

Санкт-Петербургский государственный университет

**Тырнован Владислав Марчелович**

**Выпускная квалификационная работа**

**Строение и вещественный состав малосульфидной платинометальной  
минерализации «Донной залежи» Мончегорского расслоенного комплекса на  
участке 3.Ниттис**

Основная образовательная программа бакалавриата СВ.5018.2016 «Геология»

Направление 05.03.01 «Геология»

Научный руководитель:  
ст. преподаватель С.И. Корнеев

Рецензент:  
Семенов Владимир Сергеевич

Санкт-Петербург  
2020г.

## Оглавление

Введение.....	3
1. Глава1. Обзор наиболее известных малосульфидных платинометальных месторождений в расслоенных интрузиях .....	4
1.1 Бушвельдский массив	
1.2 Массив Стиллиуотер	
Глава2. Геологическая позиция и строение Мончегорского расслоенного комплекса..	7
Глава3. Геолого-петрографическая характеристика разреза донной залежи.....	14
3.1 Геолого-петрографическая характеристика разреза по скважине МТ-76	
3.2 Геолого-петрографическая характеристика разреза по скважине МТ-88	
Глава4. Особенности рудной минерализации и распределение химических элементов по разрезу донной залежи.....	36
4.1. Особенности рудной минерализации	
4.2 Особенности минерализации благородных металлов	
4.3 Особенности распределения Pd, Pt, Au, Cu, Ni, S в разрезах скважин МТ-76 и МТ-88	
Заключение.....	41
Список использованной литературы.....	43

## Введение

Металлы платиновой группы имеют большое значение для экономики России. Изучение месторождений МПГ является актуальной задачей для геологов. Одним из перспективных объектов является Мончегорский район. В данной работе рассматривается участок Западный Ниттис Мончегорского расслоенного комплекса, характеризующийся содержанием малосульфидных платинометаллических руд.

Целью настоящей работы является изучение геологического строения и вещественного состава малосульфидной платинометаллической минерализации «Донной залежи» Мончегорского расслоенного комплекса на участке Западный Ниттис на примере скважин МТ-76 и МТ-88.

Для выполнения этой цели были поставлены следующие задачи:

- описание геологии Мончегорского массива на основе изученной литературы
- изучение рудовмещающих пород для построения разрезов по скважинам
- детальное изучение позиции рудных тел и их вещественного состава
- выявление особенностей распределения Cu, Ni, S, Pt, Pd, Au по разрезу

Для выполнения задач были проведены следующие исследования:

- изучение научной литературы и фондовых материалов по теме исследования
- изучение образцов и фотографий керна
- изучение петрографических шлифов (57 шт.) и прозрачно-полированных шлифов (29 шт.) пород массива
- описание и построение разрезов по скважинам
- изучение распределения Pd, Pt, Au, Cu, Ni, S в разрезах скважин МТ-76 и МТ-88

Автор выражает большую благодарность научному руководителю - Корнееву Сергею Ивановичу за помощь и консультации по любым вопросам в ходе выполнения работы, предоставление образцов керна, шлифов, прозрачно-полированных шлифов, документаций керна скважин МТ-88, МТ-76, научной литературы и фондовых материалов. Благодарность преподавателям Института Наук о Земле СПбГУ и, в особенности, кафедры ГМПИ.

## **Глава 1. Обзор наиболее известных малосульфидных платинометалльных месторождений полезных ископаемых: особенности строения, положения рудных тел**

Подгруппа платинометалльных малосульфидных месторождений в ритмично расслоенных комплексах является частью группы собственно магматогенных (флюидо-магматогенных) месторождений и проявлений. Данная группа входит в класс эндогенных платинометалльных месторождений и рудопроявлений.[2]

Подгруппа платинометалльных малосульфидных месторождений в ритмично расслоенных комплексах объединяет три геохимические разновидности МПГ, выделяемые по характерным ассоциациям платиновых металлов: платино-палладиевую, палладиево-платиновую и золото-палладиево-платиновую.[2]

### **1.1 Бушвельдский массив**

Расслоенные массивы являются наиболее важными геологическими образованиями, с которыми связаны с платинометалльные месторождения.

Классическим примером подобной структуры является самый крупный в мире ритмично расслоенный комплекс - Бушвельдский массив в ЮАР, в котором сконцентрировано большинство мировых запасов ЭПГ. Возраст массива составляет 2,05 млрд. лет, а площадь равна 67000 км<sup>2</sup>. Комплекс расположен на Капваальском щите Южно-Африканской платформы. В плане массив вытянут в форме овала на 430 км в субширотном направлении и на 260 км в субмеридианальном. Массив является лополитом и имеет максимальную мощность около 9000м.[2][8]

Исследователи выделяют Нижнюю ультрамафитовую, переходную Критическую мафит-ультрамафитовую, Главную и Верхнюю мафитовую зоны. Запасы локализуются в трёх наиболее важных месторождениях, приуроченных к Критической зоне: Рифе Меренского, рифе UG-2 и Платриффе.[3]

По классификации А.Налдретта и Л.Карби[2] выделится два типа платинометалльных месторождений расслоенных интрузий, различных по минеральным ассоциациям: сульфидной и окисно-сульфидной. К первому типу относятся месторождения Риф Меренского и Платриф, ко второму – риф UG-2.

#### **Риф Меренского**

Риф Меренского приурочен к верхней части Критической зоны, состоящей из

ритмической пачки бронзититов, норитов, анортозитов. Эта пачка называется “Ритм Меренского”. [3]

Риф Меренского Риф Меренского имеет мощность от 1 до 5 м. В западной части Бушвельдского массива он представлен пегматоидными бронзититами, маркируемыми сверху и снизу слоями хромитов, мощностью в несколько см. Протяжённость этих пород в западной части массива прослеживается до 200 км. Концентрация платиноидов проявлена вблизи нижнего и верхнего контактов. Верхний контакт характеризуется постепенным переходом в порфиновые бронзититы. [3]

В Восточной части массива породы Рифа Меренского прослеживаются на протяжении 130 км. Элементы платиновой группы концентрируются в верхней части порфировидного бронзитита. Вверх по разрезу породы сменяются норитами и анортозитами. [3]

Важной особенностью строения рифа является наличие округлых воронок. Наиболее крупные из них имеют неправильную форму, могут достигать нескольких тысяч метров в диаметре и иметь глубину около 30м. [3]

По мнению исследователей, содержание ЭПГ в рифе Меренского равно 6-8 г/т [3]. При этом Pt и Pd преобладают над остальными элементами платиновой группы. Отношение платины к палладию равно 2,3-2,4. [3]

Платиновая минерализация в породах Рифа Меренского связана с сульфидами, встречающимися в различных формах. Наиболее распространёнными из них являются пирротин, пентландит и халькопирит. Также присутствуют пирит, кубанит, макинавит и другие минералы. Минералы платиновой группы представлены брэггитом, куперитом, спериллитом, изоферроплатиной и прочими. [3]

### **Горизонт UG-2 Бушвельдского массива**

Хромитовый горизонт UG-2 располагается в верхней части Критической зоны, занимая промежуточное значение между нижележащим горизонтом хромитов UG-1 и вышележащем рифом Меренского. Горизонт прослеживается в западной и восточной частях Бушвельдского массива. Мощность слоя изменяется от 0,15 до 2,55 м. Горизонт представлен одним или несколькими слоями, которые разделяются прослоями пироксенитов. [3]

Главными минералами горизонта являются хромит, ортопироксен и плагиоклаз. Ко второстепенным минералам относятся клинопироксен, МПГ, сульфиды, магнетит, рутил, кварц, биотит, хлорит, серпентин и другие. [3]

МПГ в значительной степени связаны с сульфидами в горизонте UG-2. Главные

сульфидные минералы - пентландит, пирротин, халькопирит, пирит. В небольшом количестве встречаются арсенопирит, сфалерит, галенит, марказит и другие. Сульфидное оруденение встречается, в основном, вдоль границ других минералов, реже в виде цепочек и в виде включений в хромитах.[3]

Средняя концентрация ЭПГ в хромитах UG-2 равна 7 г/т. Из элементов платиновой группы наиболее часто встречается платина(3,6 г/т) и палладий(3 г/т). Более редки рутений, родий, иридий, золото.[3]

### **Платриф Бушвельдского массива**

Платриф вытянут вдоль восточного края Погитерсрусского массива, являющегося частью массива Бушвельд. Платриф приурочен к верхней части критической зоны и нижней части главной зоны.[3]

Платриф - плоское геологическое тело с мощностью от более, чем 100 до 200м, падающее на запад под углом 80-50 градусов. Платриф состоит из грубозернистых плагиоклазовых пироксенитов. Состав пироксенитов изменяется в разных частях тела.[3]

Отличительной чертой пироксенитов является наличие ксенолитов доломитов.

Сульфидными минералами Платрифа являются пирротин, пирит, пентландит, халькопирит. Меньшее распространение имеют сфалерит, кубанит, галенит и другие.

Сульфидное оруденение распространено неравномерно. Содержание сульфидов в редких случаях превышает 5%. Главными минералами являются пирит, пентландит и халькопирит.[3]

Содержание элементов платиновой группы в Платрифе достаточно высоко, но менее значимо, чем в рифе Меренского и горизонте UG-2. Среднее содержание ЭПГ составляет 5,3 г/т.[3]

Промышленно важные запасы платины и палладия связаны с высоким содержанием никеля и меди, концентрации которых превышают 1000 г/т.[3]

По результатам исследований было установлено, что из минералов платиновой группы в Платрифе наиболее распространены платино-палладиевые теллуриды. Также встречаются сперрилит, платино-палладиевые сульфиды и твёрдые растворы, лаурит, электрум и родиевые растворы.[3]

## **1.2.Стиллуотерский массив**

Стиллуотерский массив расположен в южной части штата Монтана, США. Массив контролируется разломом Майкл-Крик северо-западного простирания. Он является расслоенным телом основных и ультраосновных пород. Возраст пород - докембрийский.[8]

Массив Стиллоутер имеет линзовидную форму. Линза простирается на 48 км в северо-восточном направлении, её ширина составляет 2-7 км. Общая площадь массива - 4400 км<sup>2</sup>. [2]

По данным С. Годда, Стиллоутерский комплекс состоит из магматических пород (мафиты и ультрамафиты ряда гарцбургит-габбро) трёх серий (сверху вниз): расслоенной, ультрамафитовой и базальной. [13]

Расслоенная состоит из переслаивающихся слоёв габбро, норитов, анортозитов и троктолитов. Эта зона включает в себя Хауленд Риф и ещё 9 сульфидосодержащих горизонтов. [3]

Ультрамафитовая серия имеет мощность 1600-2000 м. На 80% серия состоит из чередующихся прослоев бронзититов, гарцбургитов и хромититов с примесью минералов платиновой группы, в верхней части представлены бронзититы.

Базальная серия сложена бронзититами и норитами, имеет мощность 150 м. Породы содержат бедную медно-никелевую вкрапленность. [3]

### **JM или Хауленд Риф Стиллоутерского массива**

Хауленд-риф приурочен к расслоенной серии. Расслоенная серия состоит из 6 циклов.

Первый и второй цикл занимают нижнюю часть разреза. Каждый из циклов сложен норитами в нижней части и габбро-норитами в верхней. Циклы разделяются зоной OBZI - оливин-содержащей зоной мощностью 4-9 м. Именно к ней приурочен JM-риф. Зона OBZI сложена анортозитами, плагиоклазовыми лерцолитами, гарцбургитами, меланократовыми троктолитами. С данными породами переслаиваются бронзиты и нориты. [3]

JM-риф расположен внутри зоны OBZI и представляет собой прерывистый слой мощностью 1-2 м. JM-риф расположен в районе Миннеаполисской штольни в основании зоны OBZI в оливиновых и плагиоклазо-оливиновых кумулатах; в норитах, троктолитах и анортозитах в нижней части зоны (район Вест Форк) и в средней части зоны (район Фрог-Понд). Отличительной особенностью пород является грубозернистая структура.

