом по метаморфизованным породам	264,7	3,025	0,074	0,43	270,7	38,9	31,5	6,32
В целом по месторождению		253,5	3,022	0,065	0,44	259,5	39,7	31,6	6,21

зональных потоков, и физико-механические свойства изменяются как от потока к потоку, так и в зависимости от зон внутри каждого потока, а также в зависимости от метаморфических изменений пород.

2. Наиболее вариативной характеристикой является хрупкая прочность пород. Вниз по разрезу, прочность в целом уменьшается, что отражает изменение химизма пород: от 7-го к 3-му потоку увеличивается содержание магния, а следовательно и оливина. Оливин, как правило, замещается серпентином. Т.к. реакция идет при увеличении объема, то соответственно возрастает микротрещиноватость, а это в свою очередь приводит к потере прочности.

3. Прочностные характеристики неравномерны и внутри отдельного потока. В разрезах, сложенных породами кайнотипного облика, наиболее прочными являются раскристаллизованные породы, а наименее - гиалобазальты, а из них гиалобазальты с футляровидными кристаллами.

Среди метаморфизованных пород наибольшей прочностью обладают породы зон шаровых лав, а среди них апобазальтовые серпентин-хлорит-амфиболовые породы с тонко-спутанно-волокнистой структурой.

4. Плотность, водопоглощение, пористость, прочность на растяжение и упругие свойства пород не связаны с прочностью на сжатие, но изменяются также в зависимости от структурно-текстурных особенностей metabазальтов. Водопоглощение пород кайнотипного облика вниз по разрезу растет, что не связано с увеличением общей пористости. Это показывает увеличение доли открытых пор, а тем самым микротрещиноватости. А в общем случае, рост водопоглощения связан с ростом метаморфических изменений.

Упругие свойства четко связаны с изменением пористости,

т.е. при уменьшении пористости растет скорость прохождения продольных волн.

5. Прочность на растяжение для этих пород имеет очень высокие значения и ее соотношение с прочностью на сжатие показывает высокую вязкость породы, что будет сказываться на технологических характеристиках полезного ископаемого.

6. Детальный анализ показал, что возможно предсказывать физико-механические характеристики пород, в частности прочность, по петрографическим разновидностям, выделенным в настоящей работе. Автору удалось выделить и обосновать 40 различных технологических разновидностей пород, каждая из которых характеризует породы определенной зоны, определенного потока и определенной степени метаморфизма.

7. В зависимости от прочности пород выделено три технологических сорта metabазальтов, при разработке которых будут существенно изменяться технологические режимы работы предприятий.

ГЛАВА У

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Для оперативного управления качеством горной массы автором была создана модель поля технологических свойств metabазальтов. Модель реализуется с помощью пакета программ, написанных на версии языка "Бейсик" для ПЭКВМ "Искра 1256". Модель допускает создание массивов данных в виде таблиц, вызов массивов, поиск информации как качественной так и количественной, статистические и другие расчеты, составление машинным путем новых массивов по заданным параметрам, или качественному критерию, вывод их на печать и магнитную ленту, построение графиков /27, 31; 37, 71/.

База данных представляет собой трехмерный массив, в котором каждая единица информации (безразлично количественная или качественная) может быть выражена в виде:

$$X_{n.m.i}$$

где: X - содержательная информация

n - номер таблицы, где находится данный

m - номер столбца в таблице " n "

i - номер строки в столбце " m "

Предусмотрена возможность перехода из таблицы в таблицу, поэтому вся база данных представляет единый массив.

Каждое данное кроме трехмерного табличного адреса может получить трехмерный гипсометрический адрес и наоборот. Существенным моментом базы данных является отсутствие какого либо порядка (т.е. порядок устанавливается каждый раз в диалоговом режиме) при занесении информации и возможность расширения по всем трем направлениям (увеличение кол-ва таблиц, увеличение количества столбцов в любой из таблиц, увеличение количества

строк в любом из столбцов любой таблицы).

С помощью модели можно составить технологические карты разреза месторождения в любой заданной плоскости, предсказать вероятные свойства данного добычного блока, выбрать блоки для усреднения сырья.

СПОСОБ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Данные представляются в виде семи таблиц, но, как уже сказано, по мере необходимости можно вводить новые таблицы (например, экономических показателей):

- 1) Таблица опробования
- 2) Таблица выработок и обнажений
- 3) Таблица трещиноватости
- 4) Таблица строения полезной толщи
- 5) Таблица химического состава пород
- 6) Таблица эталонных технологических сортов метабазальтов
- 7) Информационная карта месторождения

I. Таблица опробования состоит из следующих столбцов:

- I.1. № по порядку
- I.2. Характер выработки
- I.3. № выработки
- I.4. Глубина кровли интервала отбора пробы, м
- I.5. Глубина подошвы интервала отбора пробы, м
- I.6. Петрографическая характеристика
- I.7. Присутствие вредных включений
- I.8. Содержание вредных включений
- I.9. Степень кристалличности
- I.10. Размер зерен, мм
- I.11. Текстура породы

- I.12. Прочность при сжатии в сухом состоянии, МПа
- I.13. Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа
- I.14. Прочность при растяжении в сухом состоянии, МПа.
- I.15. Прочность при растяжении в водонасыщенном состоянии, МПа
- I.16. Модуль продольной упругости $E \cdot 10^{-4}$, МПа
- I.17. Коэффициент Пуассона
- I.18. Абразивность по износу стержня, мг
- I.19. Средняя плотность (объемная масса), г/см³
- I.20. Пористость, %
- I.21. Водопоглощение, %
- I.22. Скорость упругих волн, V_p км/сек (в сухом состоянии)
- I.23. Скорость упругих волн, V_p км/сек (в водонасыщенном состоянии)
- I.24. № потока базальтов
- I.25. - I.50. Резерв

Таблица заполняется в произвольном порядке по образцам, а если нет данных, то по пробам. В каждой строчке, отвечающей образцу или пробе заполняются только те столбцы, для которых есть данные, в остальных столбцах ставится прочерк. Таким образом, в одной таблице объединяется опробование разных разведок, разных свойств, разных выработок, но порядок ее заполнения совершенно произвольный.

Остановимся на характеристике некоторых столбцов:

Столбец I.7. Присутствие вредных включений

Отмечается только наличие или отсутствие, а не количество (т.к. последнее отражается в столбце I.8), таких включений как сульфиды, сульфаты, окислы и гидрокислы железа, аморфный кремнезем, слюды, гидрослюды, цеолиты, хлориты, асбест, галоидные соединения, фосфорит, апатит, нефелин.

