

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Канимбуге Людмилы Салете на тему «Особенности геологического строения, состава руд и благородно-метальной минерализации центральной части Хараелахского интрузива Норильского рудного района» по специальности 1.6.10. «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

Месторождения Норильского рудного поля интенсивно разрабатываются. Поэтому любое серьезное научное исследование, посвященное Норильскому рудному полю, – актуально. Представляется, что объект детальных исследований: северный фланг крупнейшего месторождения палладия – Октябрьского, выбран удачно. Специальность 1.6.10 геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения требует подготовку специалиста широкого профиля, способного вести исследования по геологии, петрографии, минералогии и геохимии рудовмещающей среды и рудных концентраций. Людмила Салете Канимбуге продемонстрировала это в рецензируемой диссертации.

1 глава «История и современное состояние изученности Норильского рудного поля» – неплохой обзор. Отметим замечания к этой главе и, соответственно, к перечню гипотез формирования рудоносных интрузивов, рудных залежей и к списку литературы. Хорошо известно, что по Норильскому месторождению существует огромная литература, но представляется необходимым сослаться в работе и использовать результаты монографии О.Е. Юшко-Захаровой «Платиноносность рудных месторождений» (1975); книги В. А. Коваленкера «Минералогия и геохимия селена и теллура» (1977); известнейшей статьи В.К. Степанова и Д.М. Туровцева «Многофакторные модели Cu-Ni месторождений

норильского типа» (1988); наиболее толковой геолого-геофизической сводки по Норильскому региону – О.Н. Симонова с соавторами (1994); работу В.К. Степанова «Formation mechanism of ore-bearing intrusives of Noril'sk type» (2014), которая содержит наиболее адекватную на сегодня гипотезу формирования рудоносных интрузивов норильского типа и сульфидных залежей; мою «Генетическую модель месторождений Норильского рудного поля» (2019). Стоило упомянуть, что главную рудоконтролирующую структуру – Норильско-Хараелахский разлом выделил Ю.М. Шейнманн в 1942 г. Послетрапповый, пострудный метаморфизм в Норильском регионе, который в заметной степени изменил состав норильских горных пород и руд, обоснован и рассмотрен в ряде книг и во множестве статей, но не в диссертации Л.С. Канимбуге.

2 глава «Геологическое строение Хараелахского интрузива Норильского района». Основа 2 главы – добротная геологическая карта Б.А. Струнина масштаба 1:200 000. Л.С. Канимбуге по результатам изучения небольшого участка рудоносного интрузива сделала попытку охарактеризовать более масштабные объекты. Это привело к определённым недочётам. В толще траппов указаны покровы спилитов. Отдельные участки metabasalts = спилитов развиты локально, как и иные проявления посттраппового метаморфизма. Основная рудоконтролирующая структура – Норильско-Хараелахский разлом назван глубинным. Этот разлом не глубинный, а региональный, во время внедрения рудоносных интрузивов представлял собой зону трещиноватости, вдоль которой и внедрились полого залегающие рудоносные интрузивы. В диссертации отмечено, что пластинообразный Хараелахский интрузив падает на северо-запад. На самом деле – это лентообразное тело полого, под углами 4-10° погружается на север-северо-восток. Интрузив пересёк с севера на юг всю Хараелахскую брахисинклинали. На юге при выходе из-под брахисинклинали интрузив раздался в широтном направлении. Под его широкой широтной частью размещена Главная

Хараелахская сульфидная залежь с большей частью богатых руд Октябрьского месторождения, с обилием минералов Pd, Pt, Au, Ag. Описанный в диссертации участок Октябрьского месторождения расположен в северной части широкой широтной части Хараелахского интрузива близ её перехода к узкой долготной. Поэтому рудные тела Северное-3 и Северное-4, изученные диссертантом, имеют широтное простирание и полого погружаются на север. Разрез через эти рудные тела на рисунке 2.2.2. противоречит их проекции. В верхнюю часть рудоносного интрузива диссертант включила хромитоносные лейкогаббро. Это не так. По данным В.К. Степанова, А.П. Лихачёва, В.М. Шишкина, И.А. Зотова, эти более древние интрузивные образования слагают «плечи» рудоносного интрузива. Поэтому, наличие или отсутствие лейкогаббро не является критерием отличия колонок рудоносного интрузива. В диссертации отмечено, что максимальная мощность рудоносного интрузива – в ядрах синклинальных складок. Это не так. У рудоносного интрузива = пологая кровля и неровное дно. По данным В.К. Степанова и А.П. Лихачёва, значительные углубления дна возникли там, где интрузивный расплав выпал дно. Именно эти углубления содержат «озёра» сульфидного расплава (Степанов, Туровцев, 1988; Лихачёв, 2006).

