

В.В.Кнауф, А.С.Галкин, А.Н.Дедеюхин

## **МПГ в такситовых габброноритах южного обрамления НКТ (минералогия, генетические особенности, основные технологические свойства оруденения)**

### Введение

В зоне сочленения Мончетундровского и Мончегорского плутонов, в юго-западном обрамлении дунитового блока НКТ Мончегорского плутона были пробурены скважины, которые заложены в более молодом габброноритовом комплексе, залегающем в этом районе геометрически выше ультраосновной части разреза НКТ и, вероятнее всего, представляющего периферические разновидности пород тела Мончетундровского плутона. Контакт габброноритового комплекса с дунитами НКТ интрузивный, зона контакта имеет сложное строение и круто погружается в юго-западном направлении. Таким образом, в керне скважин присутствуют фрагменты разреза габброноритового комплекса, которые на глубине сменяются породами ультраосновного комплекса дунитового блока. По габброноритовой части разреза зоны сочленения плутонов были проведены геохимические и минералогические работы с целью выявления благороднометалльной (БМ) минерализации. В результате были установлены и прослежены интервалы, на которых суммарная концентрация Pd, Pt, Au составляла 3-6 граммов на тонну. Методика работ по выявлению горизонтов с БМ минерализацией включала двустадийный цикл:

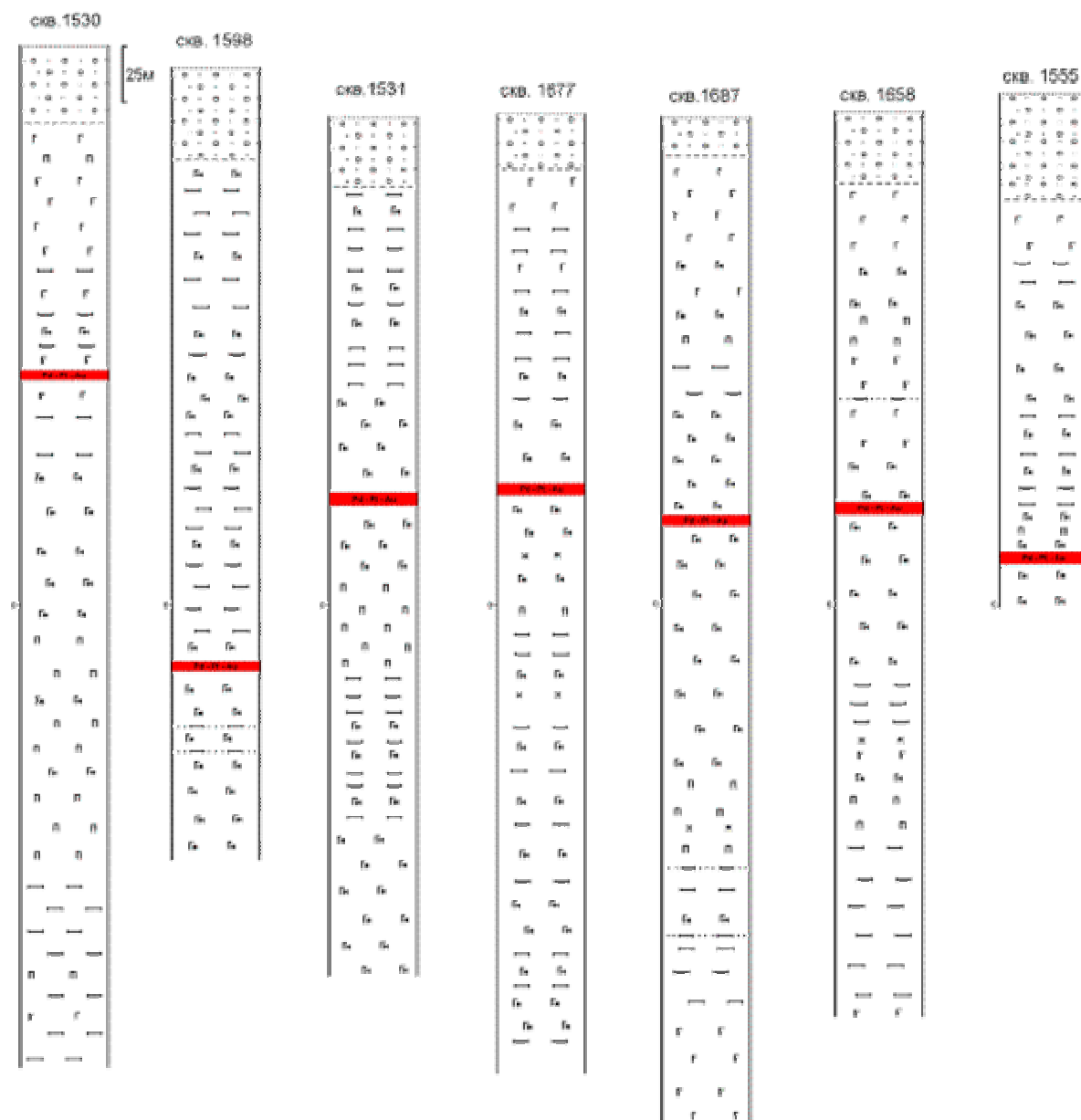
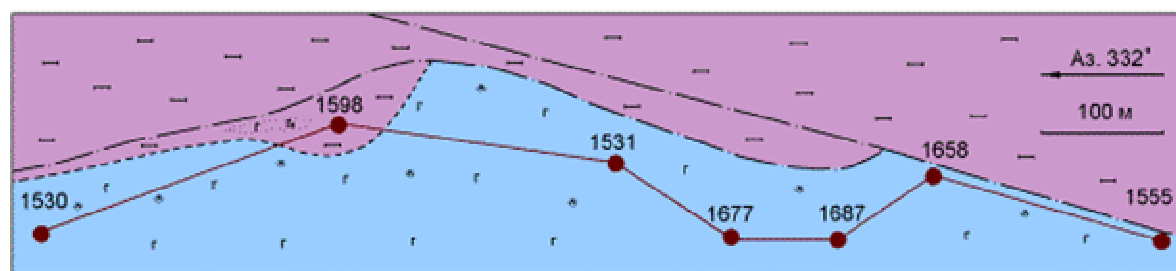
1. Массовый отбор проб по интервалам керна, получение гравиконцентратов 1-2г из больших навесок проб (100г) с последующим атомно-абсорбционным анализом гравиконцентратов на Pd, Pt, Au, Ag. Главное преимущество такого вида анализа состоит в том, что анализ производится для многих проб и из большого объема пробы (что имеет принципиальное значение при поисковых работах на БМ), анализ имеет высокую производительность (до 200 проб в месяц) и достаточно дешев. Ограничением применения данных этого вида анализа БМ при подсчетах запасов является то, что, несмотря на высокую чувствительность, точность анализа относительно низкая: 20-30отн.% процентов, включая малосульфидные пробы. Практика использования и систематический контроль результатов показали, что наиболее рационально использование этого вида анализа в качестве разбраковочного для надежного выявления узких интервалов с БМ минерализацией.

2. По выявленным в результате разбраковки проб узким интервалам производилось определение концентраций БМ аттестованным пробирным (плавка на сульфид никеля) ICP AES анализом, данные которого удовлетворяют требованиям, предъявляемым к аналитике при подсчете запасов. Кроме определения концентраций на второй стадии проводилась минералогическая проверка концентраций БМ (по технологии "ррт-минералогия", см. подробнее в разделе "Технология" на этом сайте) для решения, как генетических вопросов, так и для установления фазовых форм БМ, химического состава минералов и для получения аналитических данных, необходимых для выбора технологии обогащения потенциальных руд и предварительных экономических оценок. (Например, устанавливались поэлементные, поминеральные распределения БМ по гранулометрическим классам для геолого-технологической классификации руд).

Схема расположения скважин и генерализованные петрографические колонки

(составленные по данным визуальной документации керна разными авторами) с положением горизонта с БМ минерализацией в разрезе габброноритового комплекса приведены на рисунке 1.1.

Рис. 1.1. Расположение буровых скважин на Ю-З обрамлении дунитового блока



Условные обозначения

- |           |  |           |  |
|-----------|--|-----------|--|
| — — — — — | - дуниты, гарцбургиты                                      | - - - - - | - горизонты с хромитом                         |
| г г       | - габбро, тахситовые габбро                                | * *       | - коенолиты гипербазитов                       |
| н н       | - габбро-нориты, нориты, меланогаббро, тахситовые разности | • • •     | - ледниковые отложения                         |
| п п       | - пироксениты, плагиопироксениты                           | — — — — — | - горизонты с благороднометалльным оруденением |

Несмотря на то, что строение разреза габброноритового комплекса требует уточнений и многие первичные определения требуют ревизии, в первом приближении, наиболее низкое положение занимают плагиоклазовые пироксениты, сменяющиеся норитами и меланогаббро, выше которых залегают более лейкократовые разновидности габбро. Такситовые разновидности тяготеют к средней части разреза комплекса. Для того, чтобы привести фактический материал по выявленному горизонту с БМ минерализацией и составить предварительное представление о его промышленных перспективах, а также уточнить направление дальнейших поисковых работ целесообразно проанализировать все полученные аналитические данные с двух позиций: геологического положения и петрографических особенностей пород габброноритового разреза, вмещающих горизонт с БМ минерализацией, и привести и проанализировать данные, показывающие основные черты и особенности самой БМ минерализации в выявленном горизонте.

