

# Модель формирования Cu-Pt-Pd руд в щелочных метасоматитах массива Кондер, Хабаровский Край

## Model of Cu-Pt-Pd Ore Formation in Alkaline Metasomatites of Kondyor Massif, Khabarovsk Territory



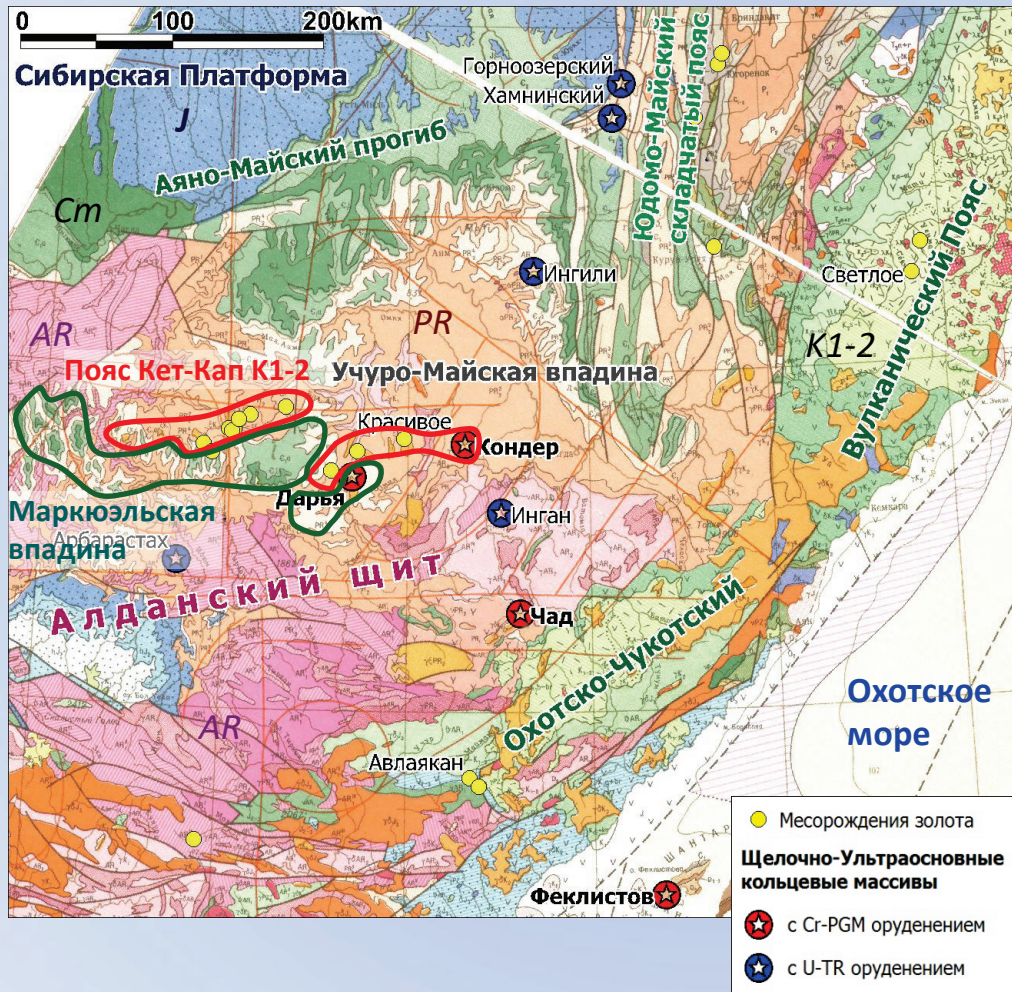
Гуревич Д.В., Полонянкин А.А.  
ООО "Русская Платина", Москва.

При участии Петрова С.В., Бороздина А. П., Тарасовой И. П., Полеховского Ю. С.  
(СПбГУ, Санкт-Петербург); Белогуб Е.В., Заботиной М.В. (ИМ УРО РАН РФ, г.  
Миасс); Петрова А.В. (ОРЕОЛЛ-ГЕО, г. Москва) ; Шведова Г.И. (СибГУ, г. Красноярск);

## Избранные источники Selected Sources

- Бродяженко** Т.И. Отчет о результатах геохимических поисков методом анализа сверхтонкой фракции на площади массива Кондер. ООО ГПП – Геологическая компания, 2013 г.
- Волченко** Ю.А., Иванов К.С., Коротеев В.А. и др. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа. Часть I. Литосфера. 2007. № 3. С. 3-27.
- Горошко** М.В., Гурьянов В.А. Уран-редкометальное оруденение в массивах ультраосновных щелочных пород юго-востока Сибирской платформы // Тихоокеанская геология, 2004, том 23, № 2, с. 76-91.
- Гуревич** Д.В. Картирование Купольно-Кольцевых Структур при поисках и разведке порфириновых и эпипитермальных месторождений. Материалы конференции, посвященной Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2013, с. 280-290.
- Гурович** В.Г., Землянухин В.Н., Емельяненко В.П. и др. Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива. М.: Наука, 1994.
- Долгалъ** А.С. Высокоточная гравиметрическая съемка м-ба 1:25 000 в пределах участка Кондёр. ГИ УрО РАН. Отчет от 27 июня 2013.
- Емельяненко** Е.П., Масловский А.Н., Залищак Б.Л. и др. Закономерности размещения рудной минерализации на Кондерском щелочно-ультраосновном массиве // Геологические условия локализации эндогенного оруденения. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 100-113.
- Ефимов** А.А., Ронкин Ю.Л., Малич К.Н., Лепихина Г.А. Sm–Nd и Rb–Sr (ID-TIMS)- датирование апатит–фло-гопитовых клинопироксенитов в дунитовом “ядре” Кондерского массива на Алданском щите: новые данные // ДАН, 2012. Т. 445. № 5.
- Иванов** О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 327 с.
- Мочалов** А.Г. Замечательные минералы платины массива Кондёр. Минералогический Альманах, том 23, выпуск 3, 2019. – 128 с..
- Надретт** А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд. СПб: СПбГУ, 2003.
- Некрасов** И.Я., Иванов В.В., Ленников А.М. и др. Au-Cu-Pd ассоциация Кондерского массива// Платина России. Т. IV. 1999. с. 51-59..
- Петров** А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ, 2010, № 2, вып. 16.
- Петров** С. В. и др. Минералогические особенности пироксенитов массива Кондёр. Отчет . СПбГУ, 2015.
- Полтавцев** А.В. Комплексные наземные геофизические исследования масштаба 1:10 000 в пределах участка Кондёр. Отчет. 2013 г.
- Пушкарев** Е. В., Каменецкий В. С., Морозова А. В. И др. Онтогенез рудных хромшпинелидов и состав включений как индикаторы пневматолито-гидротермального оразования платиноносных хромитов массива Кондер // ГРМ, 2015, Т. 57, № 5.
- Ронкин** Ю. Л., Ефимов А.А., Лепихина Г. А. и др. U–Pb датирование системы “бадделейт-циркон” платиноносного дунита Кондерского массива (Алданский щит): новые данные // ДАН, 2013, Т. 450, № 5, с. 579–585.
- Саватенков** В.М. , Мочалов А.Г.. Возраст и источники платиноносных дунитов массива Кондёр Алданского щита (Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные). Материалы конференции "Месторождения стратегических металлов". Москва, ИГЕМ РАН, 2015.
- Шуколюков** Ю. А., Якубович О. В., Мочалов А. Г. и др. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (190Pt-4He МЕТОД) // ПЕТРОЛОГИЯ, 2012, том 20, № 6, с. 545–559
- Mochalov** A.G., Golovkin S.A., Petrov S.V. et al. 12th International Platinum Symposium Field Trip 2: PGM placer deposits and their sources in the ultramafic and alkaline rocks of the concentrically zoned Kondyor massif, Far East, Russia. 2014, Yekaterinburg.
- BURG** J.-P., J.-L. BODINIER, T. GERYA et al. Translithospheric Mantle Diapirism: Geological Evidence and Numerical Modelling of the Kondyor Zoned Ultramafic Complex (Russian Far-East) // JOURNAL OF PETROLOGY, V.50, N.2, p. 289-321, 2009.