Главными минералами расслоенных пород являются бронзит, оливин, битовнит, авгит. Содержание сульфидов, богатых платиноидами, составляет 0,5-2% в JM-риффе. Размер платиноидов составляет 5-50 мкм. Наиболее распространённые сульфиды - пентландит, пирротин и халькопирит, реже встречаются пирит, ковеллин, макинавит, миллерит, милленит, платиноиды. Размер сульфидов - 0,1 - 2 см.

Оруденение в JM-риффе относится к родий-платино-паладиевому типу. Отношение Pd/Pt составляет 3,5. Наиболее распространёнными минералами рифа являются брэггит-высоцкит, сперрилит, мончеит, куперит, котульскит, Pt-Fe твёрдые растворы. Таким

образом, Pd и Pt связаны с сульфидами ряда брэггит-высоцит, соединениями олова, мышьяка, теллура, висмута.[3]

## Глава.2 Геологическая позиция, строение, месторождения Мончегорского комплекса

Мончегорский рудный район расположен в центральной части Кольского полуострова, занимая большую часть северо-восточного побережья озера Имандра. На западе он ограничен водоразделом Главного хребта, а на востоке – горным сооружением Хибинских тундр, на севере он граничит с Оленегорским, а на юге – с Апатито-Кировским рудными районами.[9]

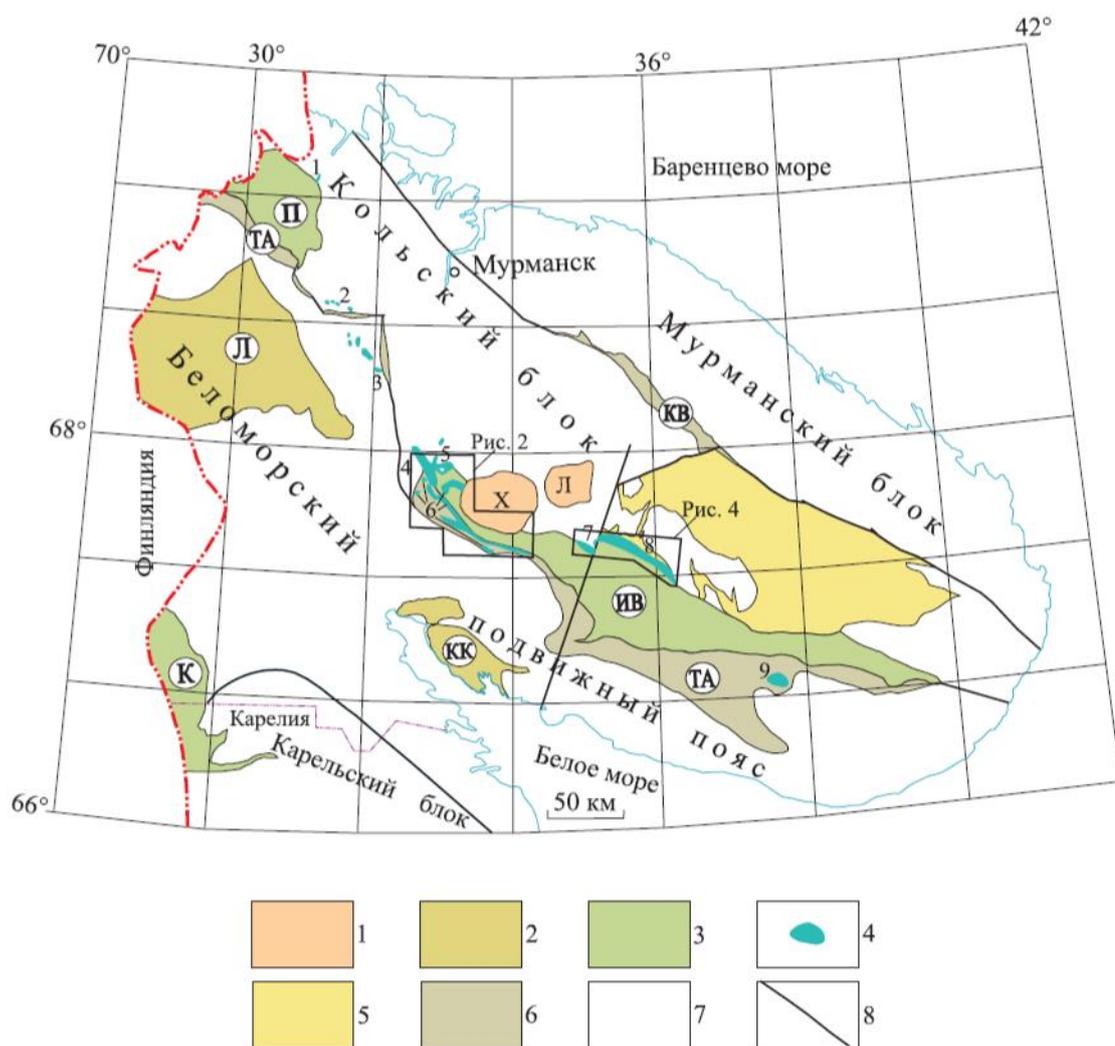


Рисунок 1.Схема расположения Имандра-Варзугской структуры (по Чашину В.В. и Митрофанову Ф.П) [12]

Условные обозначения:

1 – палеозойские плутоны нефелиновых щелочных сиенитов и фойдолитов: Хибинский (X), Ловозерский (Л); 2 – гранулитовые пояса: Лапландский (Л), Кандалакшско-Колвицкий (КК); 3 – палеопротерозойские рифтогенные структуры: Печенгская (П), Имандра-Варзугская (ИВ) и

Куолярвинская (К); 4 – ультрабазитовые интрузии с возрастом около 2,45-2,52 млрд. лет: г. Генеральская (1), Солозеро (2), Улитаозерская (3), Мончетундровская (4), Мончеплутон (5), Имандровский комплекс (6), Федорова тундра (7), Панские тундры (8), Песочная (9); 5 – неoarхейская Кейвская структура с щелочными гранитами в ее обрамлении; 6 – неoarхейские зеленокаменные пояса: Колмозеро-Воронинский (КВ), Терско-Аллареченский (ТА); 7 – архейские метаморфические и ультраметаморфические образования; 8 – разрывные нарушения. Мончегорский рудный район приурочен к области сочленения трёх крупных докембрийских геологических структур Кольского региона – Беломорского и Центрально-Кольского мегаблоков и Имандра-Варзугской зоны Карелид.[13] Отличительной особенностью данного района является неоднократное внедрение магм различного состава и наличие многократных структурно-тектонических и динамометаморфических преобразований.[9]

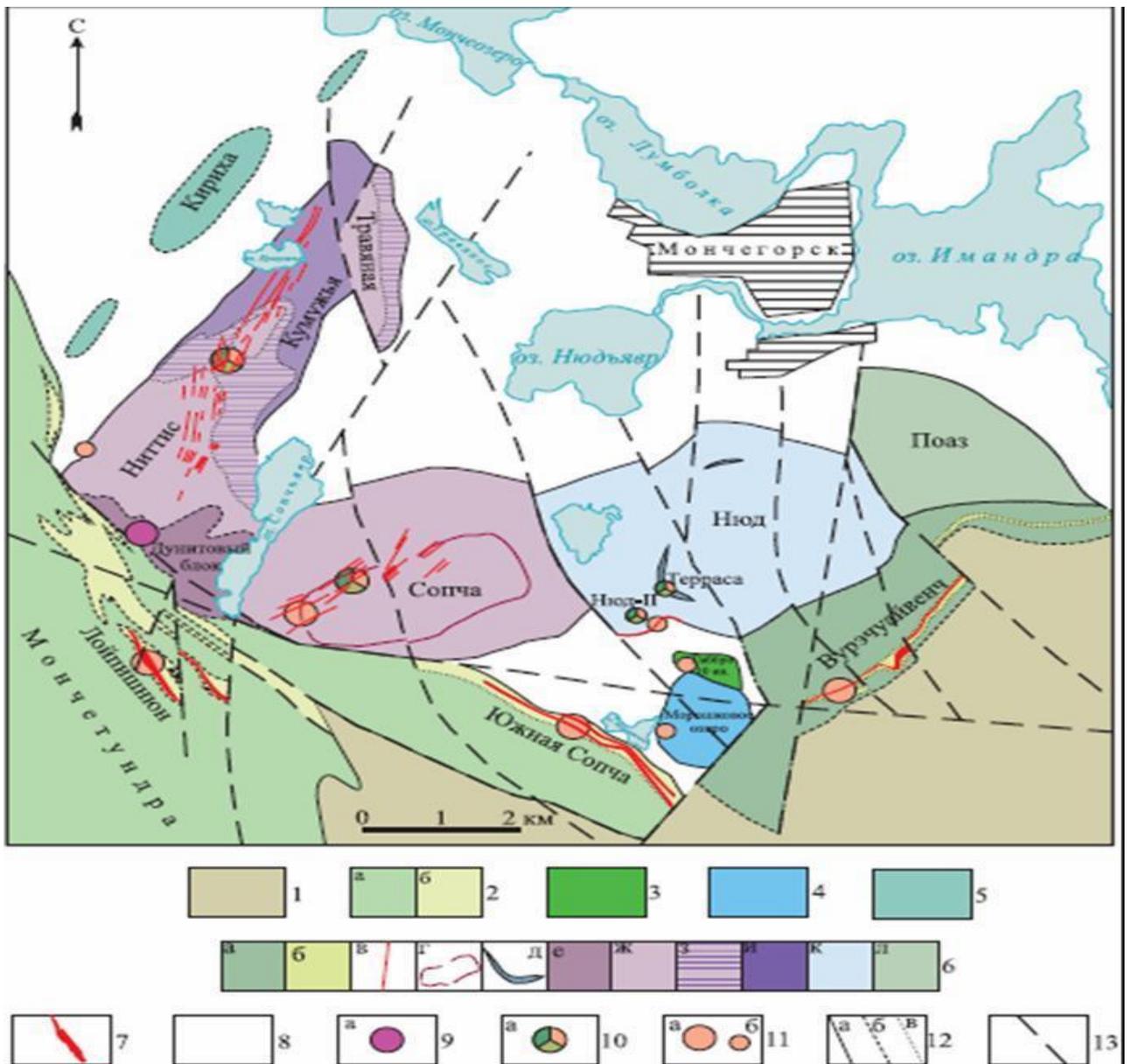


Рисунок 2. Схема размещения месторождений и проявлений в пределах Мончегорского района (по Чащину В.В., Митрофанову Ф.П.,2014)[12]

Условные обозначения:

1-Имандра-Варзутская рифтогенная структура

2- Мончетундровский массив: верхняя зона-метагаббро, метагаббро-нориты и анортозиты средне-крупнозернистые(а), нижняя зона-нориты и ортопироксениты мелко-

среднезернистые (б); 3-кварцовое метагаббро массива 10-й аномалии; 4- нориты лейко-мезократовые массива Морошковое озеро; 5-габбро-нориты массива Кириха; 6-

Мончеплутон: метагаббро-нориты (а) и плагиоклозиты (б) предгорий Вурэчуайвенч, сульфидные жилы (в), пласт 330-го горизонта (г) «критический горизонт» (д), Дунитовый блок (е), ортопироксениты (ж), переслаивание ортопироксенитов и гацбургитов (з),

гарцбургиты (и), нориты (к), габбро-нориты (л), 7- горизонты сульфидной платино-метальной минерализации; 8- архейские метаморфические и ультраметаморфические

образования Кольского блока; 9-11- месторождения (а) и проявления (б): 9-хромовых руд, 10-платино-медно- никелевых руд, 11-малосульфидных платинометаллических руд; 12

геологические границы: достоверные(а), предполагаемые (б), фациальные (в); 13- разрывные нарушения Мончеплутона и его обрамления

Граница между Беломорским и Центрально-Кольским мегаблоками представлена тектоническими разломами и зонами бластомиланитов и катаклазитов.