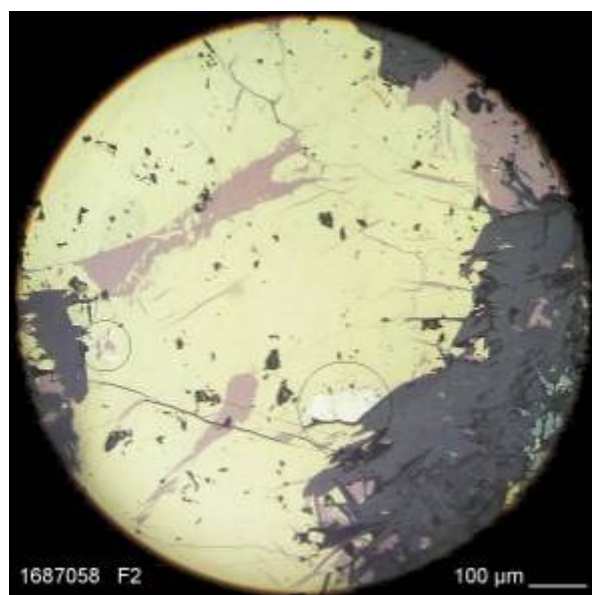
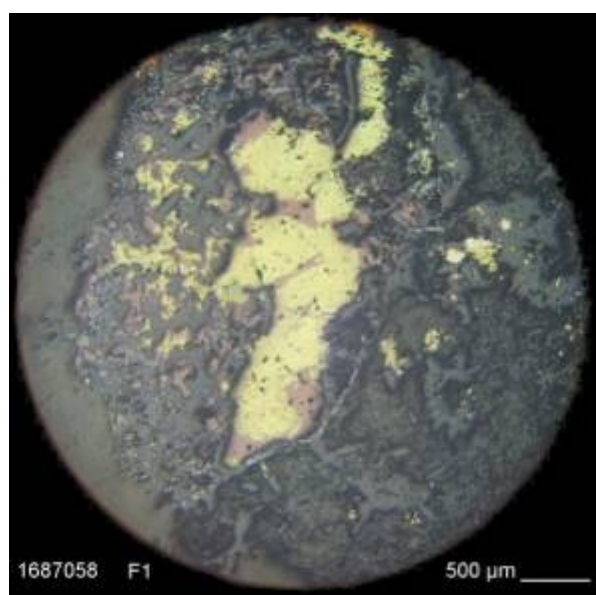
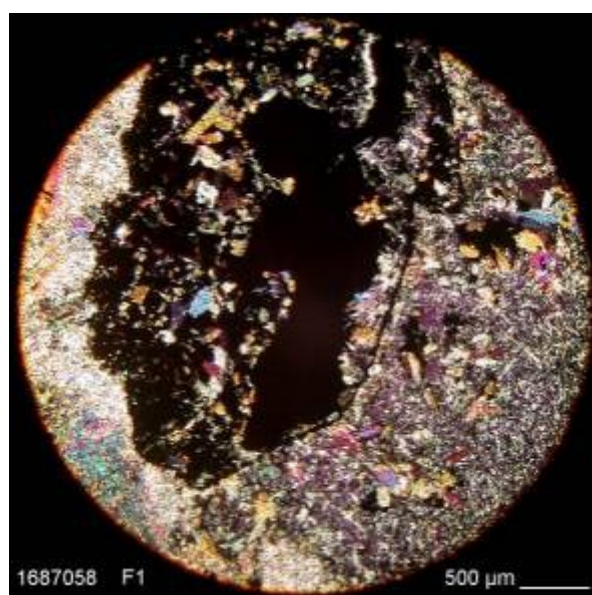
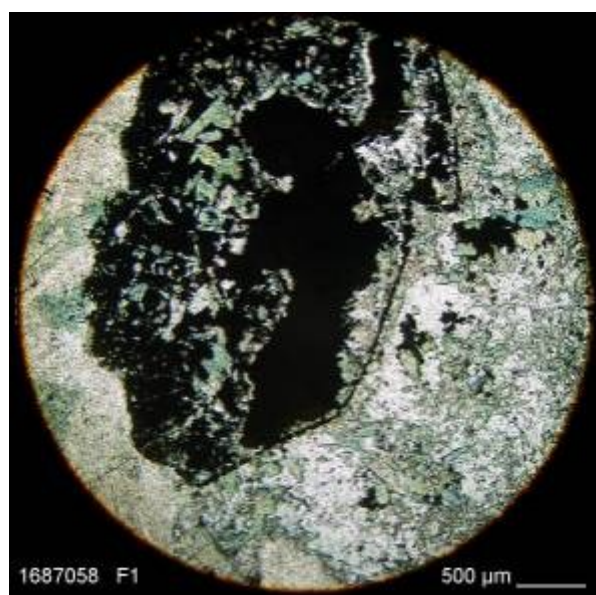
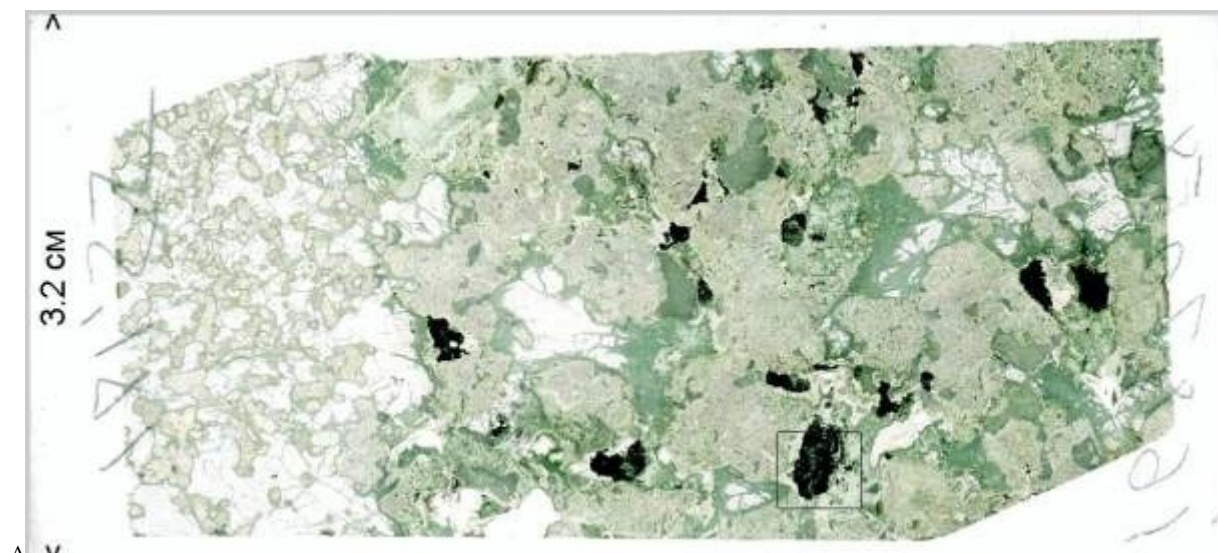
### Положение БМ горизонта в разрезе габброноритового комплекса Ю-3 обрамления дунитового блока

Характерной особенностью проявления БМ минерализации является ее четкая приуроченность к такситовым габброноритам, которые в разрезе комплекса обнаруживаются, главным образом, выше норитов, габброноритов, меланократовых габбро и сменяются вверх по разрезу более лейкократовыми разновидностями габбро. В этой связи, для того, чтобы использовать наличие такситовых разновидностей в качестве одного из поисковых признаков БМ минерализации и для прогнозных оценок масштаба БМ оруденения важное значение приобретает установление петрогенетических особенностей формирования самих такситов и оценка их объема в разрезе всего габброноритового комплекса. (Пусть пока только с генетических позиций из-за отсутствия систематического петрографического материала по площади). Для этого приведем имеющиеся данные, полученные как при описании керна скважин 1530, 2598, 1531, 1677, 1687, 1658, 1555, так и в ходе петрографических работ по скважинам 1658, 1677, 1687 (см. рис. 1.1 и 1.1.1).

Анализ керна показал, что: плоскости контактов такситов пересекают ось керна под разными углами и плоскости контакта могут быть как перпендикулярны оси керна, так и субпараллельны, мощности такситовых разновидностей сильно варьируют: от первых сантиметров до первых десятков метров, нижние и верхние контакты такситовых разновидностей в общем случае не параллельны, такситовые разновидности обогащены рудными минералами (сульфиды, магнетит) и встречаются редкие гнезда до 5см. Такой перечень наблюдений показывает, что, несмотря на то, что область распространения такситового горизонта, в целом, имеет стратиформный характер (т.е. имеет собственное место в разрезе габброноритового комплекса, располагаясь приблизительно между меланократовыми и более лейкократовыми габброноритами), внутренняя структура этого горизонта достаточно сложна и в горизонт объединены различные по размеру и форме тела с такситовой структурой.

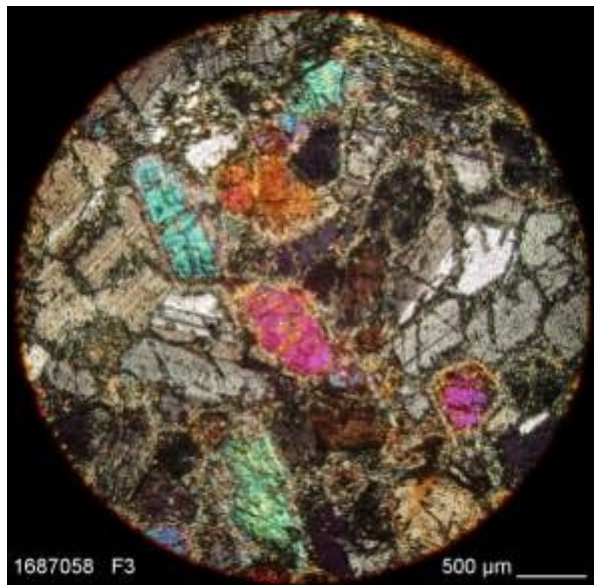
Более детальные петрографические исследования, проведенные по упоминавшимся скважинам, позволили выявить характерные особенности внутреннего строения и минерального состава отдельных тел такситовых разновидностей, которые имеют важное значение при анализе БМ минерализации. На рисунке 1.1.1 приведены фотографии, иллюстрирующие типовые особенности такситовых разновидностей.