Столбец I.9. Степень кристалличности записывается слова-

ми "полнокристаллический", "порфировый", "стекловатый"

Столбец I. II. Текстура породы характеризуется словами "мозаичная", "спутанно-волокнистая", "пятнистая", "полосчатая", "сланцеватая", "брекчиевидная"

В остальных столбцах записываются результаты испытаний образцов или проб.

2. Таблица выработок и обнажений состоит из следующих столбцов:

- 2.1. № по порядку
- 2.2. Стадия разведки
- 2.3. Год разведки
- 2.4. Характер выработки
- 2.5. № выработки
- 2.6. Координата устья выработки по оси "х"; м (условная)
- 2.7. Координата устья выработки по оси "у"; м (условная)
- 2.8. Абсолютная отметка устья выработки, м
- 2.9. Мощность рыхлой вскрыши, м
- 2.10. Мощность скальной вскрыши, м
- 2.11. Мощность полезной толщи, м
- 2.12. Индекс тектонического блока
- 2.13. Азимут падения пород
- 2.14. Угол падения пород
- 2.15 - 2.50. Резерв

3. Таблица трещиноватости состоит из следующих столбцов:

- 3.1. № по порядку
- 3.2. Характер выработки или обнажения
- 3.3. № выработки или обнажения
- 3.4. № трещины от которой меряется расстояние
- 3.5. Азимут падения, град.
- 3.6. Угол падения, град.
- 3.7. Система трещиноватости

3.8. № трещины до которой меряется расстояние

3.9. Расстояние между трещинами, м

3.10 - 3.50. Резерв

В столбцы 3.5, 3.6, 3.7 - вносятся сведения о той трещине, номер которой на этой строчке в столбце 3.4.

4. Таблица строения полезной толщи и состава вскрышных пород

4.1. № по порядку

4.2. Характер выработки или обнажения

4.3. № выработки или обнажения

4.4. Глубина кровли интервала (или расстояние от начала описания обнажения), м

4.5. Глубина подошвы интервала (или расстояние от начала обнажения), м

4.6. Ненарушенные породы, мощность, м

4.7. Зоны дробления и милонитизации, мощность, м

4.8. Зоны дресвы, мощность, м

4.9. Содержание песков в породах вскрыши, % по мощности

4.10. Содержание суглинков в породах вскрыши, % по мощности

4.11. Содержание глин в породах вскрыши, % по мощности

4.12 - 4.50. Резерв

Таблицу 4 лучше заполнять в виде последовательного описания каждой выработки, но порядок выработок произвольный, т.е. это фактически описание выработок, но описание представленное в виде таблицы.

5. Таблица химического состава пород полезной толщи

5.1. № по порядку

5.2. Характер выработок

5.3. № выработок

5.4. Глубина кровли интервала отбора пробы

5.5. Глубина подошвы интервала отбора пробы

5.6. - 5.21. Процентное содержание окислов (весовые проценты)

5.6. SiO_2

5.7. TiO_2

5.8. Al_2O_3

5.9. Fe_2O_3

5.10. Cr_2O_3

5.11. FeO

5.12. MnO

5.13. MgO

5.14. CaO

5.15. Na_2O

5.16. K_2O

5.17. P_2O_5

5.18. п. п. п.

5.19. $S O_3$

5.20. H_2O

5.21. S вал

5.22. - 5.50. Резерв

6. Таблица эталонных технологических разновидностей метабазальтов.

6.1. № по порядку

6.2. Индекс породы

6.3. Название породы

6.4. Зона потока

6.5. Подзона потока

6.6. № потока

6.7. Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа

6.8. Плотность, г/см³

6.9. Водопоглощение, %

- 6.10. Пористость, г/см³
- 6.11. Прочность на сжатие в сухом состоянии, МПа
- 6.12. Прочность на растяжение в сухом состоянии, МПа
- 6.13. Прочность на растяжение в водонасыщенном состоянии, МПа
- 6.14. Скорость прохождения продольных волн, км/сек
- 6.15 - 6.50. Резерв

7. Таблица - информационная карта месторождения

Таблица состоит из одного столбца (или из одной строчки)

7.1 Помещается одно из слов "Нагорное", "Углубленное", "Смешанное"

7.2. Длина месторождения, км (l)

Ширина месторождения, км (k), или их отношение $\frac{k}{l}$

7.3. Помещается одно из слов "Неразобщенное", "Разобщенное"

7.4. Площадь месторождения, га

7.5. Запасы месторождения, млн. м³

7.6. Средняя абсолютная отметка уровня водоносного горизонта, м

7.7. Общий приток воды в карьере при конечной глубине отработки, тыс. м³/сут.

7.8 - 7.50. Резерв

Примеры алгоритмов для работы с массивом данных, записанные с помощью табличной адресации

Наиболее простыми алгоритмами являются алгоритмы расчета статистических характеристик. Сформированная совокупность (в простейшем случае определенный столбец таблицы I, например I.13) образует статистику, которая рассчитывается по формулам (смотри следующую страницу).

$$R = \frac{\sum x_{1.13.i}}{N} \quad (1); \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_{1.13.i} - R)^2}{N-1}} \quad (2);$$

$$V = \frac{\sigma}{R} \cdot 100 \quad (3); \quad A = \frac{\sum (x_{1.13.i} - R)^3}{\sigma^3} \quad (4);$$

$$E = \frac{\sum (x_{1.13.i} - R)^4}{\sigma^4} - 3 \quad (5);$$

где R - математическое ожидание данной статистики

σ - среднеквадратичное отклонение

V - коэффициент вариации

A - асимметрия

E - эксцесс

Составляется также распределение для случая прочности (если используется столбец I.13) через 20 МПа, для других характеристик подбирается интервал в зависимости от целей, для которых это делается.

Распределение опробованных образцов, сделанное через 20 МПа анализируется:

1) на однородность

2) на эксцесс и асимметрию ($A_{x_{1.13}}$ и $E_{x_{1.13}}$)

На однородность проверяем статистику следующим образом.

Определяем в какой интервал распределения попадает следующий отрезок $(R - \sigma)$, $(R + \sigma)$

$$\text{Если } 20(n_1 - 1) \leq R - \sigma < 20n_1,$$

где n_1 - номер строки распределения начиная с первой, то $20(n_1 - 1)$ - нижняя граница, $(n_1 - 1)$ го класса принимается нами за нижнюю границу для анализа однородности.

Верхняя граница должна удовлетворять неравенству:

$$20(n_1 - 1) < R - \sigma \leq 20n_2 \quad *)$$

Если условие (*) соблюдается, то $20n_2$ - верхняя гра-

ница для анализа однородности.

Таким образом, весь интервал от $20(p_1 - 1)$ до $20n_2$ составляет около 70% всех случаев, т.е. с 70% вероятностью мы можем констатировать однородность или неоднородность распределения.