## Массив Кондер на геологической карте

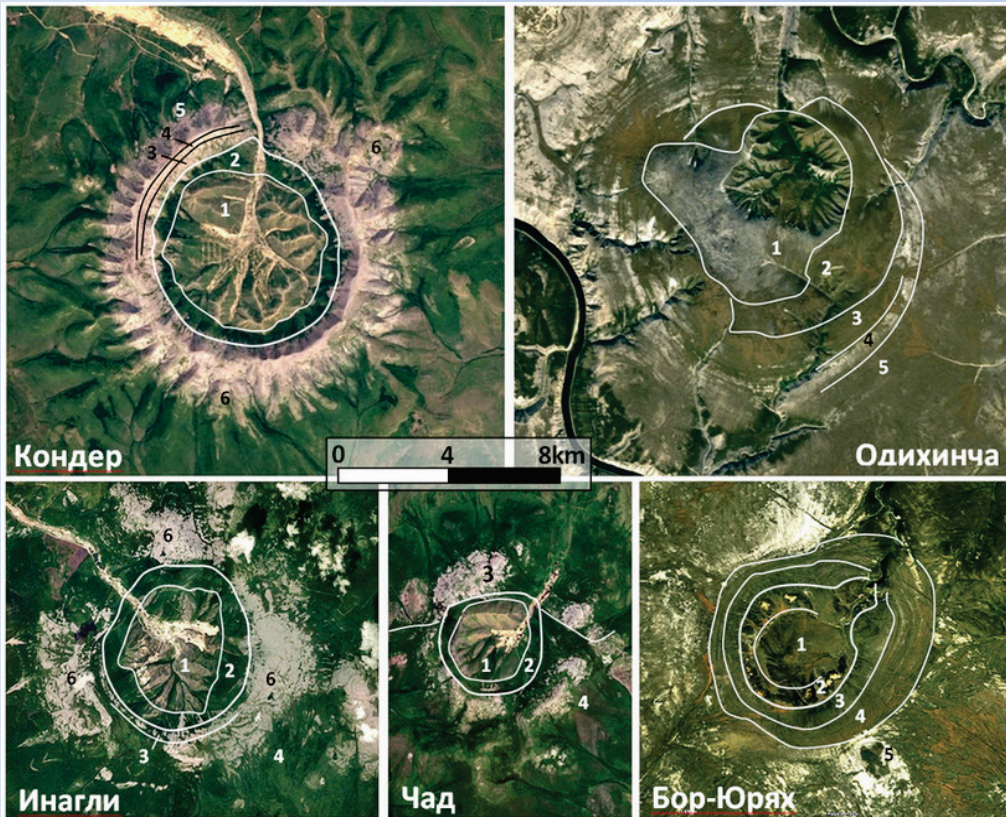
### Kondyor Massif on Geological Map

Месторождения золота, ультраосновные и кольцевые щелочно-ультраосновные массивы восточной части Алданского щита на геол. карте СССР (1982 г., 1:2500000).

Ключевую роль в формировании Cu-Pt-Pd минерализации сыграло расположение массива на окончании Кет-Капского вулканического пояса J3-K2.

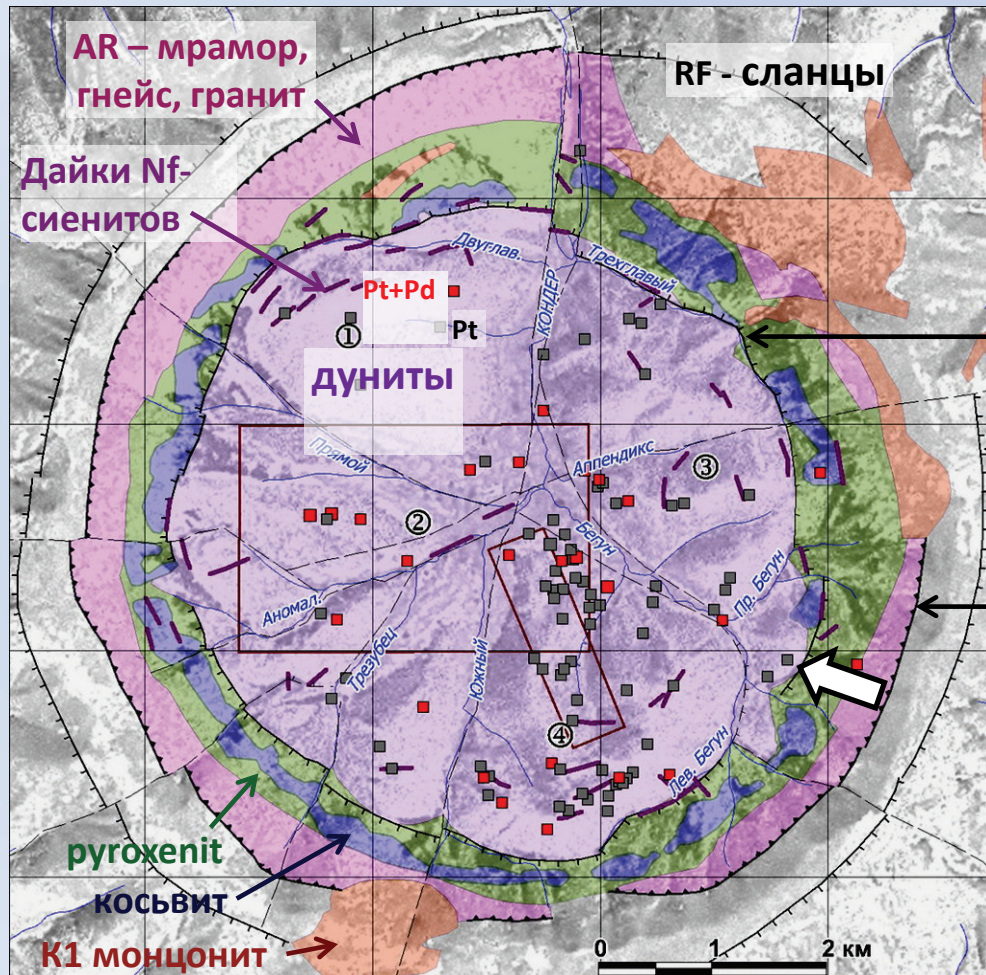


# Кондер - радиально-концентрическая купольно-кольцевая структура Kondyor Massif as Radial-Concentric Cupola-Ring Structure