Беломорский блок обнажается в юго-западной части района. Он представлен тоналитовыми гнейсами, магматитами, амфиболитами, пегматитами. Данные породы были несколько раз деформированы и смяты в линзовидные складки. Они прорваны телами гранитоидов позднеархейского и раннепротерозойского возрастов, а также будинированными габброноритами.[7]

Позднеархейские плагиограниты были сформированы приблизительно 2814 млн лет назад(по данным U-Pb анализов, гнейсы были структурно преобразованы 2500-2200 млн лет назад.[7]

Центрально-Кольский мегаблок расположен в северо-восточной части района. Возраст мегаблока – поздний архей. Его породы образуют три комплекса. Первый расположен в районе Веже-Тундра. Его слагают олигоклазовые граниты, плагиограниты и диориты, часто образующие куполовидные структуры. Возраст комплекса  $2870 \pm 70$  млн лет в районе Веже-Тундра(Бибикова, 1989). Второй комплекс слагают железистые кварциты,

биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы и силлиманит-гранатовые гнейсы, которые занимают межкупольные пространства или образуют чешуйчато-надвиговые формы. Возраст железистых кварцитов и лептитовых гнейсов  $2760 \pm 11$  млн лет, возраст гранат-биотитовых и силлиманит гранат-биотитовых гнейсов в Оленегорском районе –  $2740 \pm 10$  млн лет (по данным U-Pb анализов). Третий комплекс представлен кислыми метавулканогенными образованиями. Их возраст -  $2707 \pm 11$  млн лет. Они располагаются в пределах горы Арваренч и слагают верхнюю часть позднеархейского зеленокаменного пояса. Также к данному комплексу относятся амфиболиты по вулканитам основного состава витегубской толщи, находящиеся на юго-западе региона.[7]

Имандра-Варзугская зона в пределах Мончегорского района представлена осадочно-вулканогенными и субвулканическими породами основного и среднего состава, метаморфизованными в условиях эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Данные породы несогласно залегают с угловым несогласием на породах архейского комплекса (гора Арваренч, Мончеполуостров) и интрузивных породах Мончеплутона (в районе предгорья Вурэчуайвенч). Они слагают фрагмент мульдообразной структуры северо-западного залегания с центриклинальным залеганием. Данную структуру слагают три толщи метавулкаников основного и среднего состава, и разделяющие их пласты туфогенно-осадочных пород общей мощностью 2500-3000 м. Наиболее древний возраст данных пород 2448-2434 млн лет.[7]

Важной особенностью геологического строения района также является наличие двух интрузий – Мончегорской (Мончеплутона) и Мончетундровской, являющейся частью интрузии главного хребта.[7]

Мончеплутон входит в состав перидотит-пироксенит-габброноритовой формации.[7] Интрузии данной формации образовались в восточной части Балтийского щита в начале раннего протерозоя. Они образуют две группы: более древнюю - Мончеплутон, гора Генеральская, Фёдорово-Панская (2507-2490 млн лет) и более молодую – Кеми, Койлисса, Койтелайнен, Пеникат, Бураковская, Анкаваара, Луккулайсваара, Киввака, Ципринга, умбачеренско-имандровский комплекс. Наиболее древними являются Мончеплутон, массивы Панских тундр и гора Генеральская, что свидетельствует о первоначальном подъёме мантийных магм в центральную часть Кольского полуострова с дальнейшим формированием расслоенных интрузий в Северной и Восточной Карелии, Северной и Центральной Финляндии.[7]

Расслоенные интрузии сложены преимущественно оливином, ортопироксеном и плагиоклазом при подчинённой роли клинопироксена. К ним приурочены месторождения платиноидов, никеля и хрома. Для Мончеплутона характерны месторождения сульфидных

руд, для некоторых интрузий характерны месторождения хромитовых руд (в данный момент разрабатывается только месторождение Кеми).[7]

В пределах Мончегорского района встречаются прочие расслоенные интрузивные массивы, в строении которых принимают участие породные парагенезисы: Ярва-Варака, представленная гранофировыми кварцевыми диоритами иноритами; гора Островская, представленная дунит-гарцбургит-лерцолит-вебстерит-габброноритами; умбареченско-имандровский комплекс, представленный ортопироксенит-норит-габбронорит-габбро-гранофирами.[7]

Интрузия Главного хребта состоит из двух комплексов-позднеархейского(габбро-анортит-моноцитового) и раннепротерозойского(габбро-анортозитового).

Габброиды Главного хребта и вмещающие породы архейского комплекса секутся многочисленными интрузиями ультрабазитов районенчорского комплекса. Они приурочены к тектоническим зонам и секутся многочисленными интрузиями ультрабазитов.[7]

Многочисленные дайки долеритов и габброноритов прерывают толщи архейского фундамента и породы Мончегорского и Мончетундровского массивов. Дайки ферропикритов завершают раннепротерозойский мантийный магматизм. Они приурочены к воронье-лумболовскому комплексу. Они относятся к габбро-верлитовой формации, а их возраст равен 1990-1940 млн лет.[7]

### **Особенности строения Мончеплутона**

Мончеплутон (Мончегорский массив) является частью Мончегорского рудного района. Он уникален по своему строению и разнообразию сульфидных руд.[9] Мончеплутон имеет дугообразную форму в плане, состоит из двух ветвей: меридиональной и широтной. Обе ветви наклонены в сторону юго-востока. В состав первой входят горы Ниттис, Кумужья и Травяная ( НКТ). Её длина составляет 7 км. Длина широтной – 9 км. В её состав входят горы Сопчуайвенч, Ньюдуайвенч и Поазуайвенч (Сопча, Нюд, Поаз). Горы имеют форму симметричной мульды. Крылья падают под углами 30-40° (Ниттис-Кумужья-Травяная) и 20°-45° (Сопчуайвенч-Ньюдуайвенч-Поазуайвенч) к осевым частям при 10-15° падении расслоенности.[14]

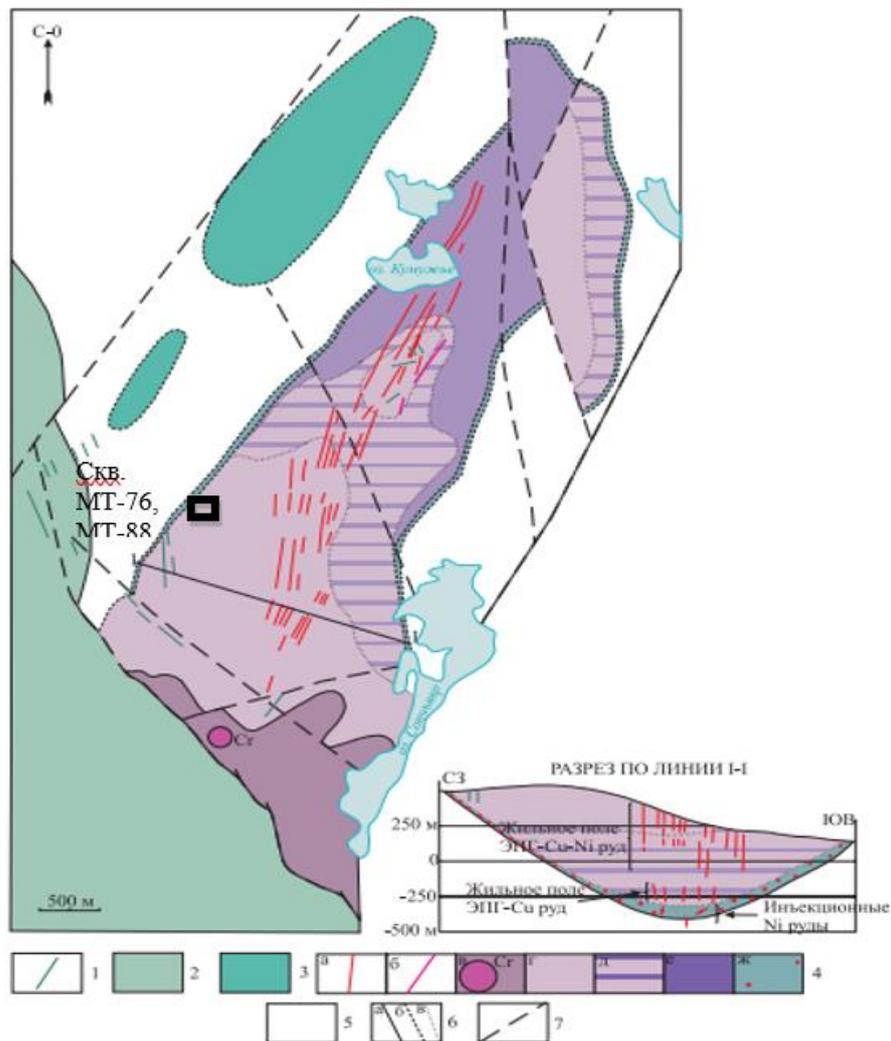


Рис. 3. Схема геологического строения массива НКТ (по Чашину В.В., Митрофанову Ф.П., 2014)[12]. Скважины отмечены по данным Корнеева С.И.

Условные обозначения

- 1 – дайки метадолеритов; 2 – Мончетундровский массив: метагаббро, метагаббронориты, нориты и ортопироксениты; 3 – массив Кириха: габбронориты; 4 – массив НКТ: сульфидные жилы (а), сульфидно-магнетитовые жилы (б), Дунитовый блок и Сопчеозерское месторождение хромитов (в), ортопироксениты (г), переслаивание ортопироксенитов и гарцбургитов (д), г арцбургиты (е), кварцсодержащие нориты и габбронориты придонной зоны и связанная с ними сульфидная минерализация ( ж); 5 – Кольский метаморфический комплекс: плагиогнейсы биотитовые и амфибол-биотитовые, амфиболиты; 6 – геологические границы: достоверные (а), предполагаемые (б), фациальные (в); 7 – разрывные нарушения.

Петрографический состав пород Мончеплутона представлен непрерывным

дифференцированным разрезом от перидотитов до габбро-норитов [9].

В сводном разрезе Мончеплутона выделяются следующие зоны: базальная, перидотитовая, перидотит-пироксенитовая, пироксенитовая, норитовая, норит-габброноритовая, габбронорит-анортозитовая.[14]

Общая мощность массива Ниттис-Кумужья-Травяная увеличивается с севера на юг от 200 до 1000 м, мощность массива Сопча равна 1100–1600 м и является максимальной в пределах Мончегорского плутона. Общая мощность Массива Нюд-Поаз составляет около 800м.[12]

Породы Мончеплутона секутся многочисленными дайками и жилами основных пегматитов, долеритов, диоритов, лампрофиров, и рудными жильными телами (наиболее часто встречающимися в пределах гор Ниттис, Кумужья и Травяная и Сопча), иногда сменяющимися по простиранию основными пегматитами.[14]

Мончеплутон пересечен серией сбросо-сдвигов, которые разбивают его на блоки. Наиболее крупные сбросы в пределах массива Ниттис-Кумужья-Травяная и Сопчи(с запада на восток): Южный, Широтный, Северо-западный, Порфиновый, Меридиональный, Северный. Широтный, Порфиновый и Северо-западный играют важную роль в формировании структуры жильного поля НКТ. Лампрофировый, Центральный и Восточный разбивают на блоки массив Нюд-Поаз.[14]

Мончеплутон, как и многие расслоенные интрузии Балтийского щита, подвергался глубокой денудации дважды – в раннем протерозое в результате тектонической активизации (2.4 млн. лет назад) и в кайнозое в результате ледниковой эрозии. Это является причиной эродированности части общего и частных разрезов Мончеплутона.[14]

### **Глава3. Геолого-петрографическая характеристика разреза донной залежи**

При петрографическом изучении пород была использована следующая литература.[1][4][6][11]

#### **Геолого-петрографическая характеристика пород скважины МТ-76**

Интервал 3-95,3 представлен плагиоклазсодержащим ортопироксенитом.