Пусть в интервале прочности

$20(p_1 - 1) - 20p_1$ будет N_1 образцов, в интервале $20p_1 - 20(p_1 + 1)$ будет N_2 образцов, в интервале $20(p_1 + 1) - 20(p_1 + 2)$ будет N_3 образцов и т.д. вплоть до интервала прочности $20(n_2 - 1) - 20n_2$, в котором будет N_m образцов. Для всех этих интервалов от $20(p_1 - 1)$ до $20p_2$ составляем разности $(N_1 - N_2)$, $(N_2 - N_3)$, . . . $(N_{m-1} - N_m)$ проверяем все эти разности от первой до последней

$$N_k - N_{k-1} \geq 0$$

Записываем результат этой проверки двоичным кодом: не удовлетворяет неравенству "0", удовлетворяет неравенству "1"

Если этот код можно разделить только на две части - в одной (слева) - нули, во второй (справа) - единицы, то распределение в главной своей части имеет максимум, т.е. оно однородно.

Если двоичный код делится на несколько частей (больше двух) состоящих из "0" или "1", то распределение в главной своей части полимодально - имеет два или больше максимумов.

Если установлен один максимум, то проверяем распределение по асимметрии.

По формулам (4) и (5) рассчитаны асимметрия и эксцесс

$$\text{Если } \frac{A_{x_{1.13}}}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \leq 3 \quad \text{и} \quad \frac{E_{x_{1.13}}}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \leq 3$$

где n - общее количество образцов в статистике,

то распределение является нормальным.

Если $\frac{Ax_{1.13}}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \leq 3$ и $\frac{Ex_{1.13}}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \geq 3$

то распределение хотя и не является в строгом смысле нормальным, но может рассматриваться достаточно однородным.

Поэтому к нормальному распределению мы отнесем те, для которых только $\frac{Ax_{1.13}}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \leq 3$, не зависимо от значения аксцесса.

Иногда необходимо рассчитать содержание в статистике данных больше или меньше определенного значения.

При этом каждое $x_{n.m.i}$ проверяется по формуле:

$$x_{n.m.i} \geq K$$

где K - граничное значение. Затем по формуле:

$$C_m = \frac{n}{N} \cdot 100 \quad (6)$$

считают содержание в статистике $x_{n.m.i}$ удовлетворяющих условию.

В формуле (6) n - количество значений удовлетворяющих условию,

N - общее количество данных в статистике.

Иногда необходимо составить статистики по определенным уровням (например по добычным уступам). Для поуступной характеристики прочности предлагается следующий алгоритм:

Составляется матрица K (смотри следующую страницу).

Для заполнения матрицы K в столбцы $K.1, K.2, K.3, K.5, K.7$ переносятся соответственно столбцы $I.2, I.3, I.4, I.5, I.13$.

Заполнение столбцов $K.4, K.6$

Для каждой i -той строчки матрицы K ищем j -тую строку в таблице 2 такую, чтобы $x_{1.2.i} = x_{2.4.j}$ и $x_{1.3.i} = x_{2.5.j}$, когда такая строка найдена, то вычисляем $x_{k.4.i}$ и $x_{k.6.i}$ по следующим формулам:

$$x_{k.4.i} = x_{2.7.j} - x_{1.4.i} = H_{iv}$$

$$x_{k.6.i} = x_{2.7.j} - x_{1.5.i} = H_{in}$$

Матрица К

I.2.	I.3.	I.4.	АСКВ-I.4. = =Н i.В	I.5	АСКВ-I.5 =НiН	I.I2	к _В	к _Н
Характер выработки	№ выработки	глубина кровли интервала отбора пробы, м	абсолютная отметка кровли интервала отбора пробы	глубина подошвы интервала отбора пробы, м	абсолютная отметка подошвы интервала отбора пробы	прочность образцов входящих в пробу	номер уступа, в который входит верхняя часть пробы	номер уступа, в который входит нижняя часть пробы
К.1	К.2	К.3	К.4	К.5	К.6	К.7	К.8	К.9

Полученное N_{iB} записываем на i -тую строчку в столбец К.4, а N_{iH} записываем на i -тую строчку в столбец К.6.

Столбцы К.8 и К.9 заполняются по следующим формулам:

$$x_{к.в.i} > \frac{H_{max} - x_{к.ч.i}}{h} \quad (7) \quad \text{и} \quad x_{к.г.i} \geq \frac{H_{max} - x_{к.б.i}}{h} \quad (8)$$

где $x_{к.в.i}$ - элемент столбца К.8 на i -той строке, наименьшее натуральное число, удовлетворяющее неравенству (7)

$x_{к.г.i}$ - элемент столбца К.9 на i -той строке наименьшее натуральное число, удовлетворяющее неравенству (8)

H_{max} — максимальная абсолютная отметка поверхности полезной

толщи $H_{max} = \max X_{(2.8-2.9-2.10)j}$

$x_{k.4.i}$ — элемент столбца К.4 на i -той строке

$x_{k.6.i}$ — элемент столбца К.6 на i -той строке

h — для данного месторождения I2м (высота добычного уступа)

Затем составляется новая матрица K^I

Матрица K^I

I.2	I.3	K	
характер выработки	# выработки	номер уступа в который вошли все объединенные пробы	средняя прочность всех образцов, вошедших в данный уступ

Матрица K^I заполняется следующим образом: По матрице K выявляются и фиксируются все строчки в которых совпадают элементы столбцов $x_{k.1}$ и $x_{k.2}$, а также оба или один из двух $x_{k.8}$ и $x_{k.9}$. Когда эти строчки выявлены, то в m -ную строчку матрицы K^I в столбцы K^I_1 , K^I_2 и K^I_3 записываются эти совпадающие элементы. В m -ную строчку столбца K^I_4 записываем среднее арифметическое значение $x_{k.7}$ строчек для которых совпадают вышезаписанные столбцы, т.е.

$$x_{k.4.m} = \frac{\sum_{n=1,2,\dots} x_{k.7.n}}{n}$$

где $x_{k.7.n}$ — любой элемент столбца К.7 при совпадении строчек

n — количество строчек для которых совпадают элемен-

ты столбцов К.1, К.2 и (или один из них) К.8 и К.9

Когда матрица K заполнена, считаем коэффициент вариации статистики образованной столбцом $K_{.4}^I$ аналогично тому, как это сделано для прочности. Полученный коэффициент вариации характеризует горно-технологическую однородность месторождения или той части толщи, которая нас в данный момент интересует.

Для планирования горных работ необходимо бывает определить сложность формы кровли полезной толщи. Для решения подобных вопросов предложен следующий алгоритм.