Глава 3 «Фактический материал и методы исследования» содержит достаточно полные данные по большинству использованных методов.

Глава 4 «Структурно-вещественная характеристика пород центральной части Хараелахского интрузива». Обсудим важный термин «пикритовые габбродолериты» – обобщённое название пород основного рудоносного горизонта. Пора от него отказаться, т.к. в одном термине сочетаются пикриты (вулканиты) и габбро (интрузивные образования). Судя по фотографиям рисунка 4.1.1., это – плагиолерцолиты, габбронорит-перидотиты, оливковые меланогаббронориты. Плагиоклаз в них ксеноморфный, поэтому приставка долериты для этих пород исключена. Диссертант в таблице А-1, по-видимому, оставила для анализированных пород полевые названия. Поэтому содержание

магния в такситовых габбро-долеритах (от 6 до 23 масс. % MgO), оливиновых габброидах (от 5 до 26 % MgO) и габбро-перидотитах (от 7 до 26 % MgO) – почти не отличаются. Этого не может быть, т.к. указанные горные породы в разы отличаются по содержанию оливина.

Интересные данные диссертант получила по составу оливина: установила предельную магнезиальность Fo 81. Невысокая магнезиальность – свидетельство того, что оливин является продуктом кристаллизации базитовой, а не гипербазитовой магмы. Данные на симпатичном рисунке 4.2.1. «в» – эволюция магнезиальности оливина и содержание в нём кальция – однозначное свидетельство единого магматического расплава обеих так называемых «независимых» ветвей Хараелахского интрузива: кальций в оливине – чуткий индикатор состава и эволюции состава силикатных магм.

Недоумение вызвала характеристика плагиоклаза. Когда диссертант пишет о непрерывном составе плагиоклаза от анортита до альбита, видимо упускает, что при описании пород указала на замещение плагиоклаза альбитом, пренитом, хлоритом. Судя по рисунку 4.2.2., непрерывности нет, состав магматического плагиоклаза колеблется от битовнита до андезина. Альбит и олигоклаз это – продукты постмагматической альбитизации. Непонятно, где взяты составы анортита: в таблице 4.2.2. приведен один анализ, для которого указан состав An 100; пересчёт этого анализа показывает, это – гидрогранат. Диссертант получила богатый аналитический материал по пироксенам, но ограничилась построением диаграмм рисунка 4.2.3. Жаль. Пироксены – информативные минералы. Диссертант получила богатый аналитический материал по хромшпинелидам. К сожалению, пересчёт анализов выполнен с ошибкой: хромистость шпинелидов, богатых Fe³⁺, не Cr/Cr+Al, а Cr/Cr+Al+Fe³⁺. Названия шпинелидов требуют корректировки. Наш пересчёт показал, что главный хромшпинелид – титанистый хромит с предельной хромистостью 50, богатый миналом магнетита. Такой состав –

надёжное свидетельство кристаллизации из базитового, а не из гипербазитового расплава.

Крайне интересные данные Л.С. Канимбуге получила по ильмениту, но не расшифровала сути. Из рисунка 4.3.2. «а» следует, что ильменит включал капли медистого сульфидного расплава, который в начале был превращён в высокотемпературный твёрдый раствор Iss, затем – в кубанит, который далее испытал распад на халькопирит и пирротин (троилит) в соотношении 1:1. На рисунках 4.3.2. «б» и «в» – ильменит другого типа. Это – продукт субсолидусного окислительного распада титаномагнетита. Отметив наличие богатого хлором и фтором апатита в агрегатах сульфидов, диссертант сделала правильный вывод о богатстве сульфидного расплава летучими. Интересное наблюдение диссертанта – каймы циркона вокруг бадделеита – осталось без интерпретации. Известно, что бадделеит кристаллизуется из расплава, недосыщенного кремнезёмом; циркон – из насыщенного. Данные по составу циркона (табл. 4.3.3.) в диссертации не интерпретированы. Из них очевидно, что в интрузивных породах присутствует циркон двух генетических типов. Циркон, богатый Y и REE, содержащий немало Th, не сингенетичен габбродолеритам Хараелахского интрузива, это – циркон из ксенолитов радиоактивных гранитов фундамента платформы.