Рис. 1.1.1. Особенности минерального состава и структур такситовых габброноритов

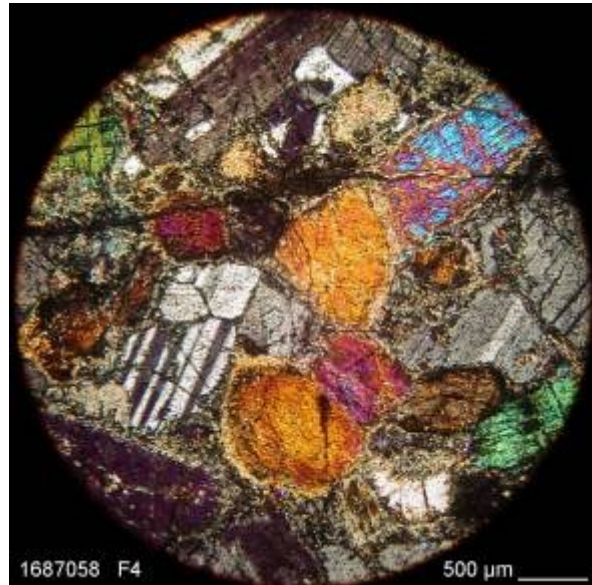


Г

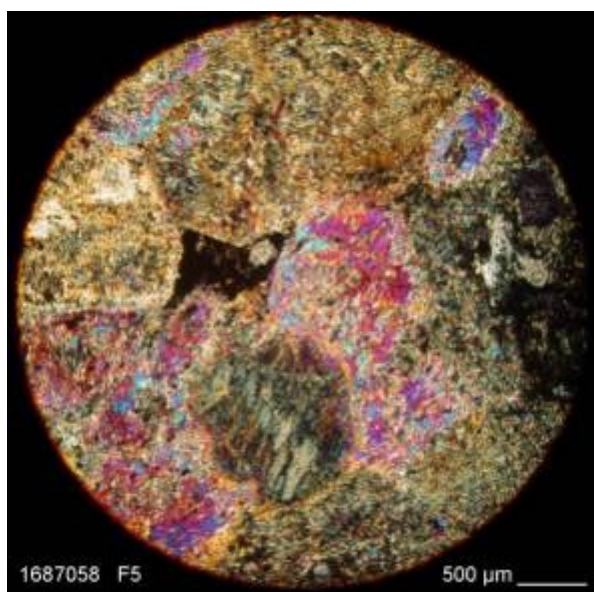
Д



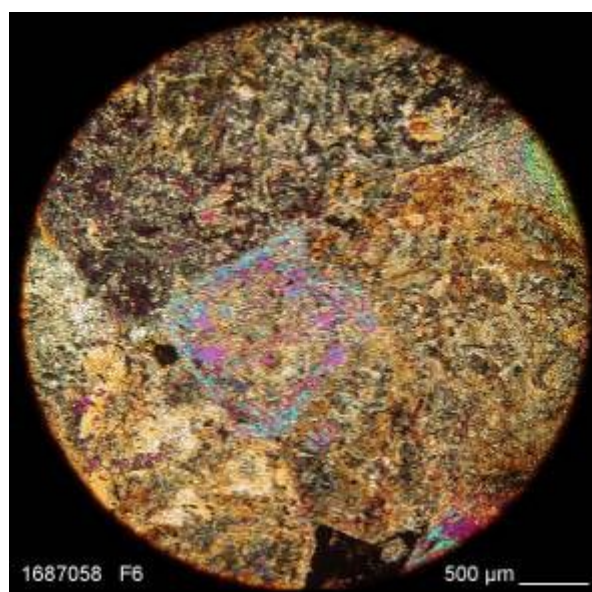
Е



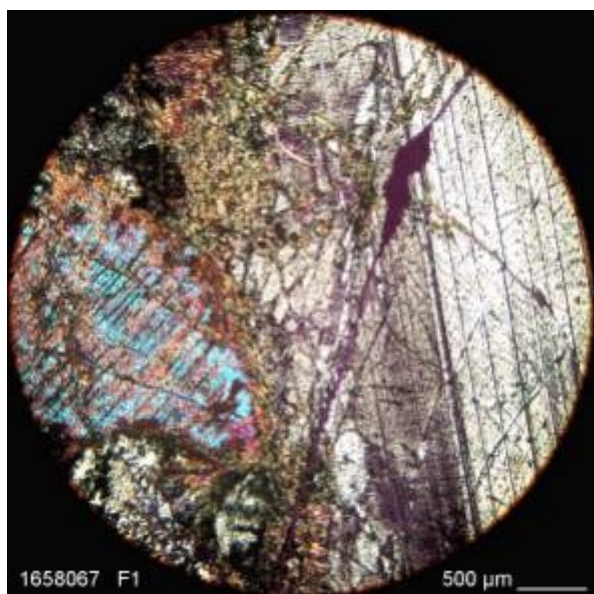
Ж



З



И



К

Пояснения к фото (А–К) рисунка 1.1.1

А – контакт равномернозернистого габронорита (г/н, левая четверть шлифа) с измененным грубозернистым г/н.

Проходящий свет, николи //;

Б-И – увеличенные фрагменты фото А:

Б-Д – фото фрагмента, отмеченного на фото А:

Б, В – проходящий свет николи // и #.

Г, Д – отраженный свет с различным увеличением. На фото Д отмечены агрегаты зерен минералов БМ (светлые участки);

Е,Ж – фото равномернозернистого г/н.

Проходящий свет, николи #;

З,И – фото сильно измененного грубозернистого г/н. Проходящий свет, николи #;

К – клинопироксен и плагиоклаз в грубозернистом г/н. Проходящий свет, николи #.

Подчеркнем наиболее существенные особенности такситовых разновидностей:

1. Минеральный состав равномернозернистых и грубозернистых такситовых разновидностей габброидов, в общем случае, одинаков, но зерна минералов существенно различаются по размеру. (Возможная интерпретация - структурный таксит). Ведущие минералы - ортопироксен, плагиоклаз, клинопироксен. Визуально контакт между этими разновидностями виден отчетливо, однако при петрографическом анализе шлифов различия не столь очевидны. (На фото 1.1.1А - левая четверть шлифа - равномернозернистый габбронорит, контактирующий с грубозернистым такситовым).

2. Обе разновидности изменены посткристаллизационными термальными процессами и поздний комплекс минералов - актинолит (реже роговая обманка), тальк, хлорит, поздний плагиоклаз, кальцит... - замещает как интерстиции зерен и корродируют зерна с образованием крустификационных кайм по границам зерен в равномернозернистых габброноритах, так может и полностью заместить все минералы в такситовых разновидностях. (На фото Е, Ж - пироксен и плагиоклаз в равномернозернистом габбронорите по краям замещаются вторичным комплексом относительно низкотемпературных минералов, на фото З, И - пироксен и плагиоклаз такситового габбронорита практически полностью замещены и видны только теньевые реликтовые структуры, на фото К - пироксен и плагиоклаз такситового габбронорита изменены, но диагностируются уверенно). Отчетлива закономерность: такситовые разновидности всегда изменены в большей степени вторичными термальными процессами чем равномернозернистые, хотя в последних эти процессы также проявлены. (Вследствие различной степени преобразований равномернозернистых и такситовых разновидностей - то есть различий минерального состава - термин "структурный таксит" не совсем адекватен).

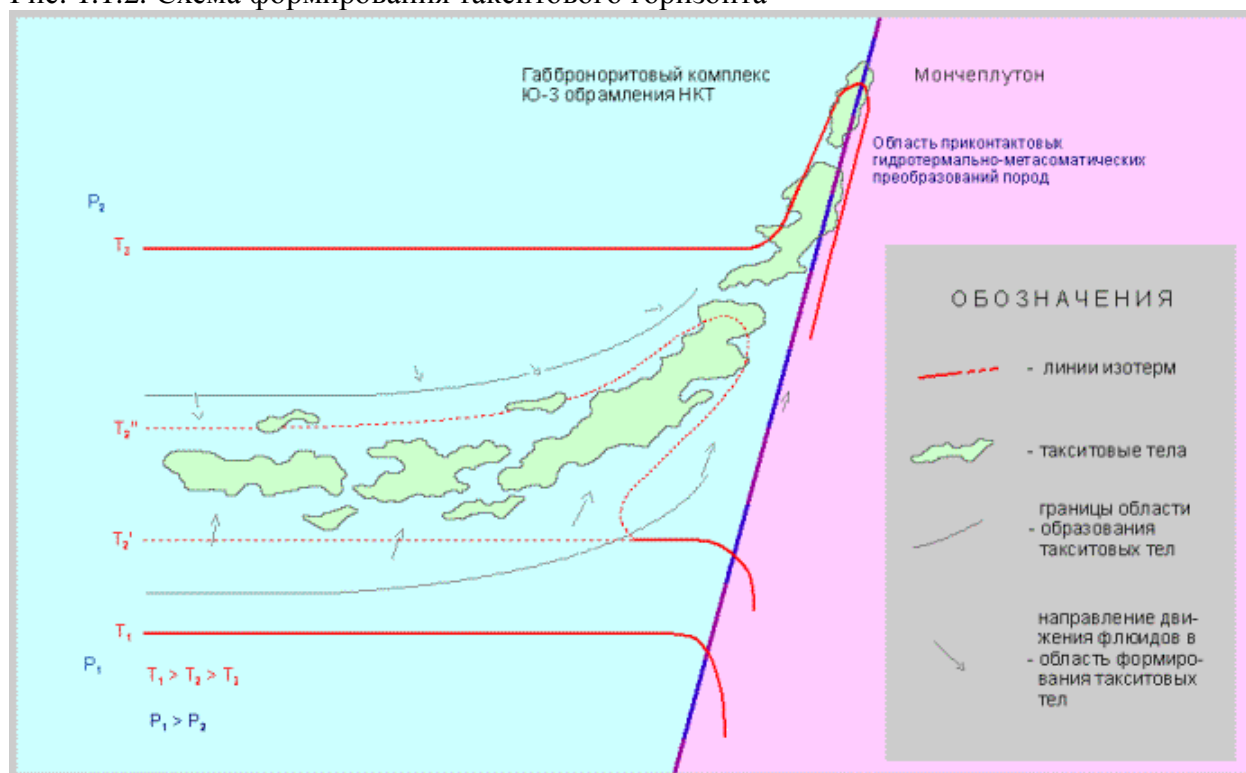
3. Такситовые габбронориты значительно обогащены рудными минералами по сравнению с равномернозернистыми. (Фото А - рудные минералы сконцентрированы только в грубозернистой разновидности. На фото Б, В, Г, Д показаны увеличенные фрагменты шлифа с гнездом рудных минералов. На фото Д отмечены агрегаты минералов БМ).

Приведенные выше данные, полученные при визуальной документации керн и в результате петрографических наблюдений, позволяют сделать следующие заключения: такситовые разновидности являются закономерным элементом разреза габброноритового комплекса, такситовые тела имеют неправильную форму, обособляются без четких линейных границ в результате кристаллизации расплава при близких Р-Т условиях с вмещающими равномернозернистыми габброноритами (минеральный состав одинаков). Основные различия между ними - структурные (размер зерен в первую очередь), но сульфидная минерализация и, связанная с ней благороднометаллическая, - развиты только в такситовых разновидностях габброноритов.

Различаются равномернозернистые и такситовые разновидности также и по степени замещения пироксена и плагиоклаза относительно низкотемпературным комплексом вторичных минералов.