	1. Ядро	2. Оболочка	3, 4 + 5 Вмещающие		6.
Кондер	Дунит (K1) с козьвидами (K1)	Пироксениты (K1)	<b>AR1 метаморфиты</b>	RF21 Алевролит, песчаник	Поздние интрузии монцитов
Инагли	Дунит (K1) с каймой пироксенитов	Щелочное габбро (K1?)	PR3 Алевролит, песчаник	См1 Известняк	
Чад					
Одихинча	Ийолит и дунит	Мелилитит и якупирангит	RF2 Кремнисто-карбон.	См1 Известняки, мергели	
Бор-Юрях	Оливинит и дунит	Оливинит с Cr, Mg	RF2-V Доломит	См1 Известняки	





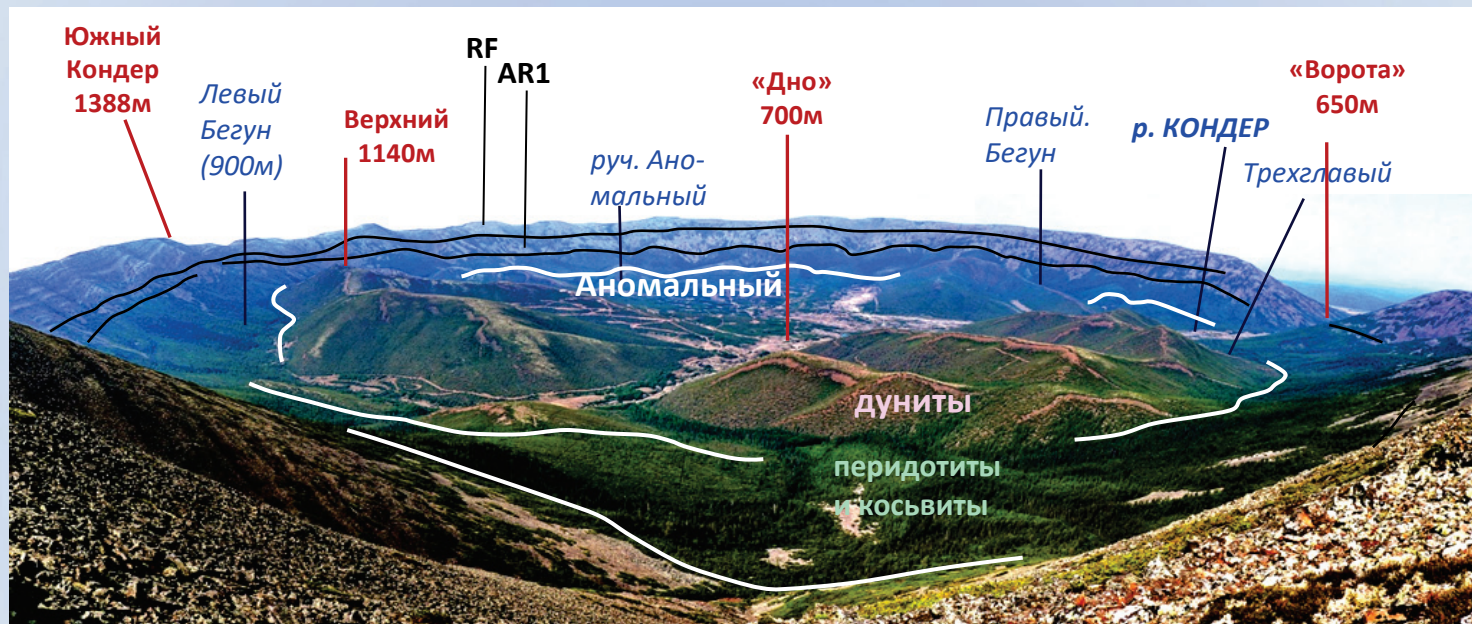
# Геологическая карта массива Кондюр Geological Map of Kondyor Massif

- Внутренний периклинальный Inner pericline
- Внешний периклинальный Outer pericline
- Главный центриклинальный Main centrocline

Генерализованная геологическая карта на снимке Ландсат 7.  
Generalized geological map on Landsat 7 image

# Массив Кондер: геология и геоморфология

## Kondyor Massif: Geology vs Geomorphology



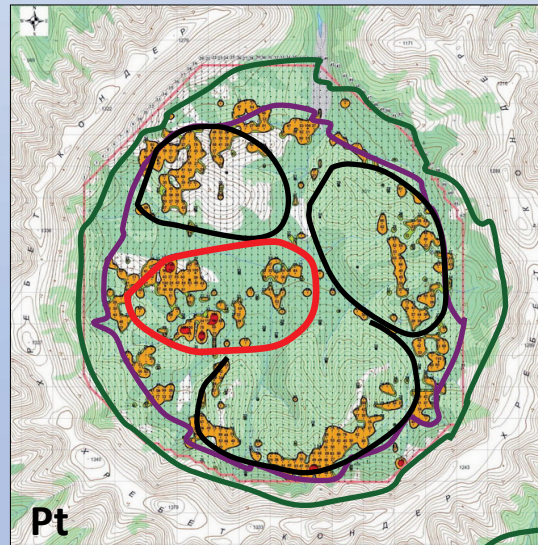
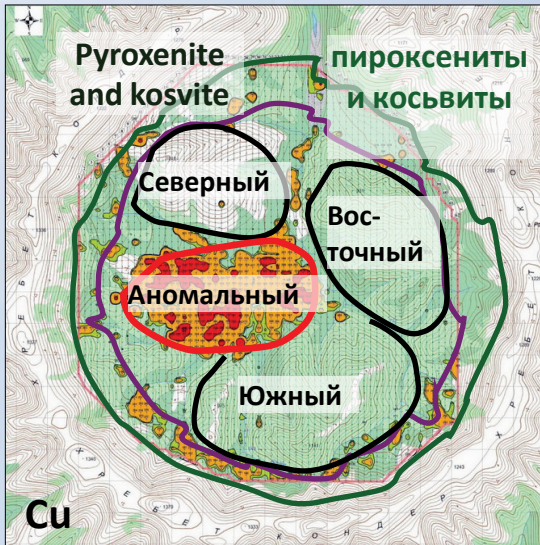
Вид на внутреннюю часть массива Кондер с ЮВ части кольцевого гребня. Август 2014.

View of the internal part of Kondyor Massif from the south-east part of circular ridge. August 2014.