Текстура пород – директивная. Структура – гипидиоморфнозернистая, отмечаются участки с пойкиллитовой структурой.

Кумулус представлен оливином и ортопироксеном, интеркумулус – клинопироксеном, биотитом и плагиоклазом.

Последовательность минералообразования: первым образовывался оливин, вторым – ортопироксен, третьим – клинопироксен.

Встречается неравномерная вкрапленность рудных минералов, представленных сульфидами (до 2-3 %).

Интервал 95,3-128.0 представлен норитами. Текстура породы – массивная, структура – гипидиоморфнозернистая.

Кумулус представлен ортопироксеном и плагиоклазом. Интеркумулус – клинопироксеном и биотитом. Последовательность минералообразования – первым образовался ортопироксен, затем плагиоклаз, позднее клинопироксен,

Наблюдается неравномерно распределённая рудная вкрапленность, представленная магнетитом и сульфидами (1-2%, до 10-20% на интервалах 97,8-98,7 м и 102-105,8 м).

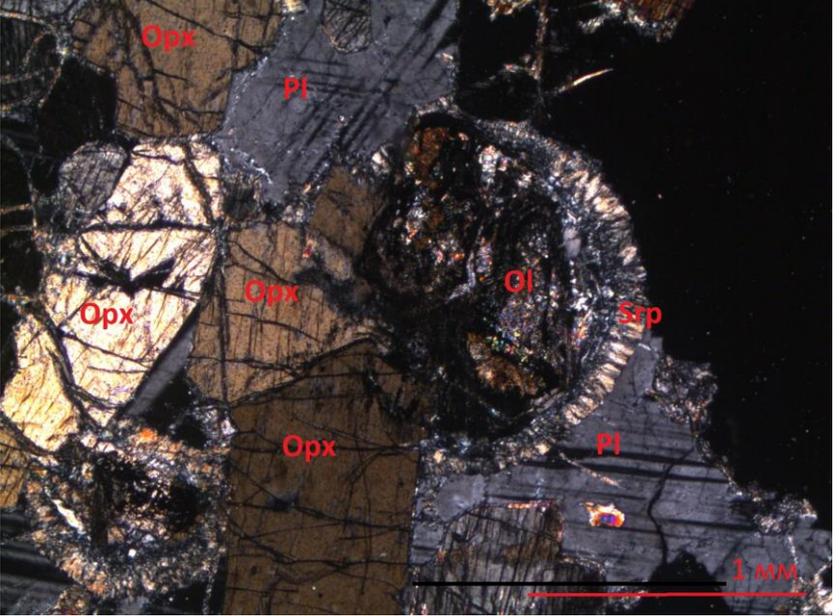
Интервал 129,6-131,4 представлен долеритом. Структура – бластогабброфитовая, микродолеритовая. Текстура – массивная.

Минералом кумулуса является плагиоклаз, интеркумулус представлен пироксеном и биотитом.

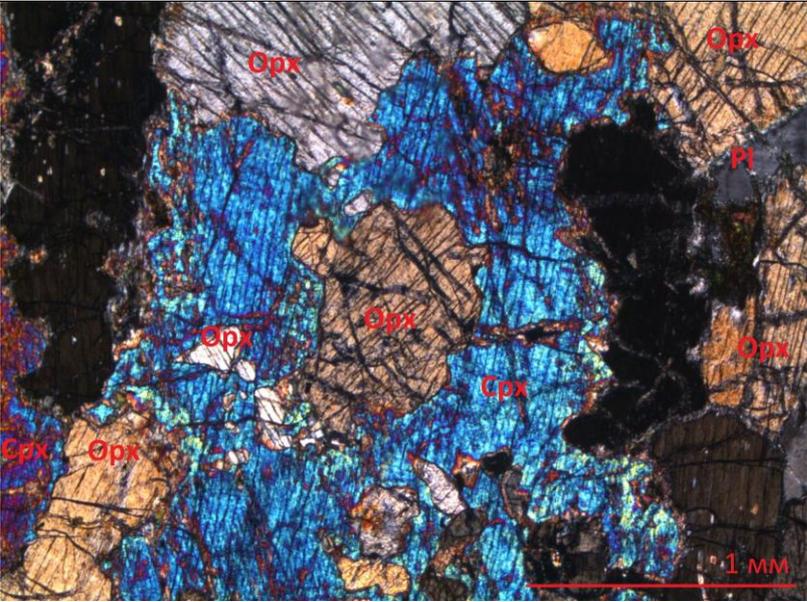
Пироксен представлен реликтами, что свидетельствует о наличии бластеза.

Рудная минерализация распределена равномерно. Встречаются тёмноцветные хромшпинелиды и в небольшом количестве сульфиды.

Интервал 133-136,4 представлен разгнейсованным норитом. Текстура – массивная, гнейсовая. Структура – гнейсовидная.

Минералы кумулуса и интеркумулуса	Материал	Петрографическое описание
Плагиоклазодержащий ортопироксенит (в интервалах 0-43м и 60-95,3м) Кумулус-отропироксен. Интеркумулус-клинопироксен, плагиоклаз. Плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит (в интервале 43-60) ортопироксенит Кумулус-оливин, отропироксен. Интеркумулус-клинопироксен, плагиоклаз	Шлифы 14,5 48,4 55,7 Ппш 73,8	 <p>Рис.4 Шлиф 48,4. Плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит. Увеличение 4х. Зерно оливина</p> <p>Оливин</p> <p>В шлифах 48,4 и 55,7 присутствуют зёрна оливина(до 0,3 мм). Морфология изометричная. Граница с пироксеном отсутствует. Оливин замещается серпентином и магнетитом.</p> <p>В шлифах 14,5; 48,4 и 55,7 встречаются следующие минералы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Ортопироксен. Морфология призматическая. Занимает приблизительно 90 процентов площади шлифа. Зёрна различной размерности (до 4 мм).Встречаются ойкокристаллы ортопироксена, включающие зёрна клинопироксена.</li> <li>2.Клинопироксен. Размер зёрен до 5 мм. Занимает приблизительно 5 процентов площади шлифа. Морфология ксеноморфная.</li> </ol>

	<p>3. Плаггиоклаз Средний размер зёрен – 0,5 мм. Морфология ксеноморфная. Занимает менее 5 процентов площади шлифа.</p> <p>4. Биотит. Развивается по трещинам в ортопироксене. Занимает менее двух процентов площади шлифа.</p> <p>5. Кварц. Морфология - ксеноморфная. Занимает менее двух процентов площади шлифа.</p> <p>6. Амфибол является вторичным минералом. Развивается по пироксену в трещинах и каймах.</p> <p>Последовательность минералообразования: первым образован оливин, вторым – ортопироксен, третьим – клинопироксен, затем образовались биотит и кварц.</p> <p>Кумулус представлен оливином и ортопироксеном, интеркумулус – клинопироксеном, биотитом и плагиоклазом.</p> <p>Встречается неравномерная вкрапленность рудных минералов, представленных сульфидами (до 0,5%). В интервале 74-75,6 м вкрапленность сульфидов равномерная, она достигает 3%. Характеризуется преобладанием халькопирита, также встречаются пирротин и пирит.</p> <p>Встречаются вкрапленные зёрна и гнёзда сульфидов.</p> <p>Наблюдается неравномерная вкрапленность магнетита, увеличивающаяся вниз по разрезу.</p> <p>Текстура породы – директивная (директивность - 70-90°).</p> <p>Структура – гипидиоморфнозернистая, отмечаются участки с пойкилитовой структурой (зёрна ортопироксена в клинопироксене). Порода мелкосреднезернистая, равномернозернистая.</p>
--	--

		 <p>Рис5. . Плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит. Ойкокристалл клинопироксена, включающий ортопироксен. Шлиф 48,4. Увеличение 4х.</p> <p>Порода данного состава- плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит.</p>
<p>Норит Кумулус – ортопироксен, интеркумулус – клинопироксен, плагиоклаз, биотит</p>	<p>Шлиф ы 108,9 110,7 112,5 115,2 117,4 119,0 121,0 123,4 125,4 127,5 Ппш 98,0 98,6 102,2 104,8 105,8</p>	<p>В шлифах встречаются следующие минералы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Ортопироксен. Морфология таблитчатая, призматическая. Размер зёрен различен(до 3 мм). Встречается в ойкокристаллах плагиоклаза. Занимает приблизительно 30 процентов площади шлифа.</li> <li>2.Клинопироксен Морфология - ксеноморфная. Размер кристаллов до 1 мм. Занимает приблизительно 5 процентов в шлифе.</li> <li>3.Плагиоклаз Занимает приблизительно 60 процентов площади шлифа. Размер зёрен до 0,4 мм. Имеет ксеноморфную морфологию.</li> <li>4.Биотит. Занимает менее 10 процентов в шлифе. Развивается по пироксену и образует отдельные зёрна.</li> </ol> <p>В отдельных шлифах в незначительных количествах встречаются зёрна кварца. Морфология – ксеноморфная. Является минералом поздней кристаллизации.</p>

Также в шлифе 108,9 присутствуют единичные зёрна апатита.

Последовательность минералообразования: первым образован ортопироксен, вторым- клинопироксен, третьим – плагиоклаз, четвёртым – биотит

Кумулус представлен ортопироксеном, интеркумулус – клинопироксеном, плагиоклазом и биотитом.

Вторичным минералом является амфибол, который развивается по пироксену в трещинах и каймах.

Рудная минерализация проявлена неравномерно распределёнными вкрапленниками магнетита. Также в интервале наблюдается неравномерное вкрапление сульфидов размером до 0,5 мм.(менее 0,5%). Однако, присутствуют два интервала (97,8-98,7 м) и (102-105,8 м) с мелко – и среднезернистой вкрапленностью сульфидов(более 10% на некоторых участках), распределенной равномерно. Встречаются вкрапленные зёрна и гнёзда сульфидов. Минералы представлены халькопиритом, пирротинном и пиритом. Размер рудных включений – 1-3 см. На участке 97,8-98,7 отмечаются прожилки с сульфидным заполнением, падающие под углом  $10^\circ$  к оси керна.