Эти заключения существенны для понимания взаимоотношений такситов с вмещающими породами, однако для установления доли и пространственной локализации такситовых разновидностей в объеме всего габброноритового комплекса (т.е. оценки объема потенциальных зон БМ оруденения) требуется выяснить причины их формирования. Основываясь на полученных данных, предлагается схема формирования такситов, приведенная на рисунке 1.1.2.

Рис. 1.1.2. Схема формирования такситового горизонта



На рисунке показана градиентная по температуре и давлению система (разрез перпендикулярен контакту габброноритового комплекса с дунитовым блоком), объединяющая два последовательных момента кристаллизации габброноритового комплекса: первому моменту времени соответствует изотерма  $T_2'$ , а второму  $T_2''$ . На момент времени  $T_2'$  положение изотермы  $T_2'$  выбрано таким, что совпадает с границей солидус - ликвидус (S-L) и соответствует положению фронта кристаллизации на этот момент: выше границы находятся кристаллические породы, а ниже - расплав. (Схема достаточно упрощена и пренебрегает несовпадением границ S и L, а также неодновременным плавлением-кристаллизацией различных минералов).

На внутренней границе фронта кристаллизации происходит окончательная кристаллизация расплава, но температура еще близка к температуре плавления, а давление в этот момент таково, что объемные эффекты, возникающие вследствие кристаллизации и остывания, способны реализовать возникшие механические напряжения в виде локальных зон разуплотнения в уже затвердевших породах, которые параллельны фронту кристаллизации. Возникновение зон разуплотнения (зон локального понижения давления) в породах, находящихся при температуре близкой к температуре плавления, приводит к тому, что в области пониженного давления породы оказываются "перегретыми" и вследствие понижения температуры плавления (обусловленного понижением давления) - испытывают (частичное) плавление (эффект "обратного вскипания"). Кроме того, локальное понижение давления приводит и к возникновению концентрационных градиентов и извлечению перегретой флюидной фазы из объема, смежного с областью разуплотнения, что, в свою очередь, приводит к дополнительному повышению температуры в самих разуплотненных зонах и приводит к подъему изотермы до уровня  $T_2''$ . В конечном итоге получается, что в области солидуса, на участках разуплотнения происходят существенные события, приводящие к активизации динамики флюидов и ассимиляции веществ из соседних областей.

Последующее остывание в области солидуса приводит к кристаллизации и прекристаллизации фаз и, в конечном итоге, к образованию такситовых тел и последующему возвращению изотермы  $T_2''$  в положение близкое к начальному.

(Соотношение кристаллизация-перекристаллизация требует уточнений поскольку именно этим определяется реальное положение изотермы T2" на момент T2").

При такой трактовке событий получают объяснения все факты, полученные при документации керна и петрографических работах: понятны причины появления стратиформного горизонта такситов в разрезе комплекса, объясняется геометрия контактов и наличие габброноритов с различным типом структур, понятны обилие, источник и причины появления рудных и гидроксилсодержащих фаз в такситовых разновидностях, понятно почему такситы более изменены относительно низкотемпературными процессами по отношению к равномернозернистым габброноритам, показано, что такситовый горизонт может переходить в близповерхностных приконтактных условиях в области гидротермально-метасоматического преобразования пород и с характерными для этого типа особенностями БМ минерализации (участок Вуручу-Айвенч).

Однако, два вопроса требуют дополнительной детализации: является ли горизонт со сближенными телами такситов единственным в разрезе комплекса и что следует ожидать при приближении со стороны габброноритового комплекса к контакту с породами дунитового блока?

Понимая область формирования такситовых разновидностей как область реализации вероятности возникновения такситов, а не как единый линейно-плоскостной такситовый горизонт, оправдано заключение, что такая область стратиформна в целом и единственная в разрезе комплекса.

При опускании фронта кристаллизации сверху до уровня области формирования такситов давление выше фронта было недостаточно большим, чтобы объемные эффекты, возникающие при кристаллизации расплава, вызывали столь значительные механические перенапряжения на фронте кристаллизации, чтобы перенапряжения могли реализоваться в появлении достаточно больших изолированных зон разуплотнения, поэтому, реализация объемных эффектов происходила за счет относительно равномерного и незначительного увеличения пористости в большом объеме застывающих и остывающих пород. При продвижении фронта кристаллизации ниже области формирования такситов (уже после образования такситов) давление было слишком велико, чтобы объемные эффекты кристаллизации могли реализоваться в виде зон разуплотнения сколько-нибудь значительного размера и, следовательно, образование такситов также было невозможным.

Предложенную схему перемещения изотермы вверх в область солидуса при образовании зон разуплотнения можно экстраполировать и на приконтактные части габброноритового комплекса. Поскольку зона любого контакта (область неоднородности) - это зона пониженного давления, поэтому пространственная ориентация областей разуплотнения, возникающих при кристаллизации в приконтактных частях, будет иметь иную геометрию по сравнению с внутренними частями. Это может выразиться в появлении наклона области образования такситов в направлении внутренних частей комплекса: в зависимости от близости к контакту отдельные такситовые тела могут иметь наклонное или даже субвертикальное залегание. Более того, можно предположить, что в приконтактной области возможно уже не столько образование такситов с соответствующими эффектами на границе S-L, сколько реализация зон разуплотнения в качестве зон миграции ассимилированных относительно низкотемпературных растворов и образования гидротермально-метасоматических систем, что, вероятнее всего и привело к формированию рудного "горизонта" на участке Вуручуайвенч.

Несомненно важным в поисковом отношении является также вопрос о том, насколько велики должны быть области формирования такситовых разновидностей, чтобы получить в них промышленнозначимые концентрации БМ. Для того, чтобы выяснить какого порядка должна быть мощность области извлечения БМ в горизонт с БМ минерализацией мощностью 1м и содержанием БМ 2г/т примем, что фоновые суммарные содержания Pd, Pt, Au в габброидах 0.05г/т (такие числа приняты для упрощения подсчетов и, видимо, близки

к истине, хотя специальных работ по выяснению фоновых содержаний БМ в габброноритах не проводилось).

Легко подсчитать, что в БМ горизонте мощностью 1м произошло концентрирование БМ в 40 раз. Это означает, что мощность области извлечения БМ составляет 40м: 20м над горизонтом и 20м под горизонтом. Результат кажется вполне приемлемым и для объяснения БМ минерализации не требуется предполагать наличие событий космического масштаба.

Однако, практика показала, что горизонты с БМ минерализацией часто имеют большую мощность и концентрации БМ в горизонтах в три раза выше. Вероятнее всего это связано с переконцентрированием БМ уже после кристаллизации грубозернистых такситовых структур на этапе относительно низкотемпературного флюидного процесса когда порообразующие минералы такситов замещаются комплексом вторичных минералов. (См. фото З, И, К на рис. 1.1.1). На этом этапе возможна активная динамика флюидов в латеральном направлении вдоль удлинения такситовых тел, особенно, если сами тела имеют наклонное залегание. (См. рис. 1.1.2, и снова напрашивается аналогия с участком Вуручайвенч). Наличие такого двустадийного процесса концентрирования БМ (скорее всего генетически единого, но "растянутого" по времени) отчетливо видно при изучении минералов БМ по интервалам скважин, но об этом речь пойдет в следующем разделе.

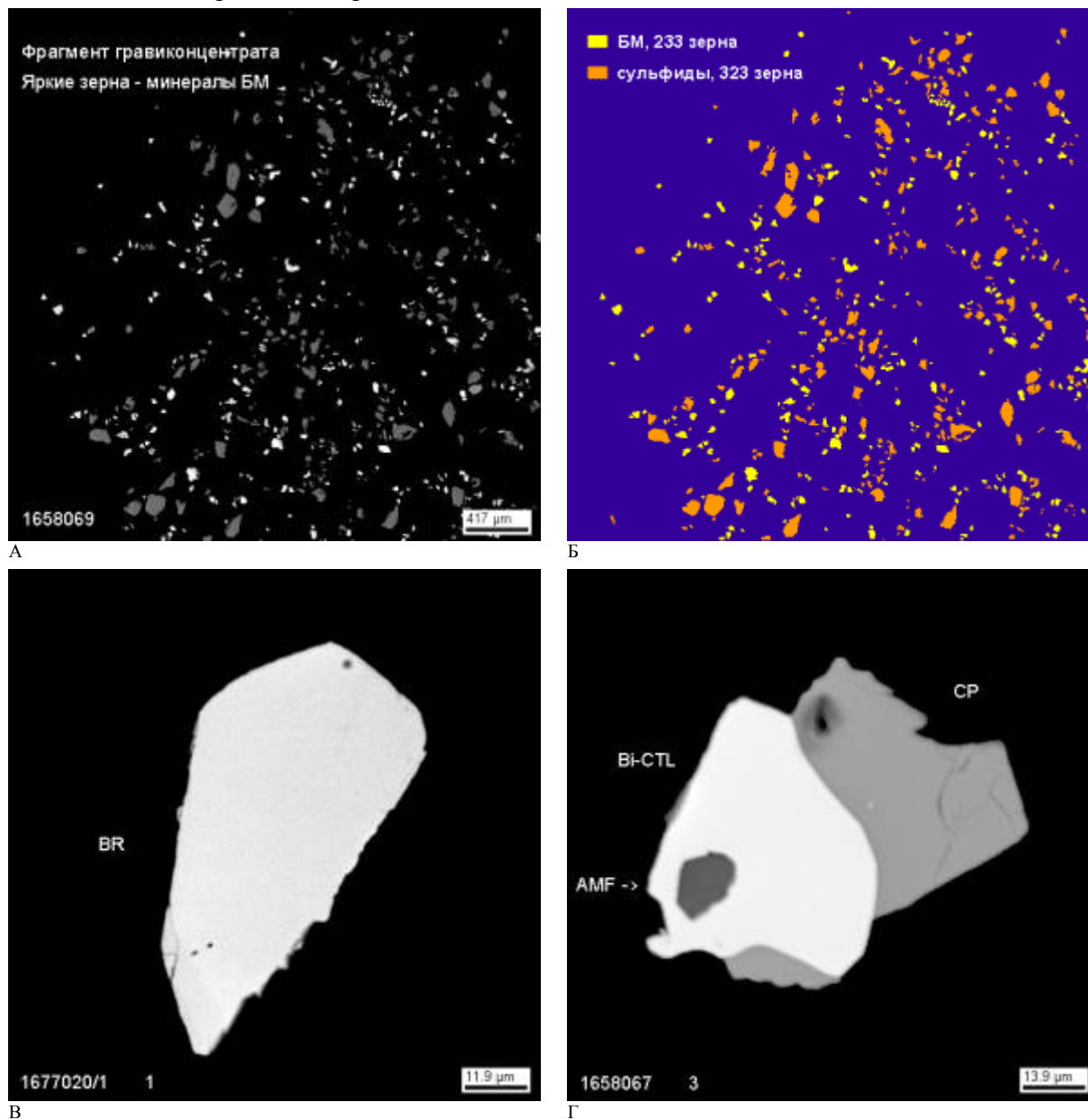
В заключение раздела следует обратить внимание, что в генетическом смысле (и прогнозно-поисковом) "рифовый" тип БМ минерализации, в том объеме, каком он понимается для рифа Меренского (Бушвельд) или рифа в ортопироксенитах верхней части разреза НКТ не имеет никакого отношения к "такситовому" типу БМ минерализации, который был обсужден выше. Рифовый тип БМ минерализации обусловлен синкристаллизационной дифференциацией, а такситовый (правильнее назвать дилатантный: dilatatio, лат. - расширение, растяжение) формируется в результате возникновения локальных условий, при которых происходит разуплотнение пород и становятся возможны эффект "обратного вскипания" и активная динамика флюидов в области разуплотнения. Это не означает, что такситовый тип не может формировать большие промышленно значимые объекты, хотя его реальные масштабы еще только предстоит установить. Еще не систематизированные предварительные данные, имеющиеся на сегодняшний день, позволяют предполагать, что аналоги такситового типа БМ минерализации присутствуют и на Ю.Сопче, и на участке Вуручайвенч, то есть такситовый тип БМ минерализации прослеживается на расстоянии не менее 10 км.