Очень интересные данные диссертант получила по геохимии интрузивных пород, в том числе, по распределению в них лантанидов. Единственное серьёзное замечание – для ряда химических элементов оценка содержания включает шесть значащих цифр. Такая точность анализов недостижима, необходимо оставить максимум четыре значащие цифры.

Диссертант сочла убедительной точку зрения на генезис пород «пикритового» горизонта, что это – продукты наиболее примитивной мантии. Вслед за В.К. Степановым, В.В. Золотухиным, с учётом фактических данных о составе минералов этого горизонта, включая данные Людмилы Канимбуге, это – кумулятивные породы, дифференциаты рудоносного интрузива.

Совершенно справедлив вывод диссертанта к 4 главе – «проведенный анализ пород Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива выявил их идентичность как по составу породообразующих и второстепенных минералов, так и по геохимическим особенностям пород».

Первое защищаемое положение диссертанта можно принять.

Глава 5 «Структурно-вещественная характеристика руд центральной части Хараелахского интрузива». Описание руд в диссертации вызывает множество вопросов. Количественная оценка типов норильских руд зачем-то дана по зарубежной публикации, авторы которой заимствовали её у А.П. Лихачёва (2006). Взята классификация руд Д.А. Додина (1971), а не более разработанная (Генкин и др., 1981). Описание расслоенных капель самого распространённого типа вкрапленных руд дано на уровне начала прошлого века: *«вверху – халькопирит, внизу – пирротин»*. Как будто не было работ М.Н. Годлевского, показавшего, что «норильские руды – царство сульфидных твёрдых растворов». На самом деле верхнюю часть капель слагают продукты распада высокотемпературного сульфидного Fe-Cu твёрдого раствора Iss, обычно это – халькопирит с ламелями кубанита, нижнюю часть капель слагают продукты распада высокотемпературного сульфидного Fe-Ni твёрдого раствора Mss, обычно – пирротин с ламелями пентландита и троилита. Ряд выражений вызывает недоумение: *«распад халькопирита с образованием кубанита в виде пластинчатых срастаний»* или *«вниз по разрезу наблюдается рост каплевидных выделений вплоть до образования шлировидных выделений, что является наглядным примером кристаллизационно-гравитационной дифференциации сульфидного расплава»*. Итак, у Л.С. Канимбуге, к сожалению, отсутствует чёткое понимание, что сульфиды изученных ею руд не возникли путём прямой кристаллизации из сульфидного расплава, это – продукты твердофазных превращений высокотемпературных сульфидных твёрдых растворов.

В диссертации приведен обширный аналитический материал по рудным минералам. Обсудим их наименование и состав, начиная с группы халькопирита. Путоранит, талнахит и кубанит диагностированы правильно. Ни один из многих десятков анализов халькопирита не соответствует его формуле – $\text{Cu}_{16}\text{Fe}_{16}\text{S}_{32}$; состав приведенных анализов отвечает $\text{Cu}_{15.3-15.5}\text{Fe}_{16.1-16.4}\text{S}_{32}$. Из трёх анализов хейкокита первый отвечает путораниту, два других – не соответствуют ни одному известному минералу. Пересчёт всех двадцати анализов моихукита показал, что это – путоранит. Таким образом, в массивных рудах скважины РТ-101 путоранит (50 анализов) преобладает над талнахитом (10 анализов); так, что эти руды скорее путоранитовые, чем талнахитовые. В тексте диссертации и в таблице Б2 даны названия «*Fe-пентландит*» и «*Ni-пентландит*», таких минералов нет, это – просто пентландит. Известно, что пентландит первичных норильских руд содержит 1-3 масс. % Со и следы Си; такой пентландит диссертант диагностировала в рудах скважин РТ-7, РТ-30 на глубине 1516-1545 м, РТ-107 на глубине 1652 и 1677 м. Иной изученный пентландит – результат той или иной степени переработки первичного пострудными процессами. Значительная часть «*Fe-пентландита*» диссертанта по соотношению $\text{Fe}:\text{Ni} \sim 2:1$ близка к хорманиту $\text{Fe}_6\text{Ni}_3\text{S}_8$. Другой пентландитоподобный минерал с 7-9-12 масс. % меди это – не пентландит, а сугакиит (бывший купропентландит) $\text{CuFe}_6\text{Ni}_2\text{S}_8$, – продукт гидротермальной переработки первичных руд с пентландитом. Сугакиит развит во вкрапленных рудах скважины РТ-107 на глубинах 1656, 1665 и 1673 м; например, минерал из скважины РТ-107 с глубины 1665.4 м с 6.96 % Си – $\text{Cu}_{0.8}\text{Fe}_{5.9}\text{Ni}_{2.1}\text{S}_8$. Диагностика минералов группы пирротина в таблице Б3 не без ошибок. Некоторые «гексагональные пирротины», например, ан. 9 сверху таблицы с $\text{Fe}:\text{S}=0.875$, что точно отвечает моноклинному пирротину Fe_7S_8 .