		<p>Рис. 6. Фото керна на участке 97,8-98,7 (документация С.И.Корнеева). Мелкосреднезернистый норит.</p> <p>Наблюдаются мелко-среднезернистая вкрапленность и гнёзда сульфидных минералов (до 1 см) и сульфидный прожилок. Текстура породы – массивная, структура – гипидиоморфнозернистая, встречаются участки с пойкилитовой. Порода мелко-среднезернистая, равномернoзернистая.</p> <p>Порода данного состава – норит.</p>
Долерит	129,6 131,4 131,9	<p>В шлифе встречаются следующие минералы:</p> <p>1. Плаггиоклаз. Морфология - призматическая. Средний размер зёрен - 0,5 мм</p> <p>2. Пироксен. Представлен реликтами, что свидетельствует о наличии бластеза – явлении магматической структуры с преобразованиями.</p> <p>Также присутствуют зёрна граната, биотита, кварца.</p> <p>Из вторичных минералов присутствует амфибол, образующийся по трещинам в пироксене.</p> <p>Текстура породы – массивная, структура – бластогабброфитовая.</p> <p>Порода данного состава является долеритом.</p> <p>Шлиф 131,4 представлен дайкой долерита. Минеральный состав аналогичен составу вышеописанного шлифа. Порода мелкозернистая. Вторичные замещения усилены вдоль кварц-плаггиоклазовой прожилки. Также присутствует замещение плаггиоклазовой жилки карбонатами.</p> <p>На данном интервале присутствует зона закалки.</p> <p>Рудная минерализация распределена равномерно.</p> <p>Встречаются тёмноцветные хромшпинелиды и в небольшом количестве сульфиды.</p>

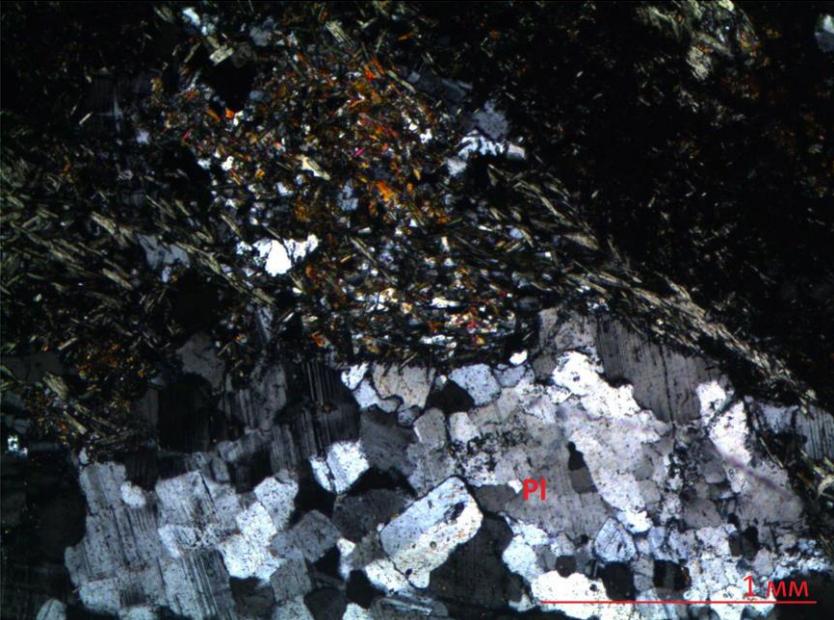
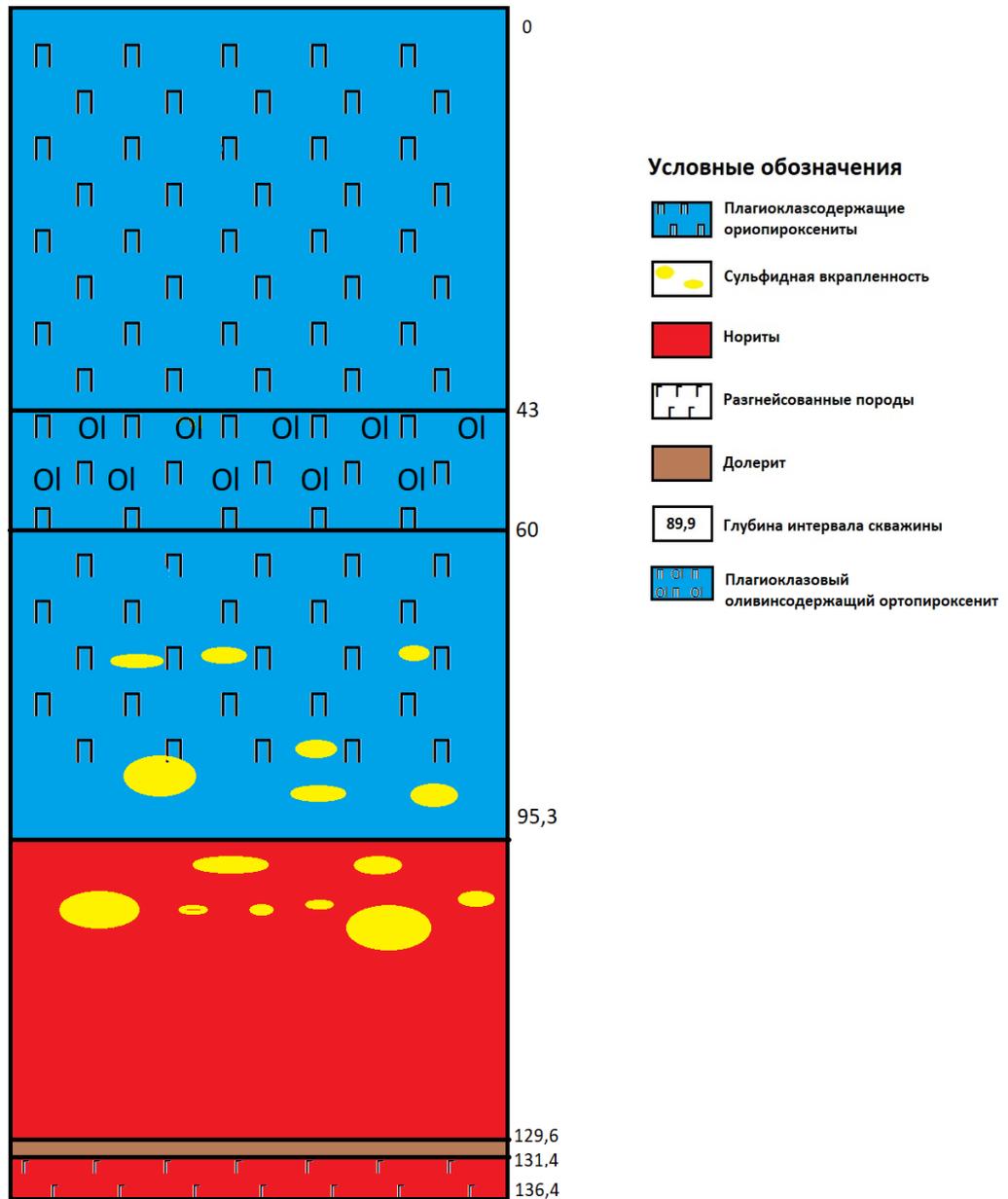
		<p>Текстура массивная, структура микродолеритовая.</p>  <p>Рисунок 7. Долерит. Шлиф 131,4. Увеличение 4х.</p>
<p>Разгнейсованный норит</p>	<p>133,0 136,4</p>	<p>Интервал представлен разгнейсованным норитом.</p> <p>Встречаются участки с сильно перетёртым материалом, возникшие в связи с деформациями. В шлифе встречаются следующие минералы: клинопироксен, плагиоклаз, кварц, биотит, гранат. Также присутствуют вторичные минералы: амфибол, хлорит.</p> <p>Структуры породы – гнейсовидная, текстура – гнейсовая.</p>  <p>Рисунок 8. Разгнейсованный норит. Шлиф 136.0. Увеличение 4х.</p>

Рисунок 9. Схематический разрез по скважине МТ-76. Построен Тырнованом В.М. по данным автора с использованием документации керна С.И.Корнеева



### 1. Геолого-петрографическое описание разреза скважины МТ-88

Породы скважины МТ-88 представлены на большей части разреза среднезернистыми плагииоклазодержащими ортопироксенитами. Текстура пород – директивная, иногда массивная. Структура – гипидиоморфнозернистая, отмечаются участки с пойкиллитовой структурой.

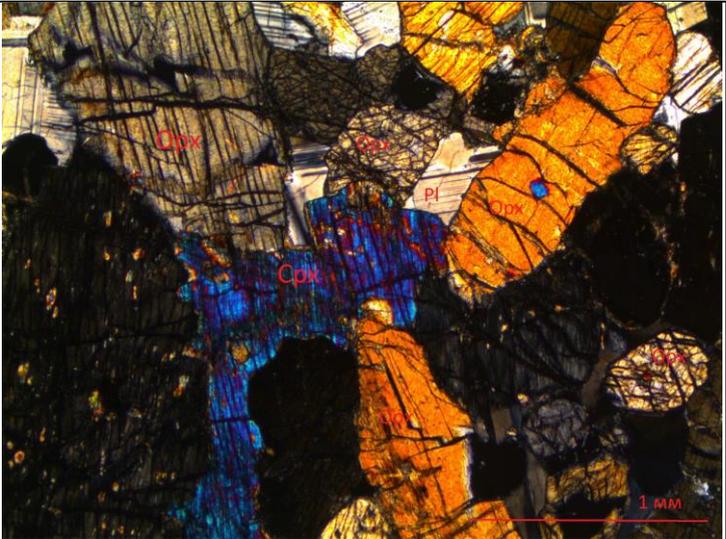
Кумулус представлен ортопироксеном, наиболее часто встречающимся в породах. Он образует директивную структуру. На некоторых участках кумулусным минералом также

является оливин.

В большинстве случаев клинопироксен и плагиоклаз являются интеркумуляусными минералами. Клинопироксен встречается в виде отдельных зёрен и ойкокристаллов, содержащих зерна ортопироксена.

Породы и последовательность минералообразования	Материал	Петрографическое описание
<p>Плагиоклазовый Оливинсодержащий ортопироксенит.</p> <p>Минералы кумулуca: оливин, ортопироксен.</p> <p>Минералы интеркумуляуса: клинопироксен, плагиоклаз</p>	<p>Шлифы</p> <p>5,8</p> <p>8.9</p> <p>15.8</p> <p>27.1</p>	<p>Наибольшую площадь шлифов на данном интервале занимают кристаллы ортопироксена, образующие директивную структуру. Их морфология – гипидиоморфнозернистая. Размер от первых десятков мкм до 1 мм., преобладают призматические среднезернистые агрегаты, иногда встречаются мелко- и крупнозернистые. Занимает около 90% в шлифах.</p> <p>Вторым по распространённости является оливин, в котором ярко выражены вторичные изменения: по каймам развивается серпентин, внутри зёрен замещаются карбонатом, тальком и тремолитом. Размер зёрен оливина достигает 0,4 мм. Занимает около 4% в шлифах.</p> <p>Третьим минералом по распространённости является клинопироксен. Размер кристаллов достигает 0,8 мм. Преобладают мелко-среднезернистые, реже встречаются крупнозернистые кристаллы. Также присутствуют ойкокристаллы, включающие зерна ромбического пироксена. Занимает около 3% в шлифах.</p> <p>По трещинам в моноклинном пироксене развиваются кварц-плагиоклазовые прожилки и амфиболы.</p>

		<p>Плагиоклаз в данном интервале имеет ксеноморфную морфологию. Размер зёрен достигает 0,5 мм. Плагиоклаз занимает свободное пространство между орто- и клинопироксеном. В шлифах 8.9 и 15.8 плагиоклаз образует ойкокристаллы, включающие зёрна пироксенов. Занимает около 2% в шлифах.</p> <p>В небольшом количестве встречаются зёрна биотита, занимающие свободное пространство в шлифах.</p> <p>Вторичные изменения выражены амфиболизацией моноклинного пироксена и сосюритизацией плагиоклаза.</p> <p>Структура породы гипидиоморфнозернистая, текстура директивная.</p> <p>Минералы образовались в следующем порядке: 1- оливин, 2-ортопироксен, 3- клинопироксен, 4-плагиоклаз.</p> <p>Рудная минерализация представлена следующими минералами:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. гипидиоморфнозернистые хромшпинелиды</li><li>2. неравномерно вкрапленные сульфиды, размером менее 0,1 мм. Представлены пиритом и халькопиритом, локализованы вблизи прожилков и неравномерно распределены.</li></ol> <p>Порода данного минерального состава - оливиновый ортопироксенит.</p>
--	--	--

		 <p data-bbox="756 734 1326 875">Рисунок 10. Шлиф 8,9. Увеличение 4х? – плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит.</p>
<p data-bbox="237 999 560 1413">Плагиоклазсодержащий ортопироксенит Минерал кумулуса - ортопироксен. Минералы интеркумуляса: клинопироксен, плагиоклаз</p>	<p data-bbox="608 999 719 1249">Шлифы 34.8 39.9 43.0 52.4</p>	<p data-bbox="756 999 1453 2018">Наибольшую площадь шлифа занимает ортопироксен (около 90%). Размер зёрен – до 1 см. Морфология – призматическая, зёрна образуют директивную текстуру. Агрегаты замещаются амфиболом по трещинам и каймам. Клинопироксен (около 3% в шлифе) имеет ксеноморфную морфологию. В зёрнах присутствует большое количество трещин толщиной до 1 мм, по которым развиваются жилы кварца. Плагиоклаз (около 7% в шлифе) имеет ксеноморфную морфологию. Он заполняет свободное пространство между орто- и клинопироксеном. Плагиоклаз подвержен вторичному замещению, выраженному сосюритизацией. В небольшом количестве встречается биотит, развивающийся по трещинам в ортопироксене. Вторичные изменения проявляются в виде</p>