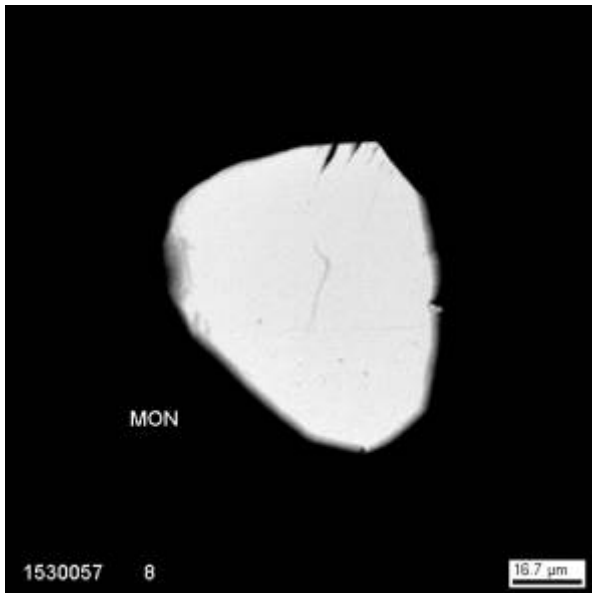
### Благороднометальная минерализация в габброноритовом комплексе Ю-3 обрамления дунитового блока

По 63 пробам, отобранным из интервалов с повышенными содержаниями БМ были произведены минералогические работы (см. рис. 1.1). В цикл обработки каждой пробы входило гравитационное концентрирование минералов БМ до получения концентрата 2-8мг из исходных навесок 60-100г. В дальнейшем из гравиконцентратов готовились микрозондовые препараты для последующего анализа на растровом электронном микроскопе и определения химического состава минералов БМ с использованием рентгеновского энергодисперсионного спектрометра. Для всех зерен минералов БМ, обнаруженных в препаратах, производилась диагностика минералов по химическому составу и в необходимых случаях производились подсчеты площадей минеральных зерен (для каждого зерна каждого минерала) при помощи специально созданных интерфейса к микроанализатору и программы ImSca-14 для получения количественных характеристик, используемых впоследствии для типизации руд и получения некоторых технологических параметров. (В препаратах проб с концентрацией БМ около 2г/т находилось до 300 зерен минералов БМ. Фото фрагмента гравиконцентрата пробы 1658069 и фото того же фрагмента после цифровой обработки по программе ImSca-14 показаны на рисунке 1.2.1 А,Б).

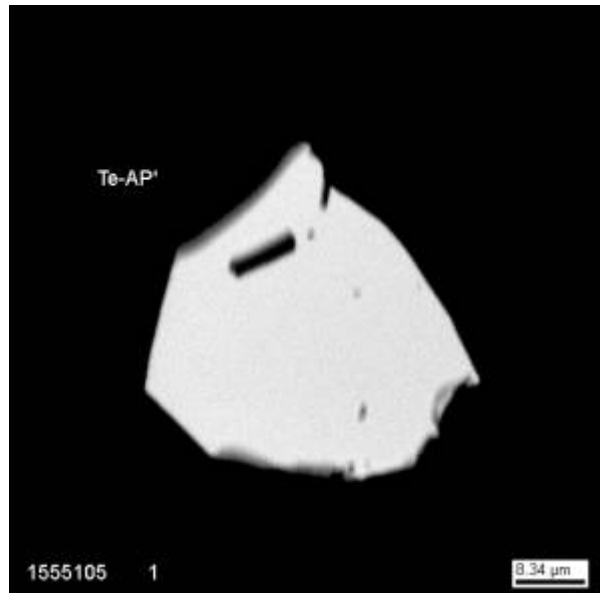
В результате изучения минералогии по интервалам скважин обнаружено более 30 различных минералов БМ, причем около 10 минеральных видов отсутствуют в списке утвержденных минералов комиссии IMA по новым минералам и названиям минералов.