Строится матрица N

Матрица N

2.1	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	(2.8-2.9) _i	(2.8-2.9) _j	N _{8-N11}	Δ'		
номер по порядку	характер выработки или обнажений	№ выработки или обнажения	координата устья выработки по оси "x" (условная), м	координата устья выработки по оси "y" (условная), м	абсолютная отметка устья выработки, м	мощность рыхлой вскрыши	абсолютная отметка подошвы рыхлой вскрыши	расстояние от -той выработки до ближайшей -той	номер строчки	абсолютная отметка подошвы рыхлой вскрыши -той строчки	перепад абсолютных отметок между -той и -той строчкой	перепад высот между выработками на каждые 100м
N.1	N.2	N.3	N.4	N.5	N.6	N.7	N.8	N.9	N.10	N.11	N.12	N.13

В первые семь столбцов матрицы N вписываются соответствующие столбцы таблицы 2. Столбец N.8 образован разностью столбцов N.6 и N.8. Столбец N.9 заполняется следующим образом. Если мы заполняем первую строчку матрицы N, то находим значения для этой строчки вместе с каждой из последующих по формуле:

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

где x_i и y_i - координаты на i -ой строчке, x_j и y_j - координаты любой последующей строчки.

Затем находим минимум множества образованного всеми значениями l_i . И это $l_i = \min$ заносим на первую строчку в столбец Н.9, затем переходим на 2-ую строчку, находим l_{\min} для второй и всех последующих строчек и т.д. до последней строчки в столбцах 2.5 и 2.6.

В столбец Н.10 i -ой строки ставится j -номер строчки для которой $l_i = \min$, с этой же строчки берем элемент столбца Н.8 и ставим на i -тую строчку столбца Н.11.

Столбец Н.12 равен разности столбцов Н.8 и Н.11

Каждый элемент $x_{Н.13.i}$ столбца Н.13 вычисляется по следующей формуле:

$$x_{Н.13.i} = \frac{x_{Н.12.i} \cdot 100}{x_{Н.9.i}}$$

Находим $x_{Н.13.i} = \max$, и по этой характеристике оцениваем сложность кровли полезной толщи, т.е. находим наибольший переход высот кровли полезной толщи на 100м расстояния.

В данной главе изложены лишь самые общие принципы построения алгоритмов при формировании математической модели месторождения. Возможности реализации этой модели зависят от определенной счетной техники, а также успешного проведения горно-технологического изучения месторождения.

Пакет программ "Массив"

При автоматических расчетах многочисленных данных по месторождению, а также при составлении табличных массивов необходимо иметь возможность оперативного поиска информации и состав-

ления новых массивов и подмассивов. Для решения всех задач возникающих при этом автором создан пакет программ "Массив" на языке Бейсик (русская версия). Программы написаны в диалоговом режиме для ПЭКВМ "Искра-1256". Пакет "Массив" состоит из четырех программ:

- 1) Программа "Формирование массива"
- 2) Программа "Поиск"
- 3) Программа "Расчет"
- 4) Программа "Вопрос"

Каждая из этих программ может работать как в комплексе с другими так и самостоятельно. Гибкость программ достигается использованием диалога. Отвечая на вопросы, возникающие по ходу программ, пользователь задает режимы работы. Программы не требуют ограничения размеров вводимых массивов. Каждая единица информации, безразлично цифровая или символьная, будучи один раз введена в процессор, запоминается и благодаря единой организации массивов может быть найдена и использована в расчетах или выведена на печать.

Все данные по организации массива записываются вначале каждого массива в виде заголовка ("имени"). Они автоматически задают режим работы с уже записанным массивом. Информация вносится построчно. В строке может быть от одного столбца до любого количества, заданного пользователем (во всяком случае до 50 столбцов). Если потребуется больше столбцов, то программа легко может быть модифицирована. При работе с цифровой информацией в столбце может быть любое количество знаков, но не менее 8, для соблюдения необходимого формата переменных при работе с символьной информацией может быть любое количество знаков в столбце. Количество знаков в столбце задается пользо-

вателем в диалоговом режиме при записи массива и вводится в определенное место заголовка. При повторной работе с уже записанным массивом - количество знаков в столбце, также как и другая информация по организации массива, автоматически задает режим с данным массивом.

Кроме количества знаков в столбце в заголовок выносятся данные о количестве строк в массиве, количестве блоков в массиве (если количество строк превышает максимальную емкость оперативной памяти), а также краткое название массива.

Работа по составлению массива начинается с программы "Формирование массива". При начале счета на экране возникает вопрос:

"Столбец №I

Будет ли введена информация?

Да - введите название столбца

Нет - нажмите клавишу "пробел"

После введения названия первого столбца, на экране повторяется вопрос уже для второго столбца и т.д. до тех пор пока пользователь не нажмет пробел. Таким образом количество столбцов определяет сам пользователь. Затем поочередно на экран выводятся названия всех столбцов с предложением заполнить первую строчку, в случае отсутствия информации пользователь заносит минус. Как только первая строка заполнена снова на экран поочередно выводятся названия столбцов с предложением заполнить вторую строчку и т.д. до тех пор, пока сам пользователь не нажмет клавишу пробел, что означает конец формирования строк. Возможен вариант, когда массив столь велик, что не вмещается в оперативную память. В таком случае на экране появится надпись:

"Оперативная память целиком занята. Необходимо вывести сформированный блок массива на магнитную ленту. Для этого наберите селект(13,136,255)

Вывод M (,,,SAØØ,200). После вывода массива нажмите клавишу "пробел!"

Таким образом после вывода блока массива на магнитную ленту программа может записывать новые строки и так до того момента, пока оперативная память не будет исчерпана и т.д.

Для устранения ошибок и для введения информации в те столбцы и строки, в которых ее ранее не было предусмотрена особая подпрограмма, с пуском которой на экран выводится вопрос:

"Какой столбец хотите исправлять?"

Все или несколько - введите "Ø"

Один - введите номер столбца

Ни одного - нажмите I ЗН"

Затем выводится новый вопрос:

"Какую строчку хотите исправлять?"

Все или несколько - введите Ø

Одну - введите номер строки

Ни одной - нажмите I ЗН"

В зависимости от вашего ответа формируется режим работы подпрограммы.

Таким образом программа "Формирование массива" дает возможность составлять матрицы без заранее заданной размерности. Это очень удобно, т.к. уже составленные записанные можно расширять в любую сторону практически бесконечно. Это открытая система в которую в любое время и в любом порядке можно добавлять информацию.

Когда массив сформирован или расширен функции программы "Формирование массива" закончены.