		<p>замещения ортопироксена амфиболом по трещинам и замещении клинопироксена хлоритом.</p> <p>Структура гипидиоморфнозернистая, текстура директивная.</p> <p>Минералы образовывались в следующем порядке: 1- ортопироксен, 2-клинопироксен, 3-плаггиоклаз</p> <p>Рудные минералы представлены сульфидами (пирит, халькопирит), распределены равномерно.</p> <p>Встречаются вкрапления сульфидов в зёрнах ортопироксена.</p> <p>Порода данного минерального состава соответствует ортопироксенитам.</p>
<p>Плаггиоклазсодержащий ортопироксенит</p> <p>Минерал кумулуса - ортопироксен.</p> <p>Минералы интеркумулуса: клинопироксен, плаггиоклаз</p>	<p>Ппш</p> <p>54.6</p> <p>56.7</p> <p>60.8</p> <p>64.3</p> <p>65.3</p> <p>Шлифы</p> <p>62.6</p> <p>66.0</p>	<p>Ортопироксен наиболее часто встречается в породе (около 90% в шлифах). Размер зёрен до 1 мм. Встречаются мелко-, средне- и крупнозернистые агрегаты. Морфология – призматическая.</p> <p>Клинопироксен (около 4% в шлифах) имеет ксеноморфную морфологию, размер кристаллов до 0,5 мм. По трещинам клинопироксен замещается амфиболом.</p> <p>Плаггиоклаз (около 5% в шлифах) имеет ксеноморфную морфологию. Он занимает свободное пространство в шлифе между клинопироксеном и ортопироксеном. Размер зёрен – до 0,5 мм.</p> <p>В небольшом количестве встречается биотит, развивающийся по трещинам в ортопироксене.</p> <p>Минералы образовывались в следующем порядке: 1- ортопироксен, 2-клинопироксен, 3-плаггиоклаз</p> <p>Рудная минерализация проявлена равномерно.</p> <p>Рудные минералы представлены сульфидами</p>

		<p>(пирит, халькопирит). Встречаются вкрапленники сульфидов(размером до 0,1 мм) в ортопироксене.</p> <p>Порода данного минерального состава соответствует ортопироксенитам.</p>
<p>Плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит Минералы кумулуса: оливин, ортопироксен. Минералы интеркумулуса: клинопироксен, плагиоклаз</p>	<p>Шлиф 66,4 70,5 ппш 66,6 67,8 68,45 71,6</p>	<p>Ортопироксен наиболее часто встречается в породе (85%). Размер зёрен до 0,9 мм.</p> <p>Встречаются средне- и крупнозернистые агрегаты. Морфология – призматическая.</p> <p>Оливин (около 5% в породе) представлен зёрнами размером до 0,5 мм. По каймам оливин обрастает серпентином.</p> <p>Клинопироксен (около 5% в породе) имеет ксеноморфную морфологию, размер кристаллов до 0,3 мм. Присутствует трещиноватость.</p> <p>Плагиоклаз (около 4% в породе) имеет ксеноморфную морфологию. Агрегаты мелко- и среднезернистые. Он занимает свободное пространство в шлифе между клинопироксеном и ортопироксеном. Размер зёрен – до 0,4 мм.</p> <p>В небольшом количестве встречается биотит, развивающийся по трещинам в ортопироксене.</p> <p>Минералы образовывались в следующем порядке: 1- ортопироксен, 2-клинопироксен, 3-плагиоклаз</p> <p>Рудная минерализация проявлена равномерно. Рудные минералы представлены сульфидами(пирит, халькопирит). Встречаются вкрапленники сульфидов (размером до 0,1 мм) в ортопироксене.</p>

		Порода данного минерального состава соответствует ортопироксенитам.
Плагиноклазсодержащий ортопироксенит, на участке 72,4-74,25 м – плагиноклазовый оливинсодержащий ортопироксенит Минералы кумулуса: оливин, ортопироксен. Минералы интеркумулуса: клинопироксен, плагиноклаз.(72,4-74,25) Минерал кумулуса - ортопироксен. Минералы интеркумулуса: плагиноклаз, клинопироксен(74,25-75,8)	ппш 72.4 72,75 73.0 73.3 73.6  74.25 75,05 Шлифы 73,7 74,25 75,8	Ортопироксен наиболее часто встречается в породе(около 73%). Размер зёрен до 0,8 мм. Встречаются средне- и крупнозернистые агрегаты. Морфология – призматическая. Проявлены слабые вторичные изменения в виде амфиболизации ортопироксена по трещинам и каймам. На участке 72,4-74,25 наблюдаются зёрна оливина (около 5% в породе) размером до 1,2 мм. По каймам развивается серпентин. Плагиноклаз (около 17% в породе) представлен мелкозернистыми призматическими агрегатами, а также полисинтетическими двойниками. Присутствует слабая трещиноватость. Характерны слабые вторичные изменения в виде карбонатизации плагиноклаза.  Клинопироксен (около 5% в породе) представлен ксеноморфными агрегатами размером до 0,7 мм. Проявлены слабые вторичные изменения в виде хлоритизации.  Данный интервал характеризуется чередованием среднезернистых и крупнозернистых Pl-содержащих ортопироксенитов. Текстуры – директивные, массивные. Последовательность минералообразования для участка 72,4-74,25: оливин, ортопироксен, плагиноклаз Последовательность минералообразования для участка 75,05-75,8 – ортопироксен, плагиноклаз,

		<p>клинопироксен.</p> <p>Рудная минерализация представлена неравномерно распределёнными и вкрапленными в кристаллы ортопироксенов зёрнами сульфидов (пирит, халькопирит) размером менее 0,1 мм. В сульфидах присутствуют вкрапления высокоотражающих минералов.</p>  <p>Рисунок 11. ППШ 73.0. Увеличение 10х. Плагиоклазовый оливинсодержащий ортопироксенит. Халькопирит, включающий высокоотражающий минерал.</p> <p>Порода данного минерального состава соответствует плагиоклазсодержащему ортопироксениту.</p>
<p>Норит</p> <p>Минералы кумулуса: ортопироксен, плагиоклаз, минерал интеркумулуса – клинопироксен.</p>	<p>Шлифы</p> <p>77.8</p> <p>78.1</p>	<p>Ортопироксен (около 65% в породе) представлен крупно-, мелко- и среднيزернистыми гипидиоморфными призматическим агрегатами. Размер кристаллов до 1 мм.</p> <p>Клинопироксен (около 5% в породе) представлен ксеноморфными агрегатами размером до 0,7мм.</p> <p>Наблюдаются гипидиоморфнозернистые призматические кристаалы плагиоклаза размером</p>

		<p>до 0,4 мм.</p> <p>Текстура- массивная, такситовая.</p> <p>Структура – неравнозернистая.</p> <p>Рудная минерализация распределена равномерно.</p> <p>Представлена вкрапленниками сульфидов (размером до 0,1 мм) в зёрнах ортопироксена.</p> <p>Последовательность минералообразования: первым формируется ортопироксен , вторым плагзатом образовывается клинопироксен.</p> <p>Порода данного минерального состава соответствует меланократовому нориту.</p>
<p>Норит</p> <p>Минералы кумулуса: плагиоклаз, ортопироксен, минерал интеркумуляуса – клинопироксен.</p>	<p>Пшш</p> <p>78,7</p> <p>78,8</p> <p>79,6</p> <p>Шлифы</p> <p>78,6</p> <p>79,2</p> <p>80</p>	<p>Ортопироксен (около 65% в породе) представлен гипидиоморфнозернистыми призматическими агрегатами размером до 0,9мм . Клинопироксен (около 5% в породе) представлен мелкозернистыми ксеноморфными агрегатами размером до 0,3 мм. Морфология ксеноморфная.</p> <p>Плагиоклаз (около 30% в породе) представлен среднезернистыми призматическими гипидиоморфнозернистыми агрегатами. В данном интервале чередуются средне- и крупнозернистые ортопироксениты, меланократовые нориты и нориты на отдельных участках. Структура – габбро-офитовая. Текстуры – массивные, такситовые (минералы распределены неравномерно). В норитах встречается пойкилитовая структура.</p> <p>Рудная минерализация распределена неравномерно в кристаллах клинопироксена.</p> <p>Размер вкрапленных зёрен до 0,02 мм. Сульфиды представлены пиритом , халькопиритом,</p>

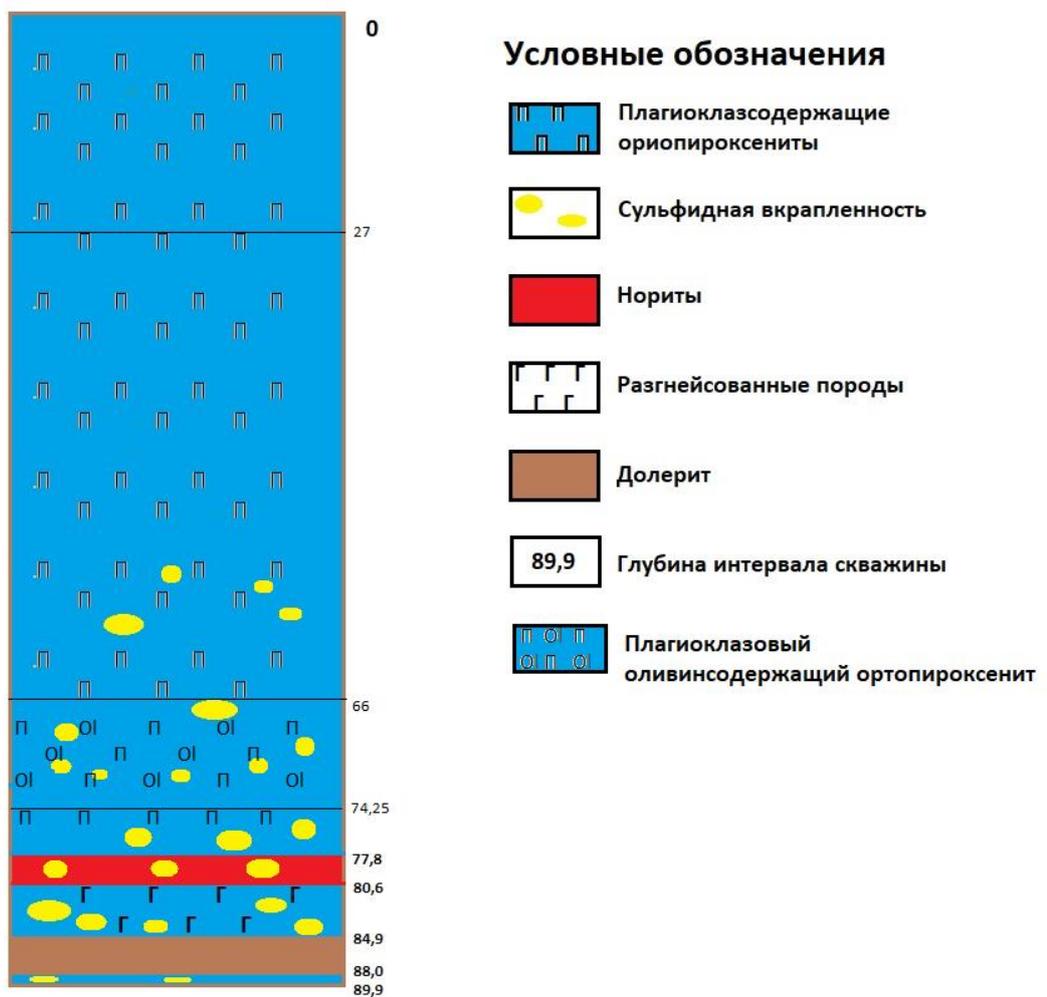
		<p>пирротином. Присутствуют вкрапления в ортопироксене до 0,25 мм.</p> <p>Вторичные изменения представлены амфиболизацией клинопироксена, встречается скаполитизация плагиоклаза, хлоритизация клинопироксена по серии трещин.</p> <p>Минералы образуются в следующем порядке: плагиоклаз, ортопироксен, клинопироксен.</p> <p>Порода данного минерального соответствует меланократовому нориту.</p>
<p>Плагиоклазсодержащий ортопироксенит</p> <p>Минералы кумулуса: ортопироксен, плагиоклаз, минерал интеркумулуса – клинопироксен.</p>	<p>Ппш</p> <p>82,7</p> <p>83,5</p> <p>Шлифы</p> <p>81,3</p> <p>81,8</p> <p>82,2</p> <p>83,6</p>	<p>Ортопироксен (около 80% в породе) представлен средне- и крупнозернистыми призматическими агрегатами размером до 1,2мм.</p> <p>Плагиоклаз (около 15% в породе) представлен среднезернистыми призматическими агрегатами размером до 0,6мм.</p> <p>Клинопироксен (около 5% в породе) наблюдается в виде среднезернистых кристаллов(до0,5 мм), имеющих ксеноморфную морфологию. В небольшом количестве присутствуют кварцевые жилы. Размер зерен уменьшается вниз по разрезу.</p> <p>Текстура - массивная. Структура - гипидиоморфнозернистая.</p> <p>Вторичные изменения проявлены в виде замещения ортопироксена тальком по трещинам и каймам, замещения клинопироксена хлоритром.</p> <p>Также ортопироксен подвергается амфиболизации по трещинам и каймам.</p> <p>Рудная минерализация проявлена в виде неравномернозернистой вкрапленности сульфидов в зёрнах пироксенов. орто- и клинопироксена. Размер включений до 0,025 мм.</p>