Рис. 1.2.1. Минералы благородных металлов и их взаимоотношения

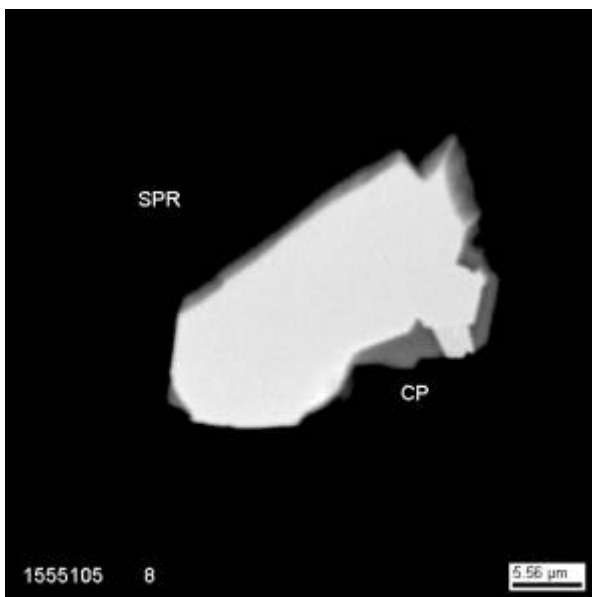




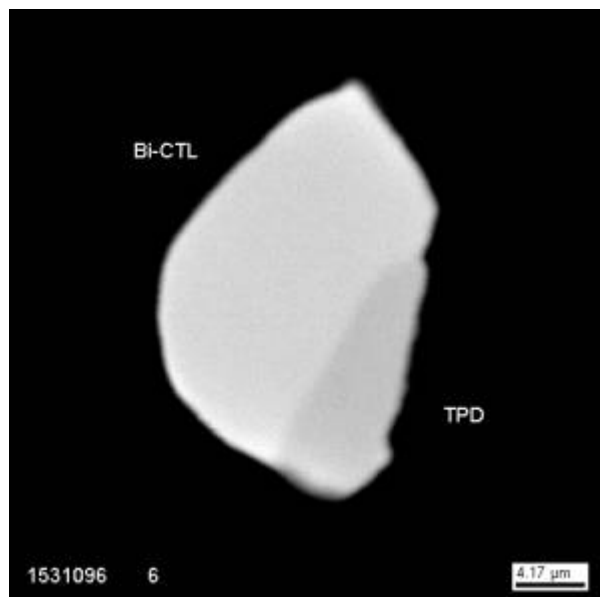
Д



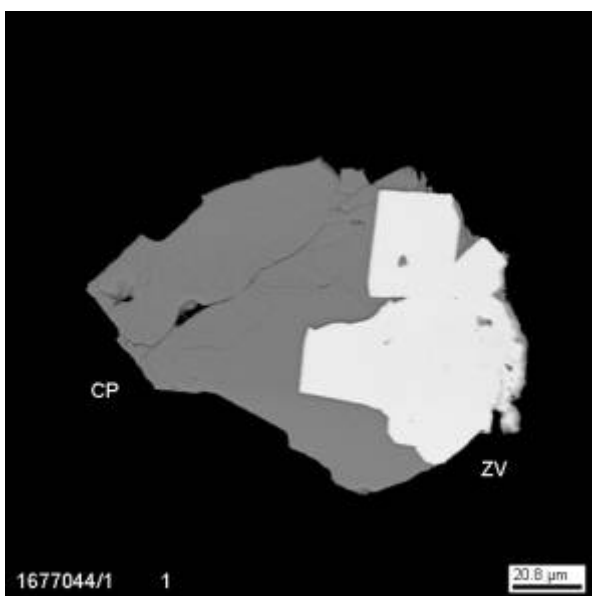
Е



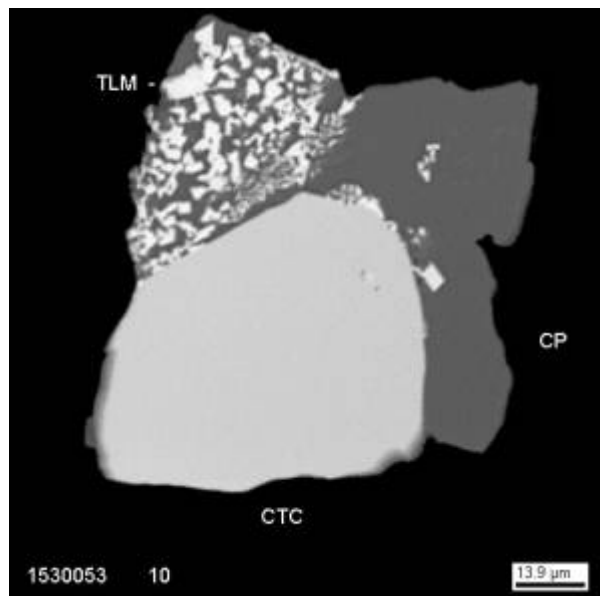
Ж



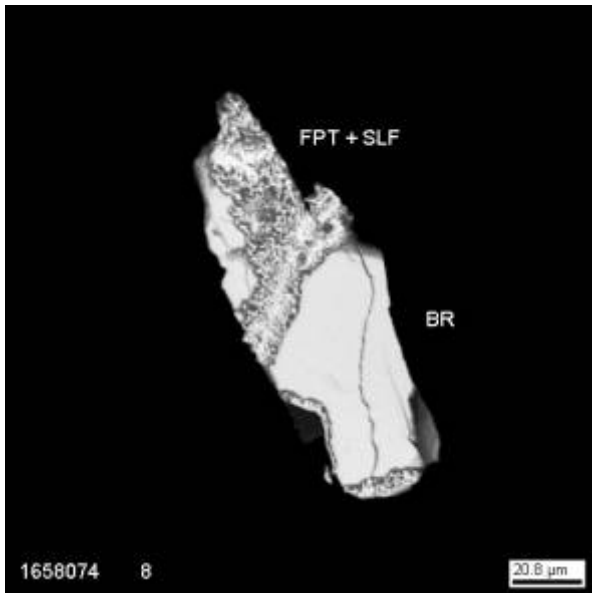
З



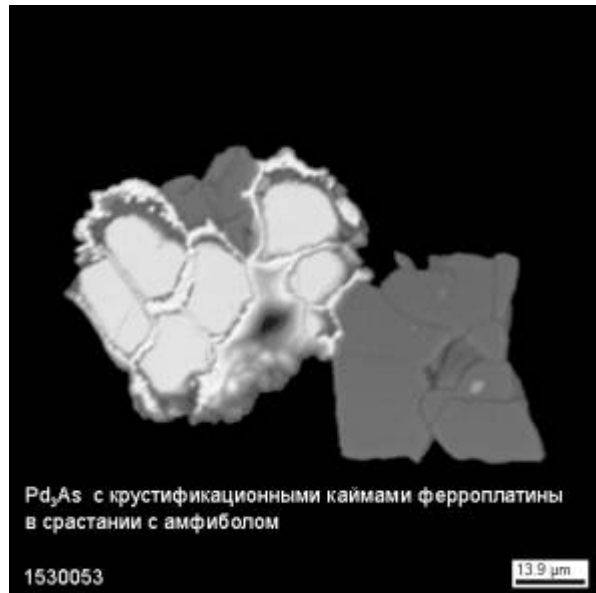
И



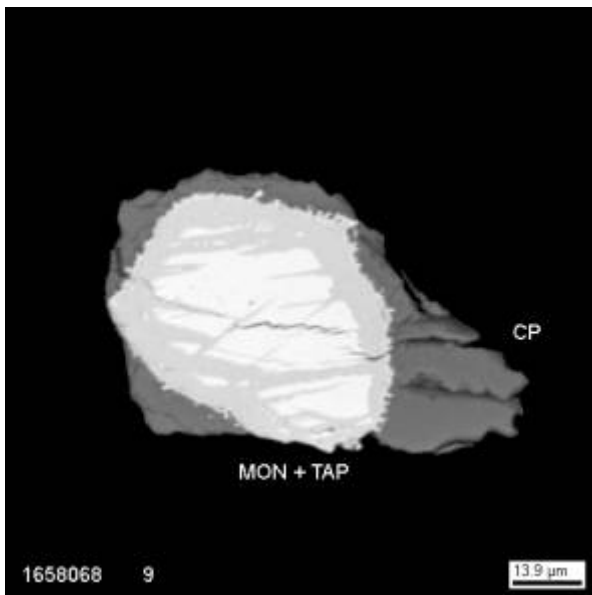
К



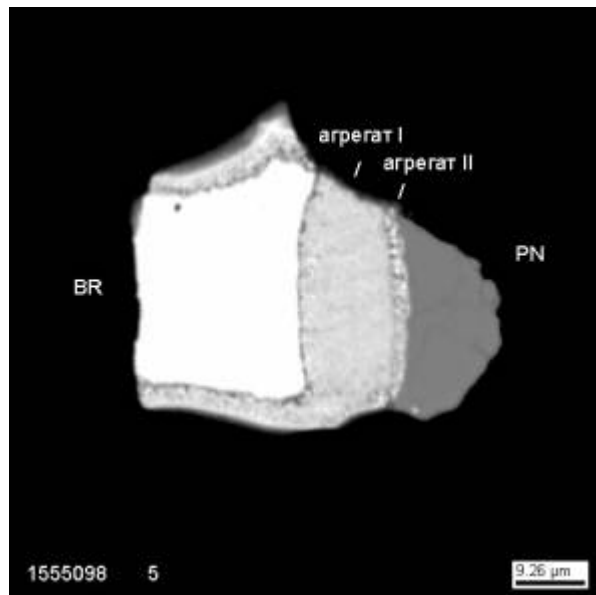
Л



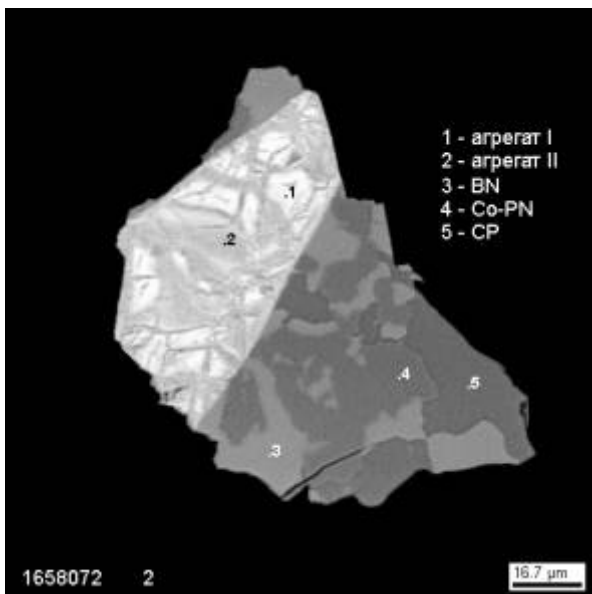
М



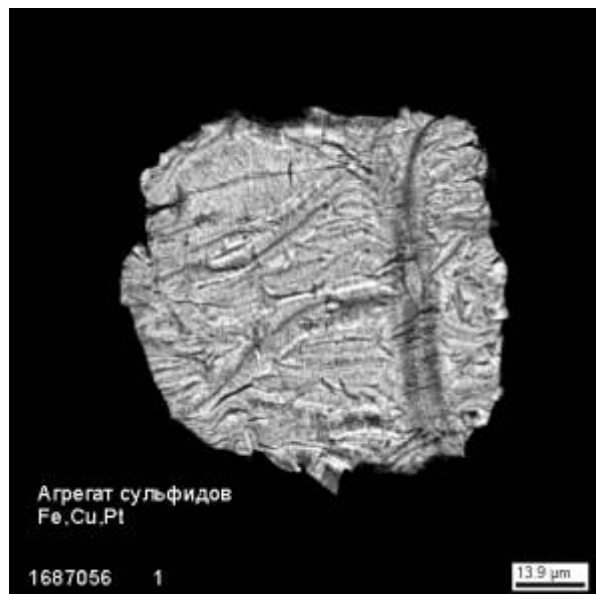
Н



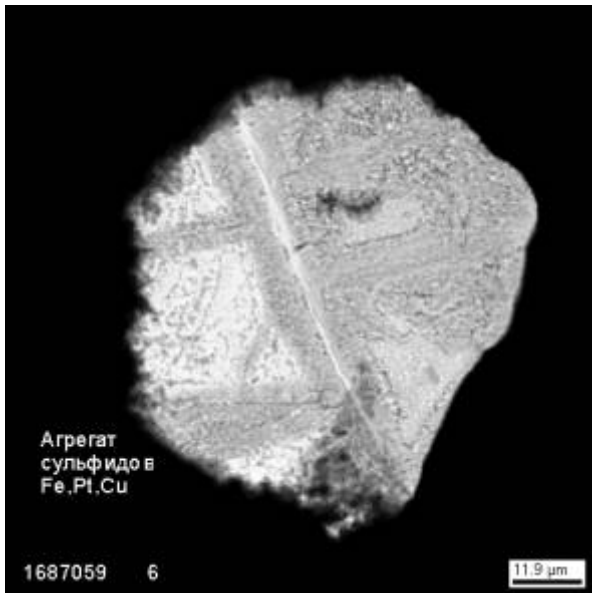
О



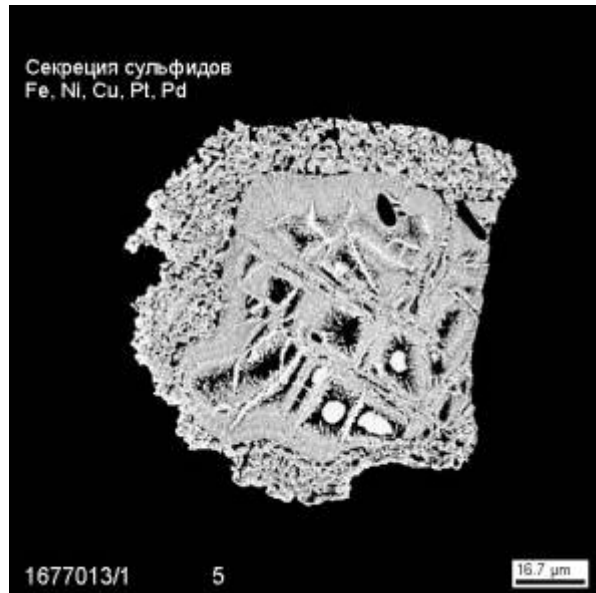
П



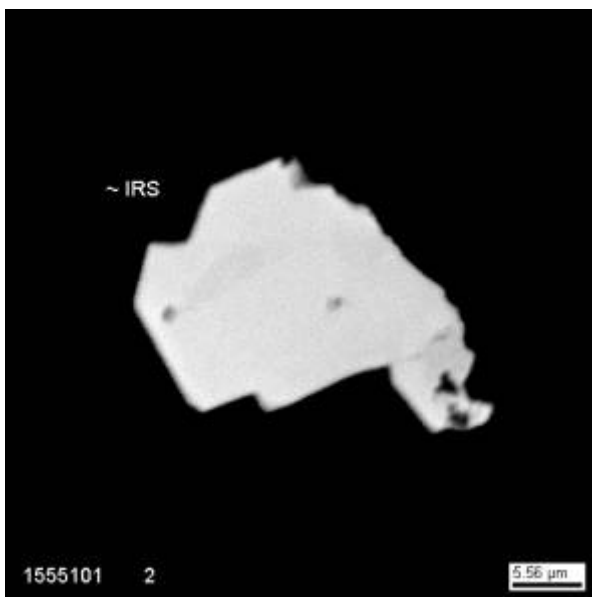
Р



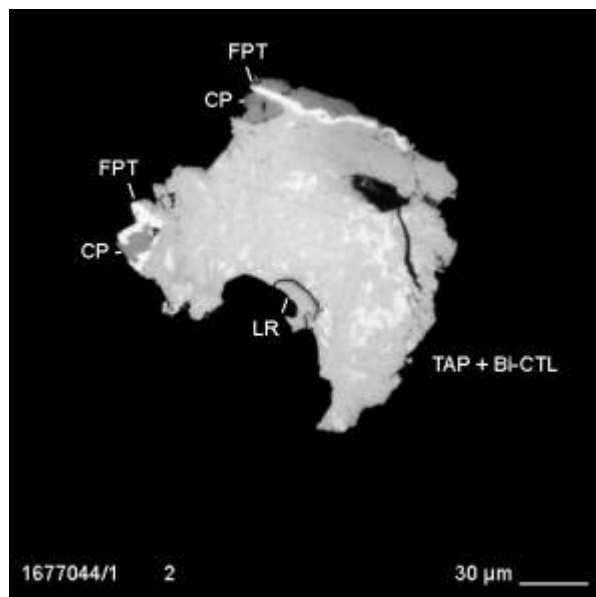
C



T



Y



Ф

Обозначения на рис. 1.2.1 В - Ф

AMF - амфибол;  
 AP - арсенопалладинит:  $Pd_3(As,Sb)_3$ ;  
 BN - борнит;  
 CP - халькопирит;  
 CTC - кейтконнит:  $Pd_3Te$ ;  
 CTL - котульскит:  $Pd(Te,Bi)$ ;  
 FPT - ферроплатина;  
 IRS - ирарсит:  $IrAsS$ ;

LR - лаурит:  $(Ru,Os)S_2$ ;  
 MON - мончеит:  $PtTe_2$ ;  
 PN - пентландит;  
 SPR - сперрилит:  $PtAs_2$ ;  
 TAP - теларгпалит:  $(Pd,Ag)_3Te$ ;  
 TLM - туламинит:  $Pt_2FeCu$ ;  
 TPD - теллуropалладинит:  $Pd_9Te_4$ ;  
 ZV - звягинцевит:  $(Pd,Pt)_3Pb$ .

Несмотря на видовое разнообразие минералов БМ, наиболее обычны около десяти из них: сульфиды Pd и Pt (высоцкит, брэггит), теллуриды (котульскит, мончеит, теларгпалит, кейтконнит, теллуropалладинит), арсениды (арсенопалладинит, гуанглинит, палладоарсенид, сперрилит), золото-серебрянные сплавы, а также в некоторых пробах преобладают звягинцевит ( $Pd_3Pb$ ) и интерметаллиды платины. (См. фото на рис. 1.2.1). Часто эти минералы идиоморфны (независимо от размера зерен, сравним фото В-Е и Ж-З) или в обломках зерен видны фрагменты первичных граней. Анализ полученных минералогических данных показывает, что минералы БМ тесно ассоциируют с сульфидами прежде всего меди и в меньшей степени никеля, но важно подчеркнуть, что количество минералов БМ (и концентрации БМ в пробах) если и имеют корреляцию с количеством минералов меди (концентрациями меди в пробах), то очень незначительную: пробы с низкими содержаниями меди могут иметь высокие концентрации БМ и, наоборот.

Отмечается также тенденция, еще не получившая количественной оценки, что по мере относительного увеличения минералов никеля - пентландита и (или) миллерита - в ассоциации с пирротинном количество минералов БМ сокращается и, вероятно, значительная часть БМ входит в решетки этих минералов, то есть уменьшается доля "минеральной формы" БМ в пробах. Типична ассоциация минералов БМ с низкотемпературным комплексом силикатов, который, как это было показано в предыдущем разделе, наиболее характерен для такситов и с которым тесно ассоциированы рудные минералы. (См. рис. 1.1.1 А).