Программа "Поиск" осуществляет анализ информации. В автоматическом режиме вводится матричный массив, но не более одного блока, из заголовка берется информация по организации массива

и далее программа работает с тем количеством столбцов, знаков в столбце и строк, которое задано для данного массива. Таким образом одна и та же программа осуществляет поиск нужной информации в матрице с размерностью 6×100 и в матрице 20×500 , и при ширине столбца 8 знаков, и при ширине столбца 20 знаков и т.д.

Программа "Поиск" может осуществлять:

- 1) Вывод на печать отдельной строки или последовательности строк в заданном порядке;
- 2) Поиск номеров строк совпадающих по определенному значению одного из столбцов;
- 3) Раздельно обрабатывать качественную и количественную информацию;
- 4) Вывод на печать заданного столбца в заданной строчке, т.е. единицы информации.

Все эти задачи задаются программе исключительно в диалоговом режиме. С качественной информацией программа производит операции сравнения и, либо находит нужную информацию, либо на экран выводится ответ:

"Заданная информация в массиве не найдена"

С количественной информацией программа "Поиск" работает тоже по принципу сравнения, но решает большой круг задач. На экран выводится вопрос:

"Что нужно сделать с числами?"

Найти статистические характеристики - наберите 1

Найти числа больше заданного - наберите 2

Найти числа меньше заданного - наберите 3

Найти числа в пределах двух заданных - наберите 4

Найти числа за пределами двух заданных - наберите 5

Найти числа равные заданному - наберите 6"

Программа "Поиск", таким образом, может осуществлять перегруппировку строк и столбцов в матричных массивах, поиск номеров нужных строк и столбцов. Составление новых массивов по результатам заданного поиска. При работе с количественной информацией осуществляется ее выделение из символьной, составление числовых массивов, как из всех строк, так и из выбранных в результате поиска. С помощью подпрограмм программы "Поиск" может осуществляться печать, как всего массива, так и отдельных строк, отдельных столбцов, а также новых массивов составленных в результате поиска информации. На этом функции программы "Поиск" заканчиваются.

Для формирования отдельных столбцов как качественной так и количественной информации, а также для статистической обработки числовых массивов составлена последняя программа "Расчет". Это сложная программа со многими подпрограммами работает также в диалоговом режиме.

Она способна рассчитывать статистические характеристики массивов, содержащих пустые строки. В строках матричных массивов не всегда может быть введена содержательная информация. Знаком, что информации нет является занесение отрицательного числа (-1). Программа "Расчет" автоматически отбрасывает отрицательные числа. Это позволило считать не только целиком массивы занесенные в оперативную память машины, но и выбирать подмассивы, осуществляя эту операцию в зоне счета.

При этом массив занесенный в оперативную память машины но выбирать подмассивы, осуществляя эту операцию в зоне счета. При этом массив занесенный в оперативную память не изменяется, и можно рассчитать статистические характеристики для любого подмассива входящего в массив расположенный в оперативной памяти. Т.е. можно, имея массив, состоящий из значений одного столбца, посчитать статистику строк, выбранных по программе "По-

иск" по другому столбцу, при этом числовой массив останется целым, что позволяет многократно проводить такую операцию над одним массивом. В результате работы по программе "Расчет" мы можем получить распечатанное распределение, со всеми необходимыми статистическими характеристиками—максимальным, минимальным и средним значениями, среднеквадратичным отклонением, коэффициентом вариации. Все эти характеристики могут быть выданы как по целому массиву так и по любому из подмассивов входящих в него.

Программа "Расчет" способна определить принадлежность той или иной пробы к определенной эталонной технологической разновидности пород, помещенному в таблицу 6 исходных данных. При этом используются столбцы из таблиц 1 и 2 в которых указаны индекс тектонического блока, угол залегания слоев в этом блоке, номер потока в который попадает интересующий нас геометрический блок полезной толщи.

Также подпрограмма программы "Расчет" может пересчитывать химические анализы с весовых % на атомные и обратно, кроме того определять средневзвешенное, а также организовывать печать таблиц.

Программа "Вопрос" представляет собой каталог типовых вопросов и необходимые подпрограммы, с помощью которых можно ориентироваться в структуре каталога.

Вопросы группируются в тематические списки расположенные в иерархически-связанных уровнях. Поиск нужного вопроса предусмотрен как в диалоговом режиме путем пересмотра списков разных уровней, так и путем прямого задания текста вопроса в строго определенной форме. Сформированный вопрос имеет код из 6 цифр соответствующий 6 уровням иерархии вопросов. Этот код определяет те программы и подпрограммы пакета "Массив" которые будут необходимы при расчете ответа на заданный вопрос. На рисунке 46 показана самая общая структура каталога вопросов.