		<p>Минералы образовывались в следующем порядке: первыми формировались плагиоклаз и ортопироксен, затем - клинопироксен.</p> <p>Порода данного минерального состава соответствует плагиоклазсодержащему ортопироксениту.</p>
<p>Разгнейсованный плагиоклазсодержащий ортопироксенит</p> <p>Минералы кумулуса: ортопироксен, плагиоклаз, минерал интеркумуляуса – клинопироксен.</p>	<p>Ппш</p> <p>84,4</p> <p>84,85</p>	<p>Наблюдаются породы с гнейсовидностью, фрагменты-ксенолитов плагиоклазовых ортопироксенитов,</p> <p>Ортопироксен (около 80% в породе) представлен крупно-, средне- и мелкозернистыми призматическими агрегатами. Морфология - гипидиоморфнозернистая. Наблюдается замещение ортопироксена серпентином.</p> <p>Клинопироксен (около 5% в породе) наблюдается в виде мелкозернистых ксеноморфных агрегатов размером до 0,3мм.</p> <p>Вторичным минералом является роговая обманка.</p> <p>Плагиоклаз (около 15% в породе) представлен мелкозернистыми гипидиоморфнозернистыми призматическими кристаллами.</p> <p>Текстура массивная, такситовая. Структура гипидиоморфнозернистая.</p> <p>Рудная минерализация – неравномерная, наблюдаются шпиры размером до 0,05 мм и сульфидная вкрапленность (до 0,01 мм) пирита и халькопирита в зёрнах ортопироксена.</p> <p>Последовательность минералообразования : ортопироксен, плагиоклаз, клинопироксен.</p> <p>Порода данного минерального соответствует разгнейсованному плагиоклазсодержащему ортопироксениту.</p>

Долерит	Шлиф 85,6	<p>Присутствуют близкие к идиоморфным крупнозернистые призматичнские агрегаты плагиоклаза размером до 0,9 мм (60% шлифа). Кристаллы подвержены карбонатизации.</p> <p>Наблюдаются мелкозернистые ксеноморфные зёрна клинопироксена размером до 0,3 мм. Они заполняют свободное пространство между зёрнами плагиоклаза(40% шлифа). Клинопироксен подвержен вторичным изменениям в виде амфиболизации и хлоритизации.</p> <p>Структура габбро-офитовая, текстура массивная.</p> <p>Порода данного минерального состава является долеритом.</p>
Разгнейсованный плагиоклазсодержащий ортопироксенит	Ппш 88,4	<p>Наблюдаются мелко- и реже среднезернистые кристаллы ортопироксена(около 85% в породе) размером до 0,5 мм. В ортопироксене наблюдается кварцевая жила размером до 1,2 мм. Вторичные изменения проявлены в виде амфиболизации по трещинам и каймам.</p> <p>Плагиоклаз(около 10% в породе) представлен мелкозернистыми агрегатами. Размер зёрен до 0,3 мм. Морфология- гипидиоморфнозернистая .</p> <p>Наблюдаются полисинтетические двойники.</p> <p>Вторичные изменения проявлены в виде карбонатизации.</p> <p>Клинопироксен(около 5% в породе) имеет размер до 0,4 мм, представлен ксеноморфными агрегатами.</p> <p>Наблюдается гнейсовидность, свидетельствующая о процессах метаморфизма. Присутствует явление бластеза.</p> <p>Кластолиты Pl относятся к зоне закалки.</p> <p>Присутствуют шпирь и каймы по Pl, образованные</p>

		<p>в результате перекристаллизации.</p> <p>Биотит наблюдается по трещинам и каймам в ортопироксене.</p> <p>Текстура массивная, структура неравномернозернистая, гранобластовая.</p> <p>Рудная минерализация распределена равномерно.</p> <p>Представлена сульфидами размером менее 0,1 мм.</p> <p>Рудные минералы наблюдаются в виде вкрапленников в P1 и жилок халькопирита в ортопироксене размером менее 0,1 мм.</p> <p>Порода данного состава – разгнейсованный P1-ортопироксенит</p>
--	--	---

Рисунок 12. Схематический разрез по скважине МТ-88. Построен Тырнованом В.М. по данным автора с использованием документации керна С.И.Корнеева



#### **Глава4. Особенности рудной минерализации и распределение химических элементов по разрезу Донной залежи**

К сожалению, в связи с внеплановым временным закрытием зданий СПбГУ и ресурсных центров, связанным с глобальной пандемией, было невозможно завершить самостоятельное практическое исследование разреза Донной залежи с помощью микрозонда.

Ниже приводится описание особенностей рудной минерализации и распределения химических элементов по разрезу Донной залежи, основанное на анализе фондовых материалов, предоставленных научным руководителем [14][15], а также на изучении зерна и прозрачно-полированных шлифов на микроскопе Leica.

##### **Рудная минерализация**

Сульфиды неравномерно распределены в разрезе донной залежи. Они образуют участки различной по интенсивности вкрапленностью. Содержание сульфидов колеблется от 1% до 11%, среднее составляет 3-5 %.[14]

Вкрапленное сульфидное оруденение представлено следующими типами: мелкогнездово-вкрапленным, вкрапленным, просечно-вкрапленным . Встречаются такие

Морфотекстурные и структурные типы оруденения, как гнезда (1-3 см);

интерстициальные вкрапленники (до 10 мм); жилки и прерывистые прожилки (до первых десятых мм); эмульсиевидные и графические вроски в первичных силикатах;

тонкозернистая и микрозернистая вкрапленность рудных минералов, образующих рудно-силикатные срастания с коррозионными структурами замещения (с размером рудных зерен от первых тысячных до 0.1 мм). [14]

Встречаются следующие виды морфологии выделений сульфидных вкрапленников и гнёзд: изометричная, угловатая. Иногда вкрапленники образуют скопления, в которых соединяются между собой тонкими сульфидными прожилками и волосовидными (мощностью в первые микроны) проводниками. Границы рудных вкрапленников и гнезд с

вмещающими минералами могут быть ровными, извилистыми, зазубренными коррозионными. [14]

Главными рудными минералами донной залежи являются: пирротин (50-60%, халькопирит(30-35%), пентландит(20-25%), пирит(5-10%). Ко вторичным минералам относятся кубанит, сфалерит, галенит, макинавит, виоларит, МПГ, магнетит, хромшпинелид, ильменит. [14]

Пирротин – наиболее распространённый сульфид вкрапленного оруденения. Чаще встречается гексагональный пирротин, реже – моноклинный. Он встречается в виде зёрен во вкрапленниках и гнездах, присутствует в виде эмульсионной и пылевидной вкрапленности, в тонких проводниках, образует сростания с вторичными силикатами и мономинеральные вкрапленники. Размер зёрен варьирует от тысячных долей до 10 мм. [14] Морфология гипидиоморфнозернистая, идиоморфная, аллотриоморфнозернистая. В пирротине часто содержатся вкрапления пентландита. [14]

Пирротин обрастается пентландитом, магнетитом, хромшпинелидом, ильменитом и образует сростания с халькопиритом, марказитом, макинавитом, пиритом.

Пентландит присутствует в виде неправильных зёрен, цепочек и прожилок в полиминеральных вкрапленниках и гнездах; изометричных овальных агрегатов в эмульсиевидной вкрапленности; различных агрегатов в халькопирите; пламенеvidных вростков в пирротине и реже в других формах. Пентландит замещается макинавитом и виоларитом. [14]

Халькопирит образует неправильно-зернистые, каймообразные и прожилковообразные агрегаты в интерстициальных вкрапленниках и гнездах, также он довольно часто образует мономинеральные вкрапленники неправильной формы. Для данного минерала характерны эмульсиевидная вкрапленность и тонкозернистые агрегаты, которые образуют графические коррозионные структуры с магнетитом и вторичными силикатами. Образует тонкие цепочки и прожилки, просечки и цепочки, соединяющие рудные вкрапленники.

Халькопирит образует сростания, обрастая Pn и Po. [14]

В полиминеральных вкрапленниках халькопирит и пентландит расположены по краям и между зёрен пирротина. [14]

Пирит в породах Донной залежи может быть двух генераций – магматической и наложенной. Он присутствует в виде неправильных зёрен и прожилок во вмещающих минералах, червеобразных выделений. Пирит замещает пентландит, пирротин. [14]

### **Второстепенные минералы**

Кубанит наблюдается в виде пластинок в халькопирите, мощностью от сотых до десятых долей мм. Пластинки образуют структуры распада твердого раствора. [14]

Макинавит встречается в кристаллах пентландита, халькопирита и иногда пирротина. Он проявляется в виде жгутиков и прожилков размером в тысячные – сотые доли мм. Является минералом замещения. [14]

Сфалерит присутствует в халькопирите в виде мелких таблитчатых агрегатов неправильной формы и содержит микроскопическую эмульсионную вкрапленность халькопирита и иногда пирротина. [14]

Виоларит - более редкий минерал. Замещает пентландит, встречается в виде петельчатых образований. [14]

Наиболее редкие минералы – марказит, троилит, миллерит, гессит, МПГ встречаются в виде единичных кристаллов в сульфидных вкрапленниках или в зонах развития вторичных сульфидно–силикатных сростаний. [14]

Оксидные рудные минералы составляют около 1% в оруденении Донной залежи.

Существует первичный сингенетический и вторичный эпигенетический магнетит.

Сингенетический (раннемагматический) магнетит представлен мелкими (0.1-0.2 мм), идиоморфными кристаллами с микроскопическими пластинками распада твердых растворов ильменита и хромшпинелидов. Иногда присутствуют ксеноморфные выделения в виде зёрен с округло-изометричными вростками силикатных минералов.