Необходимо специально подчеркнуть и проанализировать тот факт, что во всех скважинах в пределах БМ горизонта в переменных количествах фиксируются тонкозернистые рыхлые агрегаты субмикронных фаз, в состав которых входят Pt, Cu, Fe, Ni и S в различных соотношениях. (См. фото К, Л, О, П, Р, С, Т на рис. 1.2.1). В некоторых интервалах скважин количество таких сульфидных агрегатов преобладает над другими минералами БМ. Часто агрегаты тесно ассоциируют или прорастают мелкими фазами интерметаллидов Pt, Fe и Cu. Судя по взаимоотношениям с другими минералами, время образования агрегатов отвечает самым поздним этапам кристаллизации минералов БМ и кристаллизация происходила достаточно быстро и агрегаты не успевали оформиться в самостоятельные фазы. (Возможно происходило выпадение моносульфидной фазы - mss: monosulphide solid solution - из остаточного флюида).

Важно также, что двустадийный процесс образования минералов БМ фиксируются не только по наличию агрегатов субмикронных фаз, но и по структурам замещения одних минералов другими: на фото М показано фрагментированное зерно гуанглинита, замещаемое ферроплатиной; на фото Н - мончеит по плоскостям отдельности замещается теларгпалитом; на фото Ф - показан пятнистый агрегат котульскита и теларгпалита без ясных фазовых границ, образованный в результате замещения уже неопределимой первичной фазы, возможно самого котульскита.

Кроме того, обращает внимание, что агрегаты Pt-Cu-Fe-Ni-S состава образуют рыхлые структуры (фото Р и С) или даже секрции с незаполненным внутренним пространством (фото Т). Это свидетельствует о том, что поздний парагенезис минералов БМ формировался в относительно низкотемпературных условиях из газовой-жидкой флюида в пористой среде. Существенно также, что среди минералов БМ присутствуют лаурит и ирарсит, то есть минералы, в состав которых входит группа тугоплавких платиноидов (Ru, Os, Ir, см. фото У и Ф). Эти минералы и элементы совершенно не типичны для габбро в целом, но именно они являются типичными для хромититов как альпинотипных, так и расслоенных комплексов. Вероятно это свидетельствует о значительной подвижности флюидов, генерирующих БМ минерализацию в такситах, и о извлечении тугоплавких платиноидов даже из хромититов дунитового блока.

Заключая рассмотрение особенностей БМ минерализации в такситовых разновидностях габброноритов, отметим, что, полученные по представительному фактическому материалу данные, хорошо укладываются в контекст выводов, приведенных в предыдущем разделе: формирование такситовых тел происходит в зонах разуплотнения, в которых происходит кристаллизация-перекристаллизация породообразующих минералов, обусловленная и сопровождающаяся "всасыванием" флюидной фазы, из которой выделяются рудные минералы, включая минералы БМ. Последующее остывание и возможность латеральных перемещений флюидов приводят к относительно низкотемпературным преобразованиям и формируют поздние парагенезисы минералов БМ.

## Природные разновидности БМ руд, основные технологические свойства

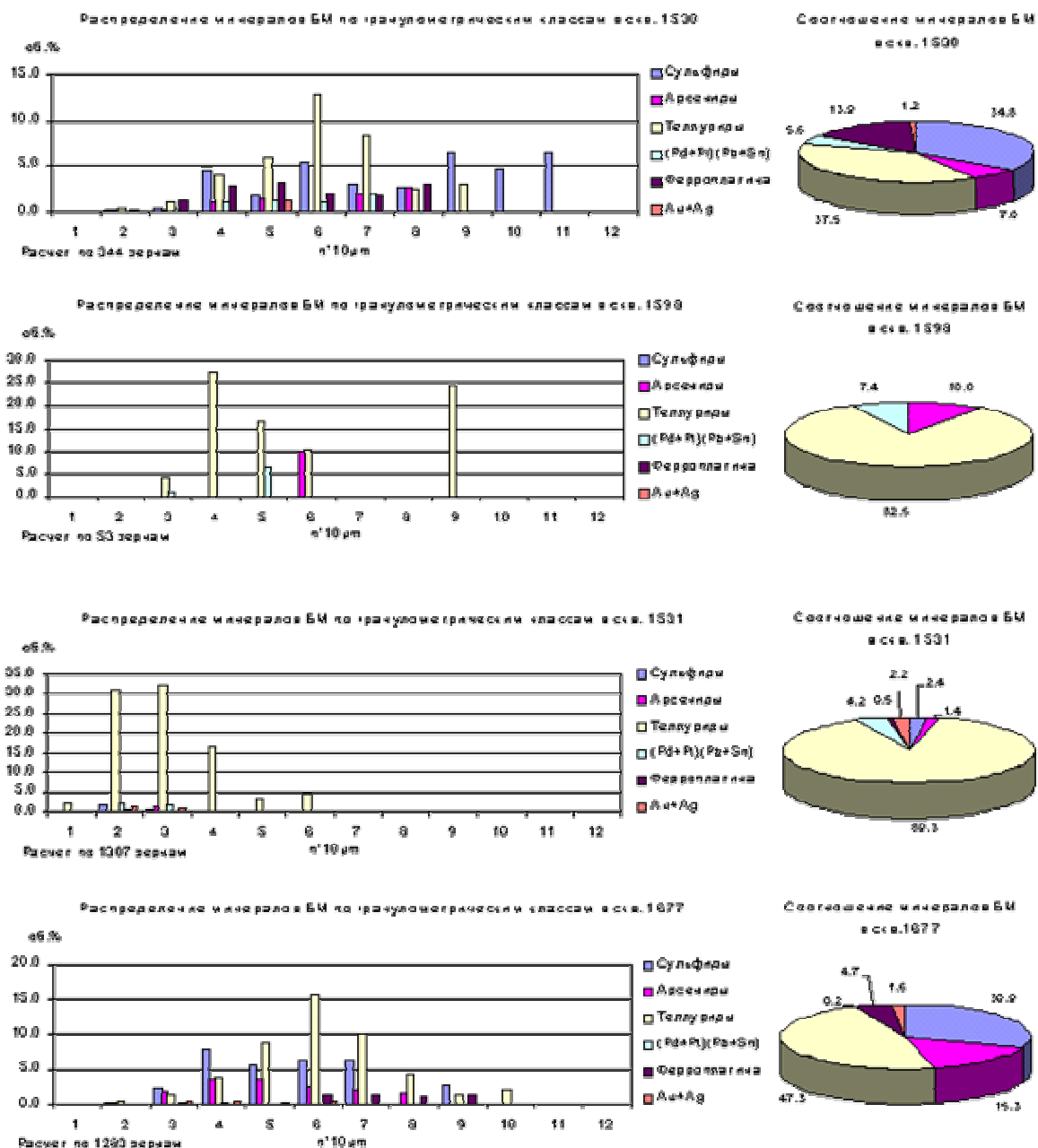
Как это следует из приведенных данных, в каждом из интервалов различных скважин с БМ минерализацией, а также в различных пробах интервала одной скважины можно встретить довольно пестрые и контрастные ассоциации минералов БМ. Это обусловлено наличием предыстории и длительностью самой истории формирования БМ минерализации, а также