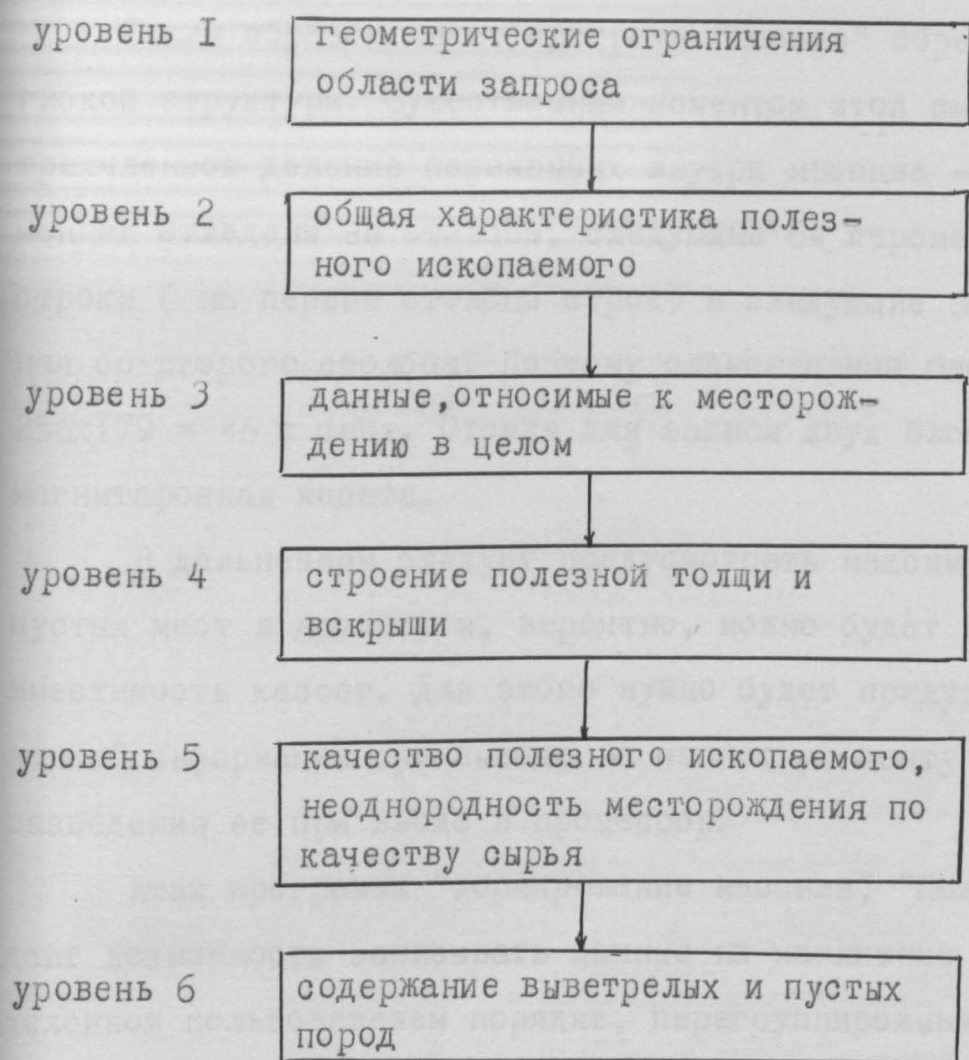


РИС. 46

Общая характеристика вопросов различных уровней, объединенных в каталог вопросов

Таким образом пакет программ "Массив" обрабатывает массивы гибкой структуры. Существенным моментом этой системы является // трехчленное деление переменных внутри массива - первые 50 переменных отведены на столбцы, следующие 64 переменных отведены на строки (на первые столбцы строк) и следующие 64 на строки начиная со второго столбца. Поэтому элементарный блок имеет емкость $256 \times 179 = 46$ к байт. Отсюда для записи двух блоков необходима I магнитофонная кассета.

В дальнейшем следует предусмотреть максимальное уменьшение пустых мест в массиве и, вероятно, можно будет вдвое увеличить вместимость кассет. Для этого нужно будет предусмотреть "схлопывание" информации при выводе на магнитную ленту и необходимое разведение ее при вводе в процессор.

Итак программы "Формирование массива", "Поиск" и "Вопрос" дают возможность записывать данные на магнитные носители в определенном пользователем порядке, перегруппировывать массивы, формировать новые массивы, ~~переставлять строки в любом порядке,~~ задавать вопросы относительно массивов. Также при использовании этих программ возможна печать таблиц, содержащих как все так и некоторые столбцы и строки в любом порядке, определяемом пользователем. Программа "Расчет" является служебной для программы "Поиск", но может использоваться совершенно самостоятельно. Кроме того, необходимо отметить, что гибкость программ обусловлена их диалоговым режимом. Диалоговый режим дает также возможность легко ориентироваться в программах и при возникновении ошибок легко их устранять не теряя информации, считать массивы как вводимые пользователем с клавиатуры, так и введенные с магнитной ленты, а также составлять несколько массивов из одного и один из нескольких.

Решение всех этих задач существенно экономит время на первичное рутинное введение информации, которое в случае массивов относящихся к месторождениям, составляет ~90% времени работы с ЭВМ.

Итак, можно сделать вывод, что разработаны все элементы математической модели месторождения.

1. Организована база данных, способная расширяться в любом направлении.

2. Организовано обращение к базе данных, позволяющее рассчитывать статистически и делать другие необходимые вычисления, искать необходимые данные, сравнивать данные как качественного, так и количественного характера и т.д.

3. Организован диалоговый режим работы с моделью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автором в диссертации решена задача прогноза неоднородности физико-механических свойств metabазальтов месторождения строительного камня Мяндуха, выделены технологические сорта metabазальтов, влияющие на буровзрывные работы, переработку пород и качество щебня.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Физико-механические свойства пород месторождения определяются, в основном, их структурными особенностями.

2. Породы месторождения соответствуют по физико-механическим свойствам общетеоретическому положению, что прочность понижается в зависимости от крупности ^{и фазового состава} зерен: тонкозернистые → мелкозернистые → среднезернистые → крупнозернистые → стекловатые.

3. Плотность пород месторождения очень высокая $> 3,0 \text{ г/см}^3$. Это объясняется увеличением содержания магния и железа и уменьшением содержания *Al, Na и K* относительно средних базальтов по Дели. А увеличение плотности ведет к увеличению прочности (т.е. увеличивается способность нести нагрузку). Это объясняет общий высокий уровень прочности пород месторождения.

4. Микроструктурная неоднородность пород кайнотипного облика на месторождении обусловлена неоднородностью условий остывания лавы внутри отдельного потока.

5. Петрохимическая направленность развития магматического очага обусловлена кристаллизационной дифференциацией и проявляется в обогащении некоторых потоков оливином.

6. Метаморфизм пород подчеркивает петрографические неоднородности, возникшие при излиянии и кристаллизации лав. На

физико-механических свойствах пород метаморфизм имеет двойное влияние.

Во-первых, при превращении оливина в серпентин увеличивается объем, что приводит к увеличению микротрещиноватости и ослабляет породу. Во-вторых, при метаморфических изменениях по-разному изменяются гнаубазальты различной структуры и метаморфические структуры, возникающие при этом придают породе различную прочность.

7. Важнейшей технологической характеристикой строительного камня является прочность пород на сжатие. Поэтому именно эта характеристика положена в основу выделения сортов полезного ископаемого. Она приведена в соответствие с определенными структурно-текстурными разновидностями metabазальтов. В результате проделанной работы с большой точностью можно предсказать физические свойства пород, определенных петрографических разновидностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.В. О возможности прогнозирования прочностных и деформационных свойств некоторых интрузивных пород Кольского полуострова по содержанию породообразующих минералов. Инженерная геология 1980г. №5.
2. Арискин А.А. Бармина Г.С. Френкель М.А. Кристаллизационный механизм образования толеитовых серий. Изв. АН СССР Сер. геол. 1988г. №4.
3. Беккер Ю.Р. Геологическая карта фундамента довендского чехла и складчатого обрамления Русской платформы. Сов.геол. 1987г. №8.
4. Беликов В.П. Александров К.С. Рыжов Т.В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород М. "Наука" 1970г.
5. Воронков О.К. Способ определения пористости по данным сейсмоакустики. Тр. Гидропроекта, сб. 21 М. 1971г.
6. Восточная часть Балтийского щита. Геология и глубинное строение (Сб. статей) Л. "Наука" 1975г.
7. Вревский А.Б. Коматиты из раннедокембрийского пояса Полмос-Порос (Кольский полуостров) - ДАН СССР 1980г. 252 №5 с. 1216-1219.
8. Габелева Д.Я. Еременко В.И. Мамонтова Т.П. Рентгеновская типизация хлоритов на примере разновозрастных пород палеозоя Тимано-Печерской провинции. Литол. и пол.ископ. 1987г. №5.
9. Гельман М.Л. Бычков Ю.М. Левин Б.С. Бониниты Корякского нагорья. Изв. АН СССР, сер.геол. 1988г. №2
10. Гептнер А.Р. и др. Условия образования и начальные стадии изменения базальтового стекла. Литол. и пол.ископ. 1984г. №4.