# Геохимическая съёмка 2013 г.

## 2013 Geochemical Survey

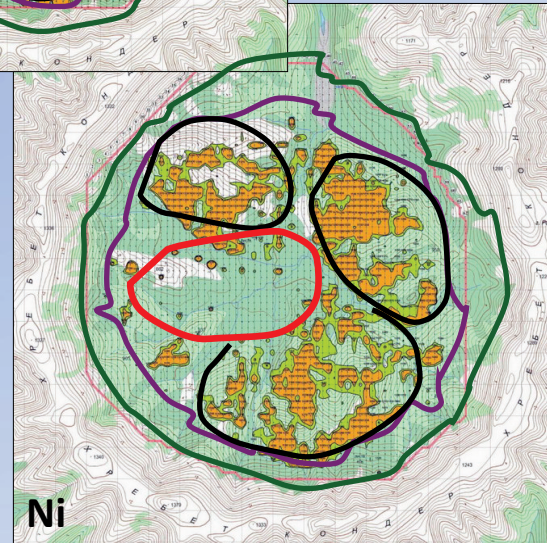


Результаты геохимической съёмки методом анализа сверхтонких фракций (МАСФ) из почвы (Бродяженко Т.И., 2013 г.)

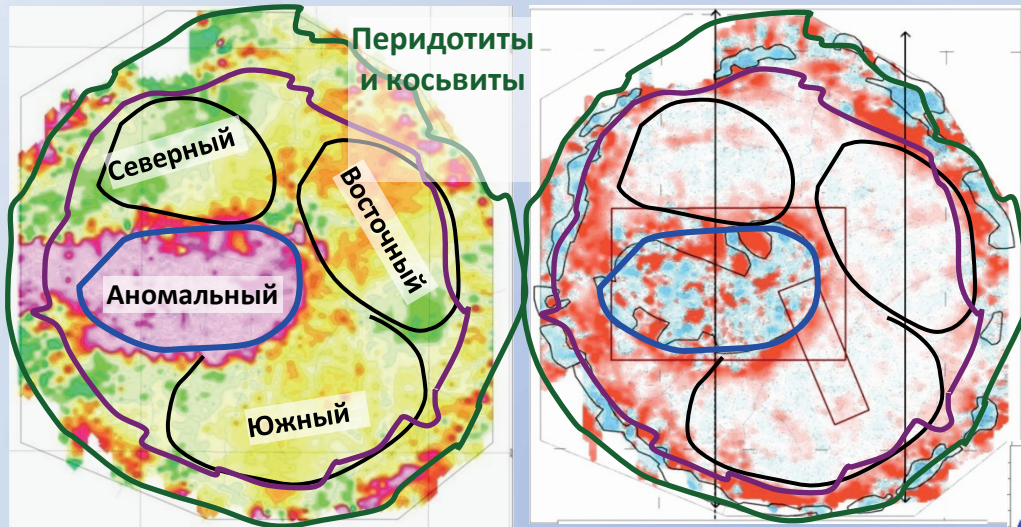
Results of geochemical survey by superfine fraction analysis (MASF) from soil

Выделено 2 группы аномалий:

1. Cu-Pd (Pt) - уч. Аномальный и косьвиты кольца
2. Ni (Cr, Pt) – три слабо эродированных сектора внутри дунитового ядра

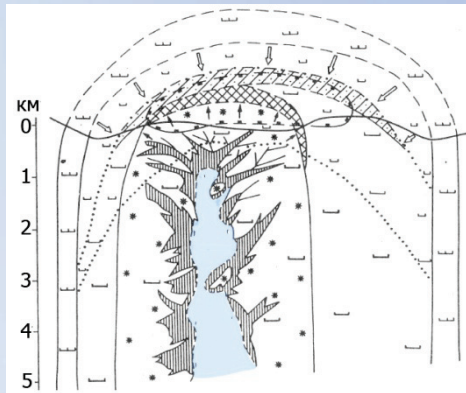


# Геофизические работы 2013 г. 2013 Geophysical Surveys



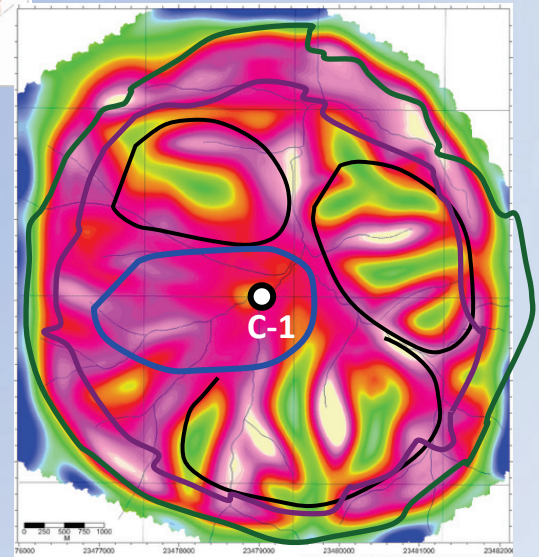
Аномалии ВП IP anomalies

Магнитное поле Magnetic field



Строение Кондерского массива по [Гурович, 1993]  
Kondyor massif structure by [Gurovich et al., 1993]

Локальная компонента гравитационного поля (Долгаль, 2013)  
Local component of gravity field

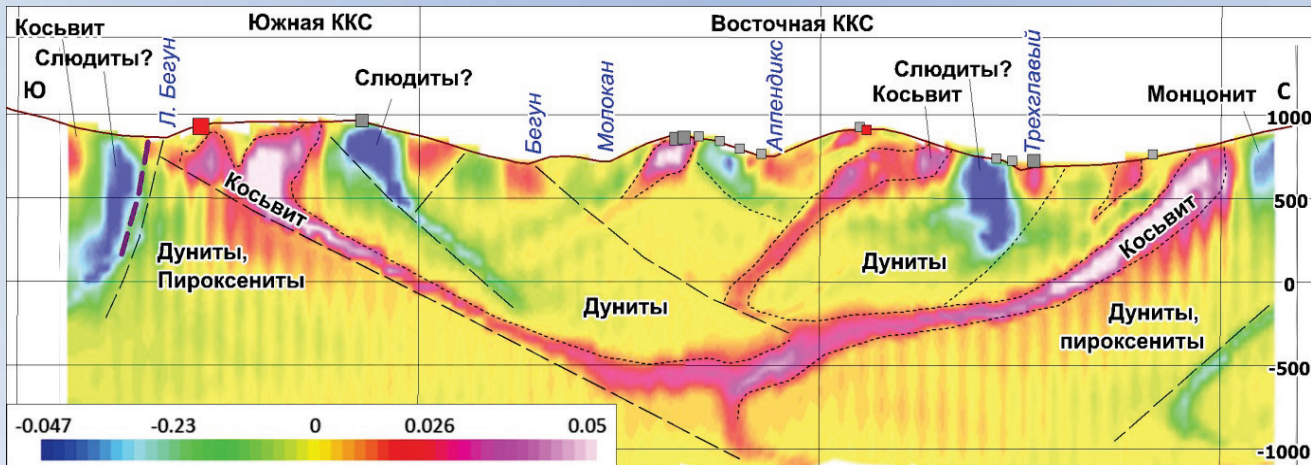
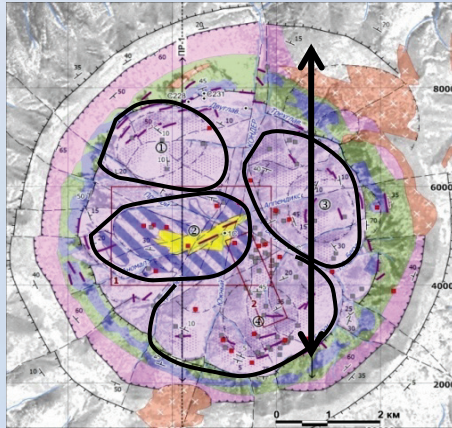