Эпигенетический магнетит встречается в виде неправильных изометричных метазёрен, он замещает породообразующие силикаты и сульфиды, образует пористые и ситовидные вкрапленники сложной формы, образующие коррозионные структуры замещения. [14]

### **Минералы благородных металлов**

Благородная минерализация представлена сульфидами, теллуру-висмутидами, арсенидами и станнидами платины и палладия – майченеритом, мончеитом, фрудитом, меренскитом, котульскитом, сперрилитом, соболевскитом, куперитом; атокитом, паоловитом; самородными интерметаллидами изоморфного ряда Au-Ag – электрумом, кюстелитом; теллуридом серебра – гесситом. [14]

Благородная минерализация приурочена в большинстве случаев к участкам сростания рудных минералов и вторичных силикатов в прожилках, к зонам развития тонковкрапленного сульфидно-магнетитового оруденения во вмещающих метаморфизованных породах. В халькопиритовых рудах зёрна благородных металлов (размером менее 5 мкм) находятся внутри мономинеральных халькопиритовых полей.

Размер агрегатов минералов благородных металлов в основном составляет 10-30 мкм, большая часть зёрен имеет размер менее 5 мкм, редкие зерна достигают 150-200 мкм.

[14] Минералы благородных металлов располагаются вдоль границ сульфидов, магнетита и породообразующих минералов, приурочены к трещинам в них. Минералы благородных

металлов часто встречаются в виде тонких сростков минералов ЭПГ, их структура подобна структурам распада твердых растворов. Минералы платиновой группы морфологически подобны цементу в структуре сульфидов и магнетита в метаморфических зонах сульфидно-магнетитового оруденения. Микроскопические агрегаты гессита и тонкие проводники самородного серебра приурочены к центральным участкам вкрапленников халькопиритов, где наблюдаются в сростаниях с минералами элементов платиновой группы. [14]

Существует зависимость состава минералов благородных металлов от минерального типа прожилкового оруденения: в пирротин-магнетитовых прожилках преобладает платиновый мончеит, в халькопиритовых и халькопирит-пентландит-магнетитовых рудах – минералы палладия, халькопиритовые руды также содержат интерметаллические соединения Au-Ag (кюстелит, электрум). [14]

В халькопиритовых жилах наиболее часто встречаются фрудит, гессит, майчнерит, реже мончеит, электрум, соболевскит, электрум, куперит, сперрилит, куперит, атоцит и котульскит. [14]

По содержаниям элементов платиновой группы и золота Мончеплутон входит в группу интрузий, представляющих промышленный интерес. [5]

#### **Распределение химических элементов по разрезу донной залежи на примере скважины МТ-88 (по материалам ОАО «Центрально-Кольская экспедиция»)[15]**

СКВ	от	до	длина	Содержания						
				Au, ppm	Pt, ppm	Pd, ppm	Cu, %	Ni, %	S, %	Pd усл
МТ-88	54,2	58	3,8	0,04	0,10	0,81	0,06	0,15	0,29	<b>1,25</b>
МТ-88	65,1	75,1	10	0,04	0,10	0,72	0,06	0,13	0,44	<b>1,17</b>
МТ-88	76,3	79,8	3,5	0,06	0,11	0,57	0,05	0,12	0,28	<b>1,11</b>
МТ-88	88	89,9	1,9	0,05	0,30	1,04	0,03	0,05	0,65	<b>2,20</b>

В разрезе Донной Залежи по скважине МТ-88 выделяется интервал 88-89,9м с аномальным содержанием Pd и Pt. Данный интервал приурочен к зоне разгнейсованного Pl-ортопироксенита.

Содержание Pt в скважине МТ-88 варьирует от 0,1 до 0,3 г/т. В интервале 88-89,9м оно составляет 0,3 г/т и превышает среднее содержание Pt на остальных участках (0,1 г/т) в 3 раза.

Содержание Pd в скважине МТ-88 варьирует от 0,57 до 1,04 г/т, что значительно превышает концентрацию Pt. Наблюдается высокое содержание Pd на всех исследованных

участках. На участке 88-89,9 содержание Pd составляет 1,04 г/т и превышает среднее содержание на других проанализированных участках (0,7 г/т) в 1,48 раз.

Отношение Pd/Pt на участке 88-89,9 составляет 3,47

Содержание золота варьирует от 0,04 до 0,06 г/т. Показатель значительно ниже по сравнению с Pd и Pt. Аномальных интервалов выявлено не было.

Содержание меди варьирует от 0,3 до 0,6 масс.%. Аномальных интервалов выявлено не было.

Содержание никеля варьирует от 0,05 до 0,15 масс.%. Аномальных интервалов выявлено не было.

Содержание серы варьирует от 0,28 до 0,65 масс.%. Показатель значительно выше по сравнению с Ni и Cu. На участке 88-89,9 наблюдается аномальное содержание S(0,65 масс.%)

#### **Распределение химических элементов по разрезу донной залежи на примере скважины МТ-76 (по материалам ОАО «Центрально-Кольская экспедиция»)[15]**

В разрезе донной залежи по скважине МТ-76 выделяются три зоны с повышенным содержанием Pd и Pt. Зоны приурочены к интервалам 73,2-74,6м; 97,8-98,5м и 102,0-105,9м.

Интервал 73,2-74,6м приурочен к плагиоклазсодержащему ортопироксениту.

Концентрация Pd в нём колеблется от 1,05 г/т до 1,28. Содержание Pt изменяется от 0,12 г/т до 0,14 г/т. Отношение Pd к Pt варьирует от 8,75 г/т до 9,14 г/т. Содержание Au составляет 0,06-0,08 г/т, Cu- 0,13-0,16 масс.%, Ni – 0,24-0,26 масс.%, S – 0,58 – 0,75 масс.%

Вторым участком с повышенным содержанием ЭПГ является интервал 97,8-98,5м, приуроченный к норитам. Для него характерно наивысшее содержание Pd в породах скважины – 6,21 г/т. Концентрация Pt составляет 0,33 г/т. Отношение Pd/Pt составляет 18,82. Содержание Au составляет 0,07 г/т, Cu- 0,30 масс.%, Ni – 0,49 масс.%, S – 1,56 масс.%

Третьим аномальным участком является интервал 102-106,8м, приуроченный к норитам. Концентрация Pd в нём колеблется от 1,98 г/т до 3,95 г/т. Содержание Pt изменяется от 0,26 г/т до 0,55 г/т. Отношение Pd к Pt варьирует от 6,69 г/т до 10,27 г/т. Содержание Au составляет 0,11-0,39 г/т, Cu- 0,24-0,59 масс.%, Ni – 0,30-0,72 масс.%, S – 1,13 – 2,81 масс.%

### Заключение

По результатам изучения Донной залежи Мончегорского расслоенного плутона можно сделать следующие выводы:

1. Участок Западный Ниттис сложен переслаивающимися плагиоклазсодержащими ортопироксенитами, плагиоклазовыми оливинсодержащими ортопироксенитами, норитами, разгнейсованными норитами и разгнейсованными плагиоклазсодержащими ортопироксенитами.
2. Для **интервалов 97,8-98,5м и 102-106,8м скважины МТ-76** характерна мелко-средне зернистая сульфидная вкрапленность и гнёзда до 1-3 см, неравномерно распределённые в породе. Сульфиды (халькопирит, пирротин, пирит) в интервале 97,8-98,5м составляют 2-10%, на некоторых участках более 10%. Также для данного интервала характерны прожилки с сульфидным заполнением. Содержание сульфидов в интервале 102-106,8м достигает 15-20%.

Для **интервала 73,2-74,6м скважины МТ-76** характерна равномерная сульфидная вкрапленность (до 2-3%). Сульфиды представлены халькопиритом, пирротином и пиритом. Преобладает халькопирит.

Рудная минерализация **интервала 88-89,9м скважины МТ-88** представлена халькопиритом, пирротином, пиритом и распределена равномерно. Она представлена сульфидами размером менее 0,1 мм. Рудные минералы наблюдаются в виде вкрапленников в плагиоклазе и жилок халькопирита в ортопироксене размером менее 0,1 мм.

3. Максимальное содержание ЭПГ встречается в следующих интервалах пород:

**Интервал 97,8-98,5м скважины МТ-76** приурочен к норитам и обладает повышенным содержанием ЭПГ. Для него характерно наивысшее содержание Pd в породах скважины – 6,21 г/т. Концентрация Pt составляет 0,33 г/т.

**Интервал 102-106,8м скважины МТ-76** приурочен к норитам и обладает повышенным содержанием ЭПГ. Концентрация Pd в нём колеблется от 1,98 г/т до 3,95 г/т. Содержание Pt изменяется от 0,26 г/т до 0,55 г/т.

**Интервал 73,2-74,6м скважины МТ-76** приурочен к плагиоклазсодержащим ортопироксенитам и обладает повышенным содержанием ЭПГ. Концентрация Pd в нём колеблется от 1,05 г/т до 1,28. Содержание Pt изменяется от 0,12 г/т до 0,14 г/т. Отношение Pd /Pt варьирует от 8,75 г/т до 9,14 г/т.

**Интервал 88-89,9м скважины МТ-88** приурочен к разгнейсованным плагиоклазсодержащим ортопироксенитам. Содержание Pd составляет 1,04 г/т, содержание Pt равно 0,3 г/т.

#### Список использованной литературы

1. Булах А. Г., Золотарев А. А., Кривовичев В. Г.: Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов // СПб: изд-во С.-Петербургского Государственного университета, 2014, 133 с.
2. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Полферов Д.В., Тарновецкий Л.Л. Платинометалльные малосульфидные месторождения в ритмично расслоенных комплексах // Платинометалльные месторождения мира. М.: ЗАО «Геоинформмарк». 1994. Т. 1. 279 с.
3. Лазаренков, В.Г. ; Петров, С.В. ; Таловина, И.В. / Месторождения платиновых металлов. Недра, 2002. 298 стр.
4. Лодочников В. Н.: Главнейшие породообразующие минералы // изд. 5, под ред. Соболева В. С., М.: Недра, 1974, 248 с.
5. Припачкин П.В. «Главные месторождения и проявления платинометалльных руд Кольского пояса расслоенных интрузий (Кольский полуостров, Россия)». ЛИТОСФЕРА, 2019, том 19, № 5, с. 731–751
6. Саранчина Г. М. Породообразующие минералы (методика определения кристаллооптических констант, характеристика минералов) // СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2000, 156 с.
7. Смолькин В.Ф. и др. «Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Часть 1». – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. – 177с

8. Л.Уэйджер, Г.Браун. «Расслоенные изверженные породы» Издательство «Мир».Москва.1970
9. Шарков Е.В. Л. «Петрология расслоенных интрузий.» «Наука», 1980. 184 с.
10. . Шарков Е. В. Формирование расслоенных интрузивов и связанного с ними оруденения, Москва, Научный мир, 2006.
11. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические импактные образования // издание второе, перераб. и доп., СПб.: ВСЕГЕИ, 2008, 200 с.
- 12.Chashchin V.V., Mitrofanov F.P. 2014. The Paleoproterozoic ImandraVarzuga rifting structure (Kola Peninsula): intrusive magmatism and minerageny. *Geodynamics & Tectonophysics* 5 (1), 231–256
- 13.Todd S.G., Keith D.W., Le Roy L.W. et al. The J-M Platinum-Palladium Reef of the Stillwater Complex, Montana: I. Stratigraphy and petrology. *Econ.Geol.*1982

Фондовые материалы:

14. В.Н. Иванченко, А.С. Галкин, В.Н. Орлов «ОТЧЕТ о проведении поисковых и поисково-оценочных работ на медно-никелевые и медно-платиновые руды массива Ниттис-Кумужья-Травяная в 1996-2001г.г.», часть I – поисковые работы(Мурманская область, Мончегорский район)в 2-х книгах, Книга I. ,п. Никель, 2001г.
15. Западный Ниттис – Мончетундровский проект, Кольский п-ов. Результаты бурения. Служебная записка «ОАО ЦКЭ» 2013 г.