11. Гилярова М.А. Основные черты тектоники Балтийского щита. Изв. АН СССР 1987г. №9.
12. Гилярова М.А. Стратиграфия и структура докембрия Карелии и Кольского полуострова. Л. 1972г.
13. Гилярова М.А. Стратиграфия, структура и магматизм докембрия восточной части Балтийского щита. Л. "Недра" 1974г.
14. Гилярова М.А. Шаровые лавы Суйсарского района Южной Карелии и проблема генезиса шаровых лав. Учен. зап. ЛГУ, 1989г. №268, Сер. геол. наук, вып. 10
15. Гирнис А.В. Экспериментальный петрогенезис коматиитов и высокомагнезиальных базальтов. Дисс. уч. ст. канд. геол.-мин. наук, М. 1984г.
16. Гольдштейн Р.В. Ладыгин В.М. Осипенко Н.М. О хрупком разрушении пористых горных пород при сжатии и растяжении. Сб. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых!" Новосибирск, 1974, №1.
17. Добрецов Н.Л. Опыт разработки систематики и номенклатуры метаморфических пород на количественно-минералогической основе. Изв. АН СССР, сер. геол. 1988г. №1.
18. Дриц В.А. Коссовская А.Г. Слоистые силикаты в земной коре. Сообщение I. Классификация группы каолинит-серпентина и тальк пиррофиллита. Литология и пол. ископ., 1984г. №6.
19. Еин А.С. Петрохимические вариации составов коматиитов и верхней мантии земли. Изв. АН СССР, сер. геол. 1988г. №3
20. Елисеев Н.А. Метаморфизм, М. "Недра", 1963г.
21. Заварицкий А.Н. Введение в петрохимию изверженных горных пород. М. 1980г.
22. А.Н. Заварицкий Изверженные горные породы, М. 1956г.

23. Заварицкий А. Н. Пересчет химических анализов изверженных горных пород, М. 1960.
24. Звягин Б. Б. Кристаллохимические особенности серпентиновых минералов. Изв. АН СССР, сер. геол. 1981г. № II.
25. Зеленокаменные пояса древних щитов. Сб. статей, М. 1982г.
26. Земная кора и металлогения юго-восточной части Балтийского щита. Л. 1983г.
27. Зоткевич Н. А. Использование портативных микрокомпьютеров при обработке петрофизических данных. "Геофиз. исслед. геол. структур Дал. Вост." Владивосток, 1983г., 8-14.
28. Иванов О. К. О факторах определяющих состав оливина. Изв. АН СССР, сер. геол. 1978г. № 6.
29. Изотова Т. С. Зависимость скорости распространения ультразвука от пористости горных пород. "Геология нефти и газа", 1969, № I.
30. Ильинская М. Н. Вторичные преобразования основных вулканических стекол в щелочных базальтоидах чанчарской свиты (Южный Урал). Литол. и пол. ископ. 1988г. № I.
31. Козловский Е. А. Кривцов А. И. Моделирование рудных месторождений, направления и задачи. Сов. геол. 1988г. № 3.
32. Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита. Л. "Наука", 1988г.
33. Корыткова Э. Н. Черкасин В. И. Дриц В. А. Фазовые преобразования серпентиновых минералов в гидротермальных условиях. Изв. АН СССР, Сер. геол., 1986г. № 2.
34. Коссовская А. Г. и др. Парагенезы селадонит-глауконитовых минералов и кристобалита в преобразованных океанических базальтах (на примере скв. 407 *DSDP*). Литол. и пол. ископ., 1984г. № 4.

35. Красилова Н.С. О причинах, обуславливающих зависимость прочности скальных пород от размера и формы кристаллов. Вопросы инж.геол. и грунтоведения. М.1973г. №3.
36. Красилова Н.С. Ладыгин В.М. О методике изучения петрографических особенностей скальных горной пород при инженерно-геологических исследованиях. Вест.МГУ,сер.геол.,1975г.,№5
37. Кузнецов С.С. Львов В.А. Шайтура С.В. О возможном построении структурных карт при помощи ЭВМ. Изв.АН СССР,сер.геол.,1981г. №10.
38. Кулешович Л.В. Влияние метаморфизма и метасоматоза на состав базит-ультрабазитов земнокаменных поясов юго-восточной Карелии. Вестн.МГУ,Сер.4, Геология,1984г. №2 с 72-77.
39. Куликов В.С. Базальтовый комплекс Ветреного пояса и некоторые причины разнообразия средне-протерозойского вулканизма юго-восточной части Балтийского щита. В кн. Проблемы магматизма Балтийского щита. Л.1971г.
40. Куликов В.С. Вулканыты кряжа Ветреный пояс (юго-восток Балтийского щита). Проблемы осадочной геологии докембрия,1971г., Вып.3.
41. Куликов В.С. Куликова В.В. К выделению Сумозерско-Кенозерского зеленокаменного пояса архея на восточной окраине Балтийского щита. В кн.Геология раннего докембрия карелии. Петрозаводск,1979г.
42. Куликова В.В. Магматизм архейских зеленокаменных поясов юго-восточной окраины Балтийского щита. Автореф.дисс... канд.геол.-мин. наук, М.1983г.
43. Куликов В.С. Слюсарев В.Д. и Попов М.Г. Высокомагнезиальный вулканизм докембрия юго-восточной части Балтийского щита. В кн. Вулканизм докембрия, Петрозаводск,1976г.