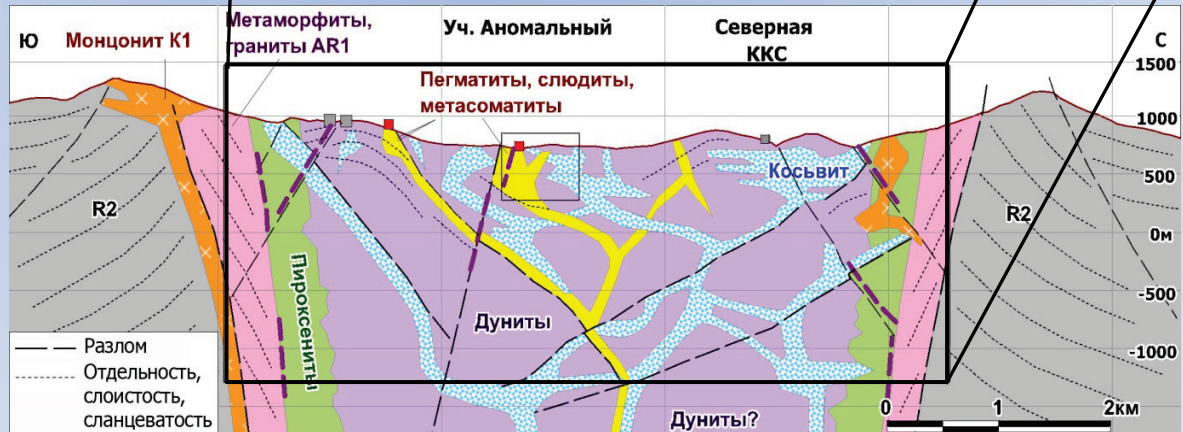
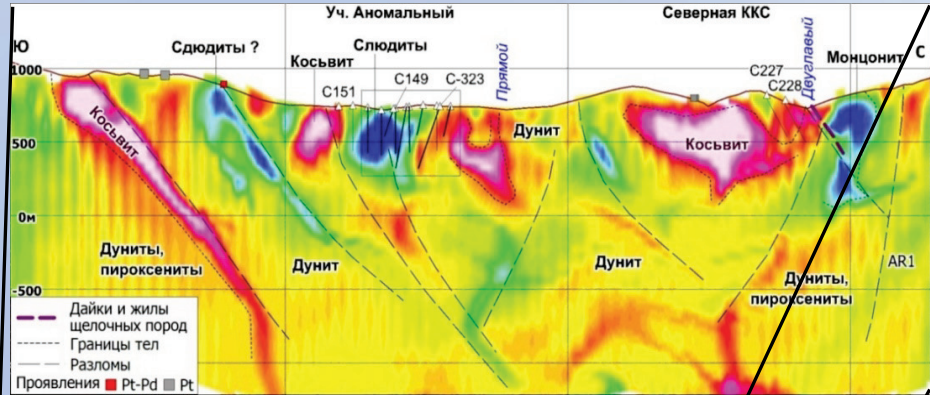
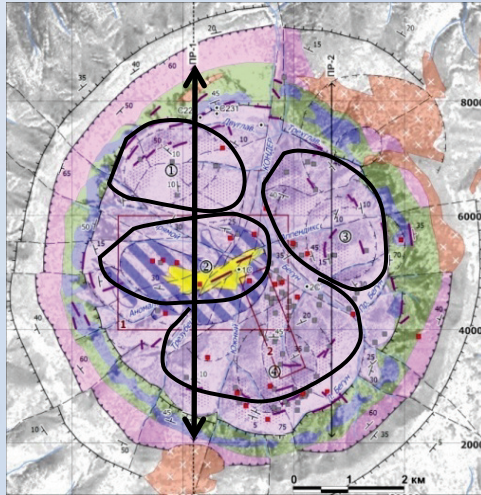
# Инверсионный плотностной разрез через массив Кондер

## Inversion Density Section across Kondyor Massif

Трассирование локальных аномалий гравитационного поля проведено в системе КОСКАД (Петров А.В., 2014) по материалам работ 2013 (Долгаль А.С. ). Значительный плотностной контраст обеспечил возможность построения информативных плотностных разрезов. Косьвит -  $3,32-3,50 \text{ г/см}^3$ , дунит -  $3,1-3,29 \text{ г/см}^3$ , флогопитовые пегматиты и щелочные метасоматиты -  $2.4-2.9 \text{ г/см}^3$



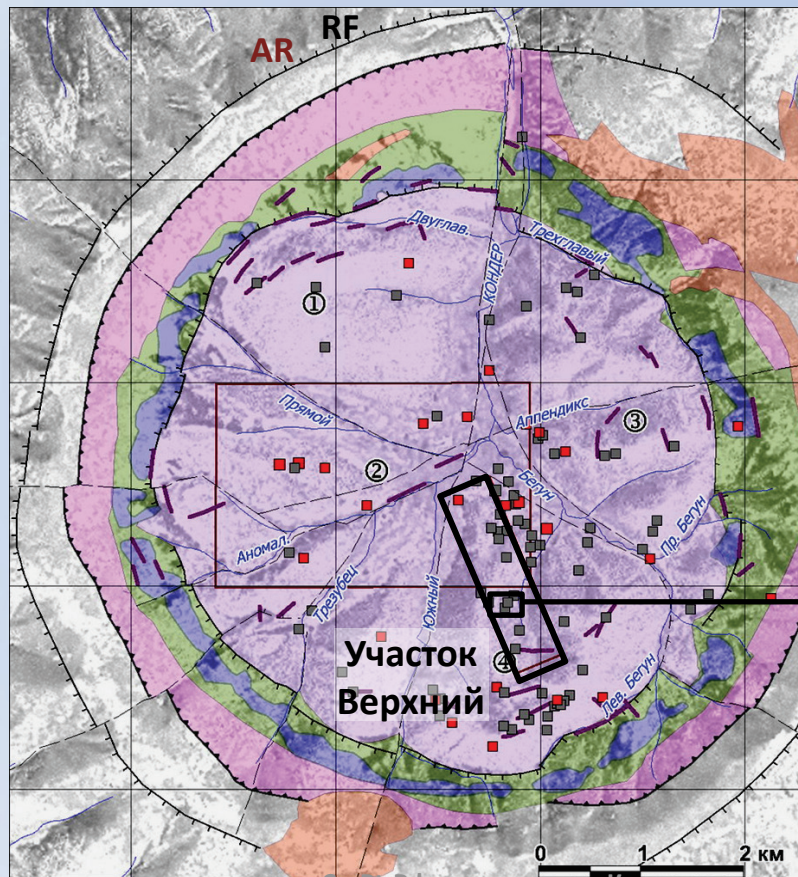
# Инверсионный плотностной разрез Inversion Density Section across Kondyor Massif