Судя по рисункам 5.1.1. - 5.1.5., руды слагают: первичные образования – решётчатые и зернистые срастания халькопирита, кубанита, пирротина, троилита, пентландита, путоранита, талнахита, часто с реакционными

оторочками магнетита или титаномагнетита; и вторичные образования, замещающие тектонизированные агрегаты первичных, это – Ni пирит, борнит, халькозин, магнетит, миллерит, обычно в сростании с хлоритом и иными низкотемпературными минералами. В диссертации первичные и вторичные минералы сульфидных руд рассмотрены совместно, что вряд ли правильно.

Глава 6 «Закономерности распределения благороднометальной минерализации в рудах Хараелахского интрузива». Они рассмотрены с опорой на данные в таблице В, которая составлена небрежно. В первой строке содержание платиновых металлов дано в $\text{ppb} = \text{мг/т}$, во всех остальных – в $\text{ppm} = \text{г/т}$. Это недопустимо. Цифры в колонке «содержание меди» от 2.5 до 455, что это за содержание? В нескольких образцах руд приведено содержание Co почти равное содержанию Ni, таких руд в норильских месторождениях нет, Ni в них обычно в 30 раз больше. Описание руд в 6 главе отлично от главы 5. Сделана попытка генетической интерпретации руд, правда не очень удачная. Цитирую: «...богатые медью руды являются продуктами распада промежуточного твердого раствора (ISS) ...», здесь перепутаны причина и следствие. На рисунке 6.4.1. вертикальный масштаб преувеличен в 1000 раз.

Любые магматические существенно медистые сульфидные руды – продукты продвинутой дифференциации = фракционирования сульфидных расплавов, что ещё в 1927 г. показал И. Фогт. Практически всегда это – руды халькопиритовые. Поразительная особенность медистых руд части залежи Северная-4 – их поторанитовый (поторанит-талнахитовый) состав. Причина возникновения таких руд в диссертации не рассмотрена. Прямых геологических соотношений талнахитовых-поторанитовых руд с рудами иного состава – нет. Второе защищаемое положение основано на анализе диаграмм состава руд в сравнении с материалами экспериментального моделирования эволюции сульфидных расплавов. **Второе защищаемое положение диссертанта можно принять.** Лет 50 тому назад оно бы громко прозвучало.

Оценки летучести сульфидной серы $f S_2$ слишком прямолинейные, упрощённые, сделаны без учёта соотношений Fe:S в местах образования сульфидов. С учётом этого параметра оценки $f S_2$ в габброперидотитах и в такситовых габбродолеритах почти идентичны. Величина $f S_2$ при формировании руд троилитовых и кубанит-троилитовых – равна. Талнахит по составу – не богатый, а самый бедный железом минерал группы халькопирита. Талнахит, моихукит, путоранит с точки зрения $f S_2$ нельзя рассматривать совместно с пирротином, кубанитом, халькопиритом, пентландитом. Талнахит и путоранит возникли при многостадийных превращениях высокотемпературных Fe-Cu сульфидных твёрдых растворов с избытком металлов, которые появились из-за того, что ранний продукт кристаллизации представлял Mss с избытком серы, по составу близкий к моноклинному пирротину Fe_7S_8 . Оценки летучести сульфидной серы по составу пентландита в диссертации сделаны совместно для первичного пентландита и для пентландита, переработанного гидротермальными процессами. Тем не менее, **третье защищаемое положение возможно близко к реальной картине формирования изученных руд.**

Перейдём к рассмотрению минерализации благородных металлов. Начнём с сульфидов – носителей платиновых металлов. Диссертант утверждает, что основной минерал-носитель Pd – пентландит. Тогда почему ни в одном из многих десятков анализов пентландита в таблице Б2 нет даже 0.01 масс. % = 100 г/т Pd? По нашим наблюдениям, богатый палладием пентландит – редкий в норильских рудах метаморфогенно-гидротермальный минерал. То, что пирротин (бывший Mss) обогащён родием известно со времени кандидатской диссертации Э.А. Кулагова (1968 г).