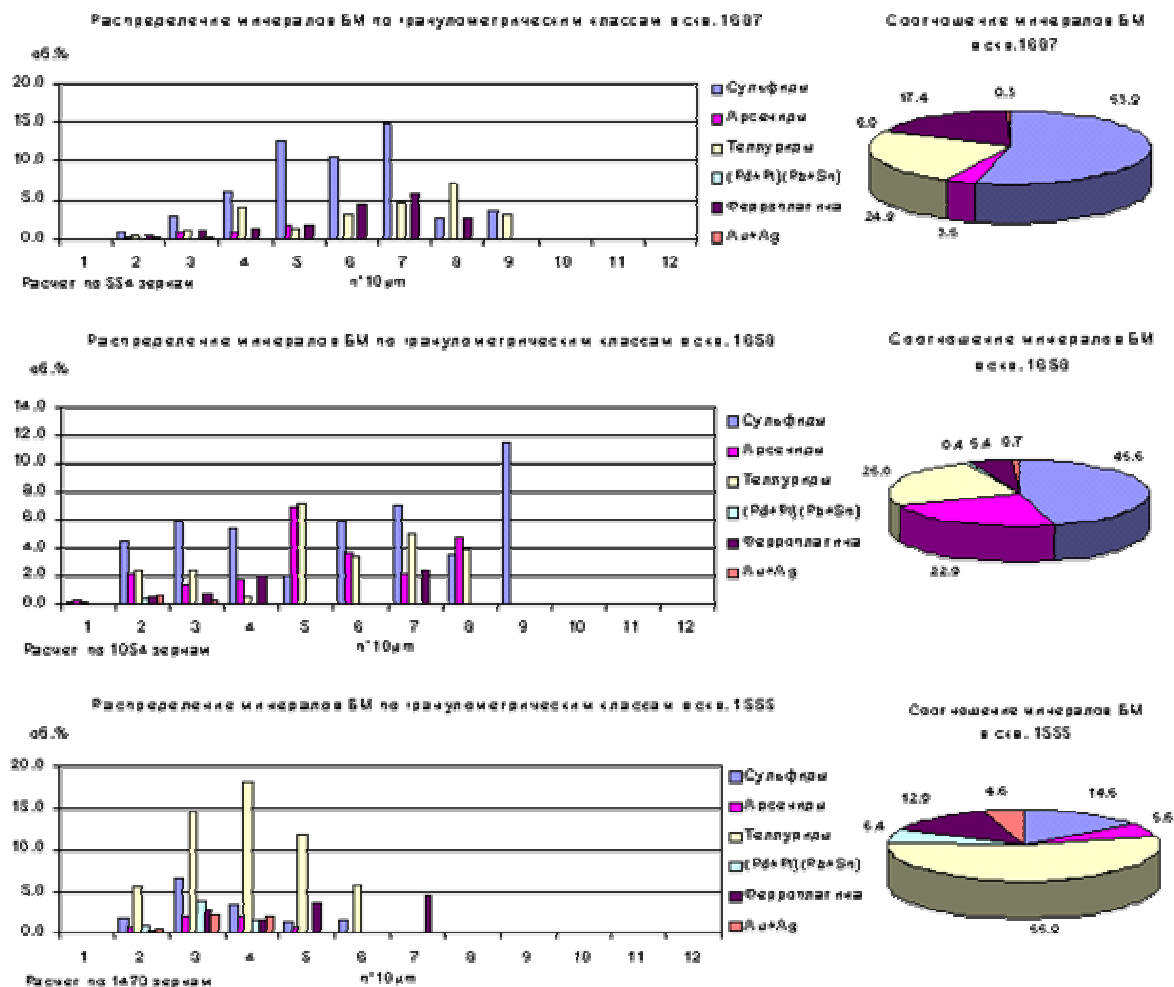
спецификой того конкретного объема, в котором она в конечном итоге сформировалась. Изменчивость БМ горизонта сильно усложняет поиски промышленного оруденения однако, необходимость прослеживания БМ горизонта на значительные расстояния по редким скважинам - задача вполне практическая, но требующая использования адекватных параметров для типизации БМ минерализации.

Концентрации благородных металлов и их соотношения не дают практически никакой информации для сопоставления интервалов по скважинам, поэтому минералогическому изучению трудно найти альтернативу, как для решения генетических вопросов, так и для поисковых целей.

На рисунке 1.2.2 приведены данные сопоставления БМ горизонта по скважинам 1530 - 1598 - 1531 - 1677 - 1687 - 1658 - 1555, пробуренным вдоль контакта габброноритов с породами дунитового блока.

Рис. 1.2.2. Соотношения минералов БМ в изученных интервалах скважин





На гистограммах показано распределение групп минералов БМ по гранулометрическим классам, а на круговых диаграммах - соотношения этих групп в БМ горизонте каждой скважины. Подчеркнем, что объединение минералов в группы (по анионным группам) оправдано по двум причинам: во-первых, соотношения анионов отражают геохимию различных процессов формирования и преобразования БМ минерализации и, во-вторых, - излишняя детализация (приведение данных по каждому минералу БМ) на этом уровне анализа материала нам кажется избыточной, но станет действительно необходимой при проведении работ по выбору технологии обогащения руд. Отметим только, что в группу теллуридов объединены мончеит, кейтконнит, котульскит, теллуropалладинит, а также теларгпалит и меренскит. Как показывает опыт, последние два минерала часто замещают первые, поэтому полученные распределения в какой-то мере "усреднены по процессам". То же относится и к брэггиту и высококиту (сульфиды платины и палладия), с одной стороны, и агрегатам сульфидов с тонкой ферроплатиной, - с другой стороны. (См. фото Л - Т на рис. 1.2.1).

Важно подчеркнуть также, что распределения на рис. 1.2.2 получены по объемам, просуммированным по каждому зерну по каждому минералу БМ в каждой изученной пробе. Аналогичные распределения по числу зерен не отражают реальности, поскольку мелкие зерна, наиболее часто встречаемые в аншлифах, не представительны (в общем случае) по отношению к минерализации в целом. К примеру, в интервале скважины 1558, в классе  $-20\mu\text{m}$  находится 72.6% от общего числа зерен (всего зерен 1054), суммарный объем которых составляет только 11%.

Анализ круговых диаграмм на рисунке 1.2.2 показывает, что характерными чертами БМ минерализации горизонта является наличие арсенидно-сульфидно-теллуридной специализации, причем сульфидная часть "конкурирует" с теллуридной при относительно

независимом поведении арсенидов, минералы БМ с анионами свинца и олова (звягинцевит, атокит-рустенбургит, станнопалладинит) тяготеют к теллуридам. Ферроплатина тесно ассоциирована с сульфидной частью, что отчетливо видно на фото рисунка 1.2.1. Последовательное сопоставление данных по скважинам с С-3 на Ю-В от скв. 1530 до 1555 показывает, что в скважине 1530 доли сульфидной и теллуридной минерализации примерно равны, в скважинах 1598 и 1531 сульфидная минерализация практически отсутствует, а в скважинах 1677, 1687, 1658 и 1555 сульфидная минерализация сначала волнообразно нарастает, а затем убывает. Поскольку сульфидно-ферроплатиновая ассоциация часто является более поздней (см. рис. 1.2.1), то можно сделать вывод, что в районе заложения скважин 1677, 1687 и 1658 в большем объеме проявлен относительно поздний термальный процесс перераспределения первичных ассоциаций БМ минералов.

## Заключение

Приведенный материал показывает, что выявленная специализация БМ минерализации позволяет производить сопоставления по различным удаленным скважинам и видеть вариации на фоне общих закономерностей. Горизонт, как самостоятельная область с определенным типом БМ минерализации имеет место в разрезе габброноритового комплекса, устойчиво прослеживается в изученных скважинах, поэтому целесообразны попытки его обнаружения за пределами изученной площади для выяснения масштабов потенциального оруденения.

В качестве одного из следствий, можно указать, что такситовый (дилатантный) тип БМ минерализации отличается от эпигенетического типа НКТ (теллурувисмутиды со стехиометрией  $ME : AN$ , равной 1 : 2), но имеет сходство с БМ минерализацией Ю.Сопчи и некоторых интервалов скважин предгорий Вуручу-Айвенча. Горизонт с БМ минерализацией в клинопироксенитах верхней части разреза НКТ изучен недостаточно, однако даже при некотором его сходстве с такситовым типом БМ минерализации - он имеет явные существенные различия.

Группировка минералов БМ, выяснение пропорций между группами и установление распределений минералов БМ по гранулометрическим классам являются необходимой информацией для технологов, конструирующих обогатительный процесс. Уже неоднократно указывалось в различных разделах нашего сайта, что объектом любого обогащения руд являются минералы, поэтому детальная минералогическая информация о природных разновидностях потенциальных БМ руд представляет для думающего обогатителя большую ценность. БМ минералы и их ассоциации, которые обладают близкими физическими свойствами ведут себя одинаково в обогатительном процессе, поэтому именно эта информация предоставляет технологу-обогатителю ту базу, которая позволяет делать осознанный выбор схемы обогащения руд. Это, в свою очередь, даже на ранних стадиях поисковых работ, позволяет производить предварительные экономические оценки и прогнозировать промышленные перспективы оруденения.