# Ферроплатина в хромите. Участок Верхний

## Ferroplatinum in Chromite. Verkhny Site



Cr-Pt-Pd руды массива Кондер



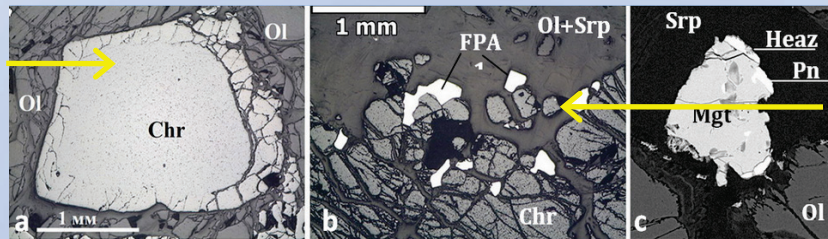
Карьер на уч. Верхний



# Участок Верхний: ферроплатина в хромите Verkhny Site: FePt in Chromite

Chromite with strain fractures among olivine

Хромит с трещинами деформации среди оливина

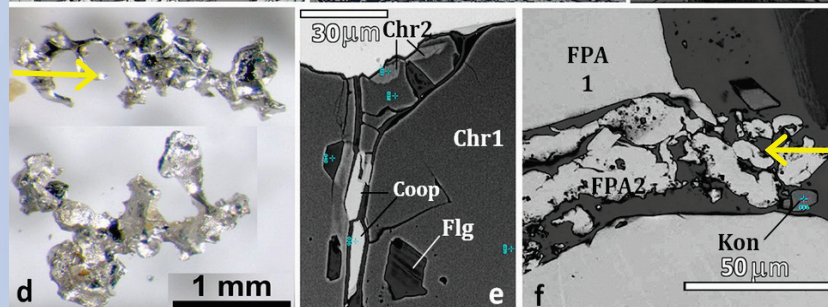


Интерстиционная FePt-1 на краю сегрегации Cr.

Interstitial FePt-1 at the segregation edge

Sideronitic FePt-2 from chromite "schlier"

Сидеронитовая FePt-2 из «шлира» хромита

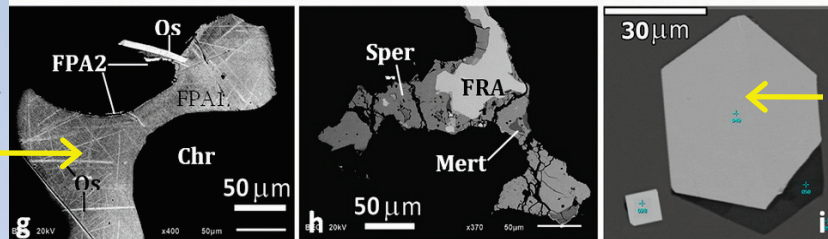


Кондёрит и FePt-2 в трещине в FePt-1

Kondyrorite (PbCu<sub>3</sub>Rh<sub>8</sub>S<sub>16</sub>) and FePt-2 in fracture in FePt-1

FePt-1 and -2 with inclusions of native osmium (Os)

FePt-1 и -2 с включениями самородного осмия (Os)



Идиоморф. включения «FePt-0» в хромите

Automorphic "FePt-0" inclusions in chromite

Выводы об эпигенетическом формировании хромитов и платины в дунитах [Некрасов, 1994], [Менохшин, 2012], [Пушкарев, 2015] подтверждаются линзо-, жило- и брекчиевидными формами и четкими контактами обособлений хромитов



# Косъвиты уч. Аномальный

## Kosvites of Anomalny Site

### Минералы косъвитов и флогопитовых пегматитов

#### Минералы Pt и Pd

мончеит  $Pt(Te, Bi)_2$

соболевскит  $PdBi$

Fe-Pt сплав  $Pt_4Fe_{0,8}Cu_{0,2}$

#### Рудные

*Основные:* титаномагнетит, ильменит, пирротин, халькозин-1, борнит-1, Сру-1

*Второстепенные:* хромит, хроммагнетит, халькопирротин, Со-пентландит, кубанит, сфалерит, самородные Ag и Cu

#### Нерудные

Диопсид, флогопит, апатит-1

#### Средние содержания:

FeO 20%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,4%; NaO 0,6%, K<sub>2</sub>O 0,7%

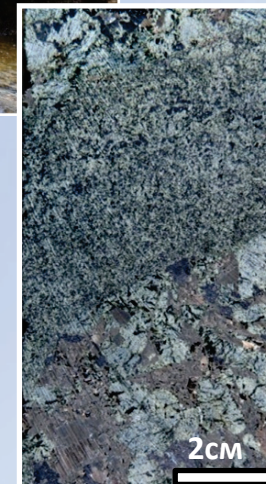
Cu 500, Pt 0,04, Pd 0,035 г/т



Выход силла косъвитов в борту руч. Бегун.



Штокверк и дайки косъвитов, р. Кондер



Крупно- и мелко- кристаллич. косъвит С-149-112.5м

# Слюдиты и пегматиты уч. Аномальный

## Phlogopite rocks at the Anomaly



Брекчия по дуниту на флогопитовом цементе. р. Кондер



Штокверк серпентин-монтморил.-вермикулитовый, руч. Аппендикс

### Средние содержания:

MgO 21%;

K<sub>2</sub>O 8,5%; Na<sub>2</sub>O 1,1%

Жила косьвита с Phl оторочкой и флогопитовый штокверк в дуните. С-166-191.8м



Флогопитовый пегматит, р. Кондер

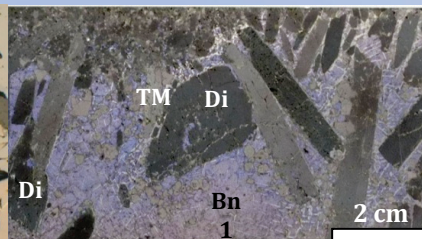
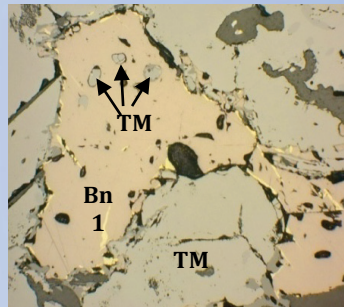


# Ликвационная сульфидная минерализация в косьвитах

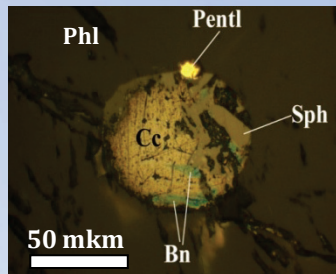
диагностируется по  
многочисленным  
признакам  
[Годлевский, 1969],  
[Scinner, 1969], [Nixon,  
1997], [Надретт,  
2003]), включая:

1. Каплевидные, амёбовидные, интерстициальные и сидеронитовые формы
2. Размер выделений – от первых микрон до первых десятков см
3. Характерные минеральные составы, включая «пирротиновый» (MSS): TM, Ilm, Po; и «халькопиритовый» (ISS): Cpy, кубанит, Bn, самородная медь, Co-Pnt.
4. Характерный состав металлов: Fe и Cu, а так же Ni, Co, Ag, Cd, Pt, Pd.
5. Структуры распада твердых растворов: ламели халькозина или халькопирита в борните, сростки пирротина и сульфида железа и др.
6. Симплектитовые структуры, характерные для кристаллизации сульфидного расплава

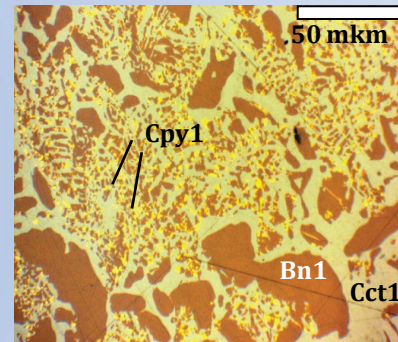
## Liquation sulphyde mineralization in kosvite



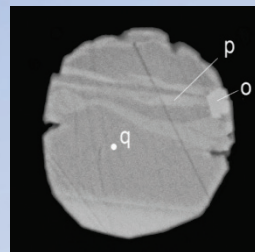
C-334, 299,2м. Ликвационное гнездо  
в косьвите. Титаномагнетит (TM),  
диопсид (Di). Pt 0,04; Pd 0,3; Ag 44  
ppm; Cu 18%.



C-179, 143,3м.  
Халькозин (Cc),  
сфалерит (Sph),  
Со-пентландит (Pentl)  
во флогопите (Phl).  
Отраженный свет.



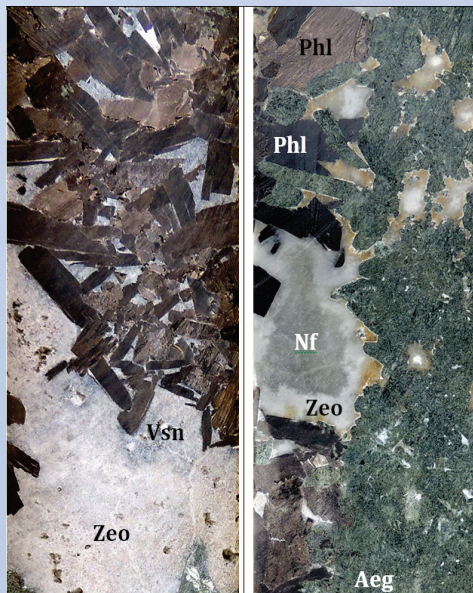
C-348, 180,45-180,7м.  
Эмульсионная  
эвтектическая структура:  
борнит, халькопирит,  
халькозин. Отр. свет.



C-233, 282,3м. Пирротин  
(q), сульфида железа (p) и  
Со-пентландит (o). СЭМ.

# Дайки Nf-сиенитов и щелочные метасоматиты

## Dikes of Nepheline syenite and Alkaline Metasomatite



C-203, 185 – 185,15м.

C-203, 190,8 -190,95м.

Инъекционно-метасоматическая Na-щелочная минерализация по Phl пегматиту и пегматоидному косьвиту. Vsn - вишневит.

**Средние содержания в метасоматите по косьвиту:** FeO 6,4%; CaO 19,3%; Na<sub>2</sub>O 4,8%; K<sub>2</sub>O 0,71%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2,1%



Дайка Nf-сиенита периклин. падения сечет дайку косьвитов центриклин. падения; руч. Аномальный.



Nf-Zeo жилы (белое) по Phl пегматиту и и Ar-Aeg метасоматиты (зеленое) по Косьвиту; р. Кондер.



# Cu-Pt-Pd минерализация в щелочных метасоматитах по косьвитам и флогопитовым пегматитам

## Cu-Pt-Pd Mineralization in Alkaline Metasomate, overprinted on Kosvite and Phlogopite Pegmatite

**В рудах:**  
**Pd/Pt =**  
**1.3 – 1.5**

### Минералы Pt и Pd

	Sb	As	Bi	Te
<b>Pd</b>	изомертиит $Pd_{11}Sb_2As_2$ (Sb-палладоарсенид), меньшиковит $Pd_3NiAs_3$	винсентит $Pd_3As$ (с Ni и Cu)	соболевскит PdBi – котульскит Pd (Te, Bi)	
<b>Pt</b>	?	сперрилит $PtAs_2$	мончеит $Pt(Te, Bi)_2$ (масловит PtBiTe)	

скаергардит PdCu с Zn или Ge; звягинцевит ( $Pd_3Pb$ ) с Bi  
 сопчеит  $Ag_4Pd_3Te_4$  и другие

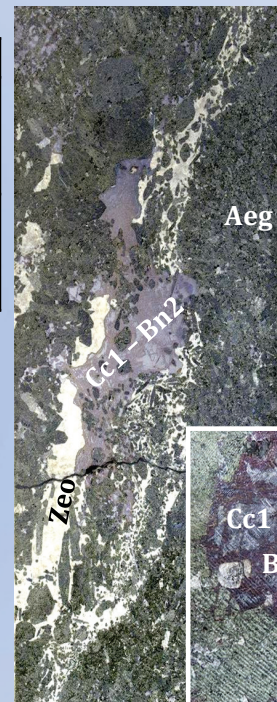
### Рудные минералы

Халькозин-2, борнит-2, халькопирит-2, идаит-  
 нукундамит.

Перовскит, Со-пентландит, галенит, сфалерит,  
 миллерит, штрмейрит ( $AgCuS$ ), гессит ( $Ag_2Te$ ),  
 гринокит ( $CdS$ ), самородные Au и Ag, ковеллин