44. Куликова В.В. Куликов В.С. Новые данные об архейских перидотитовых коматиитах Восточной Карелии. ДАН СССР, 1981г., т. 259, № 3 с 693-697.
45. Куликова В.В. Куликов В.С. Особенности строения базальтового плато центральной части кряжа Ветреный пояс. В кн. Магматические комплексы. Петрозаводск, 1977г. с.48-54.
46. Кутюлин В.А. Статистическое изучение химизма базальтов различных формаций. Новосибирск, 1969г., 142 с.
47. Ладыгин В.М. Влияние геолого минералогических факторов на физико-механические свойства эффузивов основного и среднего состава. Дисс... канд. геол.-мин. наук, М. 1978г.
48. Ладыгин В.М. Никитин В.Н. О некоторых особенностях свойств молодых эффузивов Камчатки. Вестн. МГУ, сер. 4. Геология, 1980г., № 5.
49. Ладыгин В.М. и др. Гидротермально измененные вулканиты северной Армении и их физико-механические свойства. Вест. МГУ, сер. 4 Геология, 1983г., № 3.
50. Ладыгин В.М. и др. О физико-механических свойствах полевых шпатов. Вест. МГУ, сер. геол., 1972г., № 5.
51. Ладыгин В.М. Шаумян Л.В. Об инженерно-геологических свойствах базальтов северо-западной окраины сибирской платформы. Вестн. МГУ, сер. геол., 1971г., № 3.
52. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. М. 1955г.
53. Лопатников М.И. Золотых Е.Б. Неоднородность изверженных и метаморфических месторождений строительного камня по прочности пород. В сб. "Совершенствование технологии добычи и переработки минерального сырья" М. 1984г.
54. Малюк Б.И. Сиворонов А.А. Первичные магмы толеитов докембрийских зеленокаменных поясов Украинского щита. Изв. АН СССР, 1986г., № II.

55. Маракушев А.А. Генетические типы зеленокаменных поясов.
В кн. Зеленокаменные пояса древних щитов. М. "Наука", 1982г.,
с 27-47.
56. Мейсон Р. Петрология метаморфических пород, М. "Мир", 1981г.
57. Мележик В.А. Состав вод докембрийских бассейнов по геохимическим данным. Изв. АН СССР, 1987г., №9.
58. Минералогическая энциклопедия (под ред. К.Фрея), Л. "Недра", 1985г.
59. Наливкина Э.Б. Два типа земнокаменных поясов докембрия.
В кн. Зеленокаменные пояса древних щитов. М. "Наука", 1982г.,
с 47-51.
60. Нестоянова О.А. Зеленокаменные комплексы раннего докембрия Западной Карелии. В кн. Зеленокаменные пояса древних щитов. М. "Наука", 1982г. с 75-97.
61. Никулин С.Н. Авгулевич Н.М. Соболева У.А. Отчет о геологической съемке масштаба 1:50000, проведенной на территории листов Р-37-43-Б,Г, Р-37-44-А,Б,Г. (Сомбинская ГСП, 1970-77г.г.)
62. Нисневич М.Л. Исследование и оптимизация использования строительных горных пород при разработке месторождений для производства щебня. Автореф. дисс... докт. техн. наук, М. 1978г.
63. Новицкий И.П. Метаморфизм зеленокаменных систем Карелии.
В кн. Зеленокаменные пояса древних щитов, М. "Наука", 1982г.,
с 120-147.
64. Павловский Е.В. Эволюция вулканизма и тектонического режима раннего докембрия (историко-геологический аспект проблемы)
В кн. Зеленокаменные пояса древних щитов, М. "Наука", 1982г.
с 11-27.
65. Петров Б.В. Шемякина Н.М. Ветренный пояс - типичная раннепротерозойская зеленокаменная структура. Сов. геол., 1987г., №4.

66. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. М. "Наука", 1968г.
67. Рачеев Н.А. Алюнов Н.А. Гончар Г.И. Отчет о детальной разведке месторождения Мяндуха в Плесецком районе Архангельской области, проведенной Синегорской партией в 1978-81г.г. с подсчетом запасов базальтов для производства строительного щебня и минеральной ваты по состоянию на 1.01.81г.
68. Ржевский В.В. Новик Г.Я. К вопросу о взаимной связи физических свойств горных пород. В кн. Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. М. "Наука", 1968г.
69. Рудник Г.Б. и др. Породы второго океанического слоя в разрезах поднятий Шатского и Хесса (Тихий океан). Изв. АН СССР Сер. геол., 1981г., №11.
70. Салманов А.П. Базальтовые коматииты Юго-Западного Таймыра. Изв. АН СССР. Сер. геол., 1987г., №11.
71. Сергеев В.А. Обобщение и формализация понятий о геологическом опробовании. Геология и геофизика, 1982г., №6 СО АН СССР, Новосибирск.
72. Сидоренко В.В. Главные петрохимические черты базит-ультрабазитового магматизма Карело-Кольского региона. Сов. геол., 1983г., №3.
73. Симанович И.М. Кудрявцев Д.И. Текстурные типы эффузивных базальтов Тунгусской синеклизы. Тр. ГИН АН СССР, 1981г., вып. 362.
74. Слюсарев В.Д. Куликов В.С. Геохимическая эволюция базит-ультрабазитового магматизма протерозоя (восток Балтийского щита) Тр. ин-та геол. Карельск. фил. АН СССР, т. 14, "Наука", 1973г.

75. Спивак Г.В. и др. О наблюдении в растровом электронном микроскопе скальной породы при помощи цветной катодолюминисценции. Вестн. МГУ, сер.геол., 1973г., №6.
76. Старико С.Н. Борко В.Н. Новое в расчетах треугольных диаграмм при петрохимических и геохимических работах. Сов.геол., 1988г., №10.
77. Хаин В.Е. О практике применения некоторых новых понятий в раннедокембрийской геологии. АН СССР. Сер.геол., 1987г., №2.
78. Халепп Л.В. Бурд Г.И. Температуры образования серпентиновых минералов. Изв. АН СССР, 1984г., №8.
79. Чарльз Р.Дж. Прочность силикатных стекол и некоторых кристаллических окислов. В кн. Атомный механизм разрушения, 1963г.
80. Шарков Е.В. Континентальный рифтовый магматизм нижнего протерозоя Карело-Кольского региона. Геотектоника, 1984г., №2.
81. Шибко В.С. Принципы и методика составления структурно-формационной карты Ветреного пояса Карелии. Сов.геол., 1987г., №6.
82. Arndt N.T. Komatiite - related ore deposits. *Geol. Can.* 1980, vol. 7, N2, p. 79-80
83. Brooks C. Hart S.R. On the Significance of komatiite, - *Geology*, 1974, vol. 2, N2, p. 107-110.
84. Coish R.A. Ocean Floor Metamorphism in the Belts Cove Ophiolite, Newfoundland. *Contrib Mineral and Petrol.*, 1977, vol. 60, N3, p. 255-270.
85. Mutanen J. Komatiites and komatiite province in Finland, - *Geology*, 1976, vol. 28, N 4/5, p. 48-56.

86. Nesbitt R. W. Skeletal crystal forms in the ultramafic rock of the Yilgarn block Western Australia; evidence for an ~~Archean~~ Archean ultramafic liquid. Geol. Soc. Austral. Spec. Publ., 1971, N3, p. 331-347.
87. Petrophysics: the petrographic interpretation of the physical properties of rocks. Montoto Modesto. "Proc. 5 Congr. Int. Soc. Rock Mech., Melbourne, Apr, 1983, vol. 1", Rotterdam, 1983.