Диссертант провела интенсивное изучение минералов Pd, Pt, Au, Ag. Крайне интересные данные по минералам Pd, Pt, Au, Ag показаны на рисунках 6.2.2., 6.2.3. и 6.2.4. Почему мы должны верить этим данным? Можем и не верить, так как в диссертации нет ни одного анализа минералов благородных

металлов, даны только их названия. Хотя бы были приведены конкретные, а не теоретические формулы минералов благородных металлов. При этом, приведено 72 полных химических анализа халькопирита, состав которого при хорошем качестве анализов точно отвечает CuFeS_2 . Понять такое невозможно.

При описании минералов благородных металлов диссертант справедливо отметила, что основная их часть слагает метакристаллы и метасомы, микропрожилки, секущие сульфидные минералы и контакты сульфидов и силикатов. Впечатляют формы выделения наиболее позднего из минералов благородных металлов – сперрилита: то это – почти правильно огранённые метакристаллы, то кинжаловидные, то змеевидные микропрожилки. И тут же рядом: *«в изученных массивных рудах встречаются агрегаты округлой формы, кристаллизация которых происходила одновременно с остыванием сульфидного расплава»* (ни на одной из 18 приведенных фотографий таких округлых выделений минералов платиновых металлов нет). И это среди сульфидов – продуктов твердофазных превращений!!!. Вот и – глубина понимания. Вопрос: микропрожилок арсенида палладия в крайне низкотемпературном миллерите NiS (рис. 6.2.2 «а») - когда и как возник?

В целом, описания минералов благородных металлов упрощены. А каждый такой минерал заслуживает внимания. Разберём один пример. На рисунке 6.2.4 «е» показано срастание теллурида Pd – котульскита и теллурида Pd и Ag – теларгпалита. В.А. Коваленкер, который открыл теларгпалит, показал, что он обычно образуется при замещении котульскита. Это хорошо видно и на указанном рисунке. Таким образом, это – не срастание, а замещение котульскита теларгпалитом.

И наконец, об оценке температур формирования минералов благородных металлов. Диссертант произвольно переинтерпретировала оценки Т.Л. Евстигнеевой и мои в сторону завышения. Мои оценки – верхний предел около $430-415^\circ \text{C}$, основная стадия – не выше 390°C – температура устойчивости аурикуприда. На каком основании сперрилит *«стал»* ранним и

высокотемпературным», как и куприды-станниды палладия (таймырит, кабриит...). В моих работах доказано, что сперридит – наиболее поздний из минералов Pd-Pt-Au-Ag норильских руд. Позже это признал и С.Ф. Служеникин. Кабриит, как и электрум, и золотосодержащее серебро, – одни из наиболее поздних минералов норильских руд любого состава. Так что оценки температур формирования минералов благородных металлов в диссертации Л.Е. Канимбуге вызывают массу вопросов.

Ряд замечаний снят при обсуждении текста диссертации с Л.С. Канимбуге.

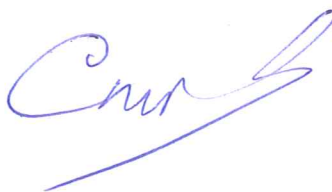
Подводя итог, можно отметить, что Л.С. Канимбуге провела обширные исследования, получила ряд интересных результатов по магматической геологии, геохимии и минералогии одного из участков крупнейшего в Норильском рудном поле Октябрьского месторождения. Диссертация выполнена на достаточном научном уровне. Автореферат в целом соответствует диссертации. Материалы диссертации доложены на ряде научных конференций высокого уровня. По теме диссертации выполнена серия публикаций, в том числе, в ведущих научных журналах.

Людмила Салете Канимбуге приобрела необходимые компетенции и заслуживает присуждения ученой степени “кандидат геолого-минералогических наук” по специальности 1.6.10 - геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения.

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», почётный геологоразведчик РФ

Спиридонов Эрнст Максович



06.12.2024

Контактные данные:

тел. +7(985)9534884, e-mail: SpiridonovEM@my.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация:

04.00.011 – «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных
месторождений, металлогения»

Адрес места работы:

119991 Москва, Воробьёвы горы, д. 1, Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Московский государственный университет имени М.В.
Ломоносова», геологический факультет.

Тел. +7(495)9394958, e-mail: info@geol.msu.ru

Я, Спиридонов Эрнст Максович, автор отзыва, даю согласие
на включение своих персональных данных в документы.

«06» декабря 2024 г.

Подпись профессора Спиридонова Эрнста Максовича
заверяю.