### Нерудные минералы

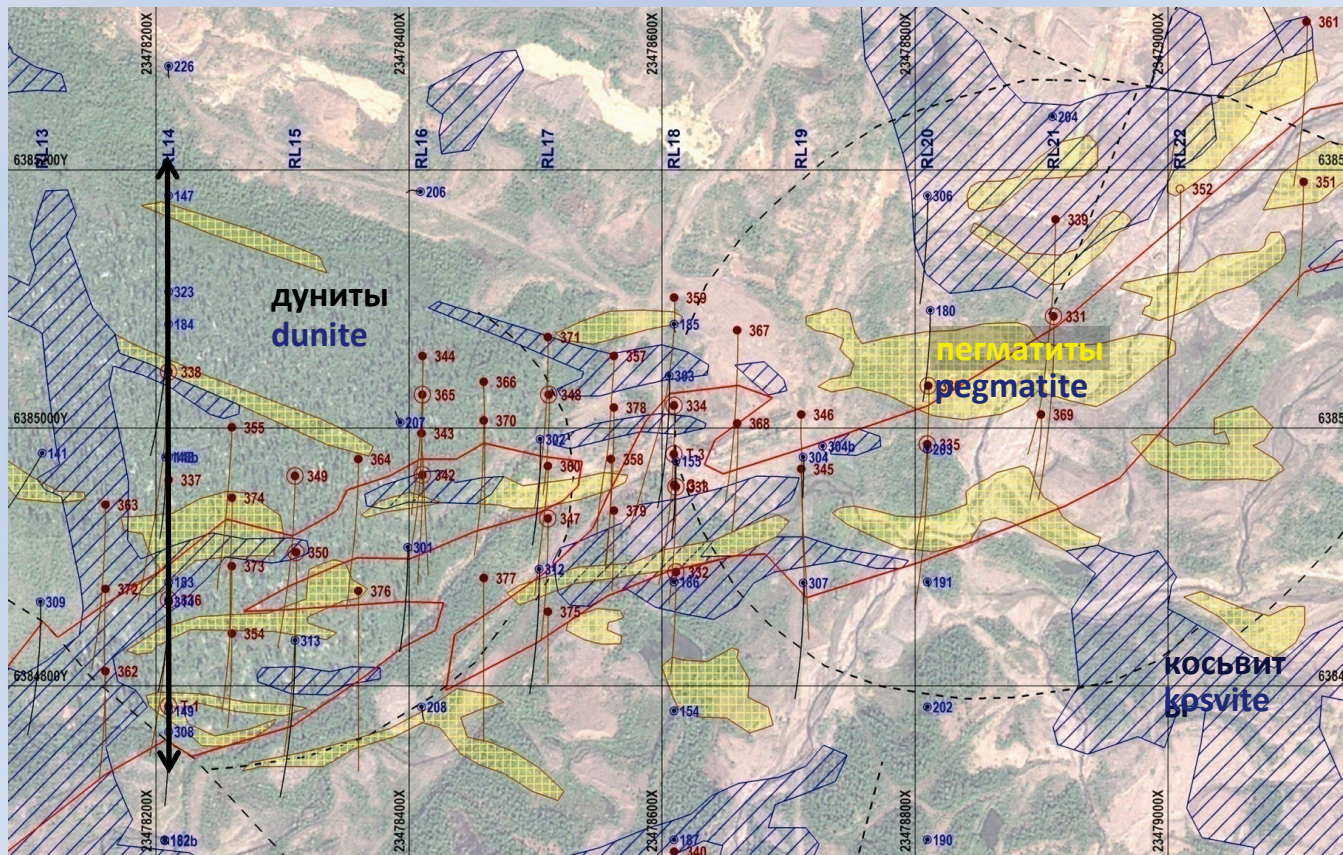
Нефелин, эгирин-авгит, апатит-2, магнизогастингсит,  
 актинолит, щелочные амфиболы, альбит, флогопит,  
 хлорит, цеолиты, канкренин, клинохлор, тальк



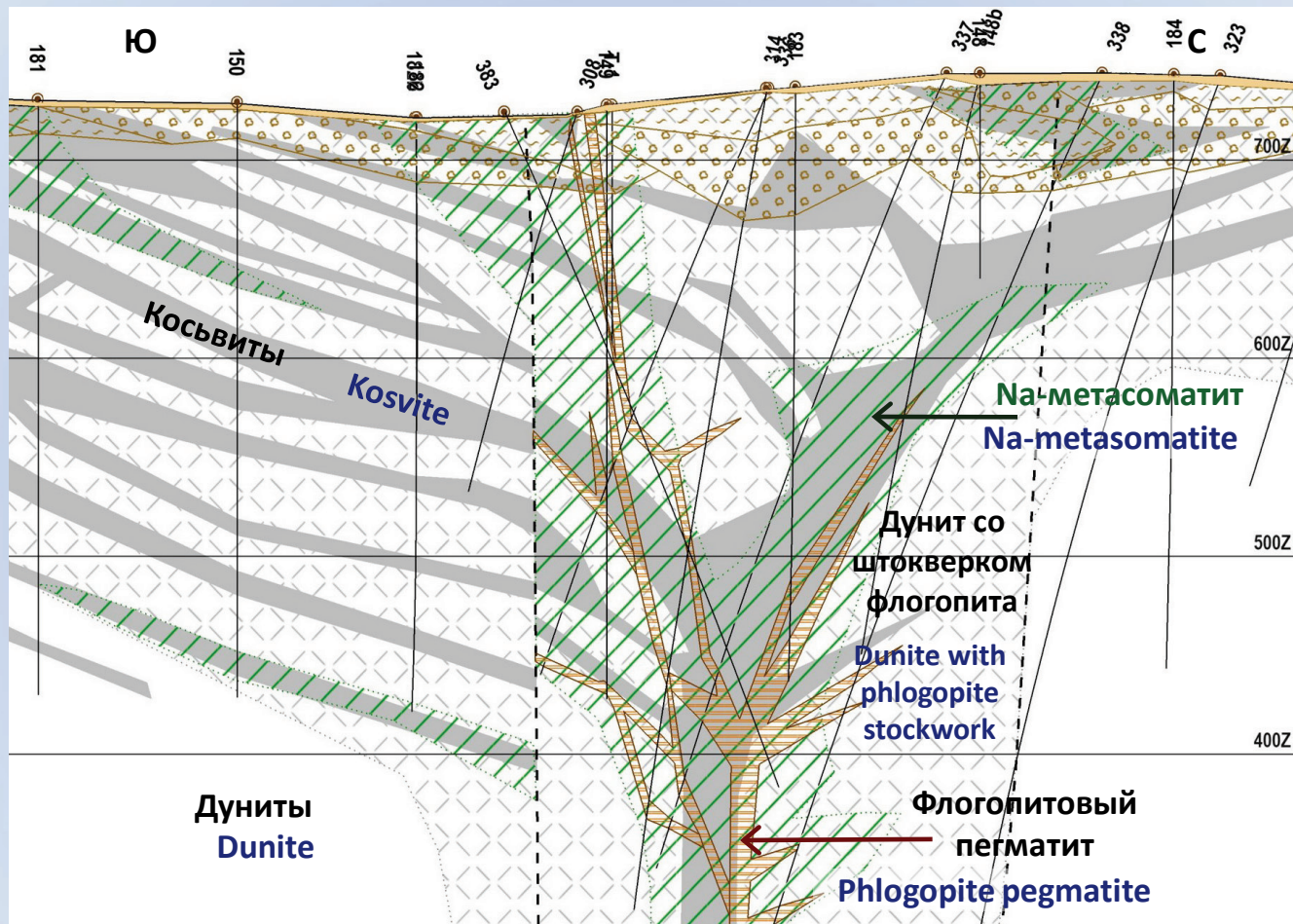
C-348-180,45  
 – 180,6м. Aeg-  
 Zeo  
 метасоматит  
 по косьвиту.  
 Брекчированный халькозин-  
 1  
 цементируется борнитом-2

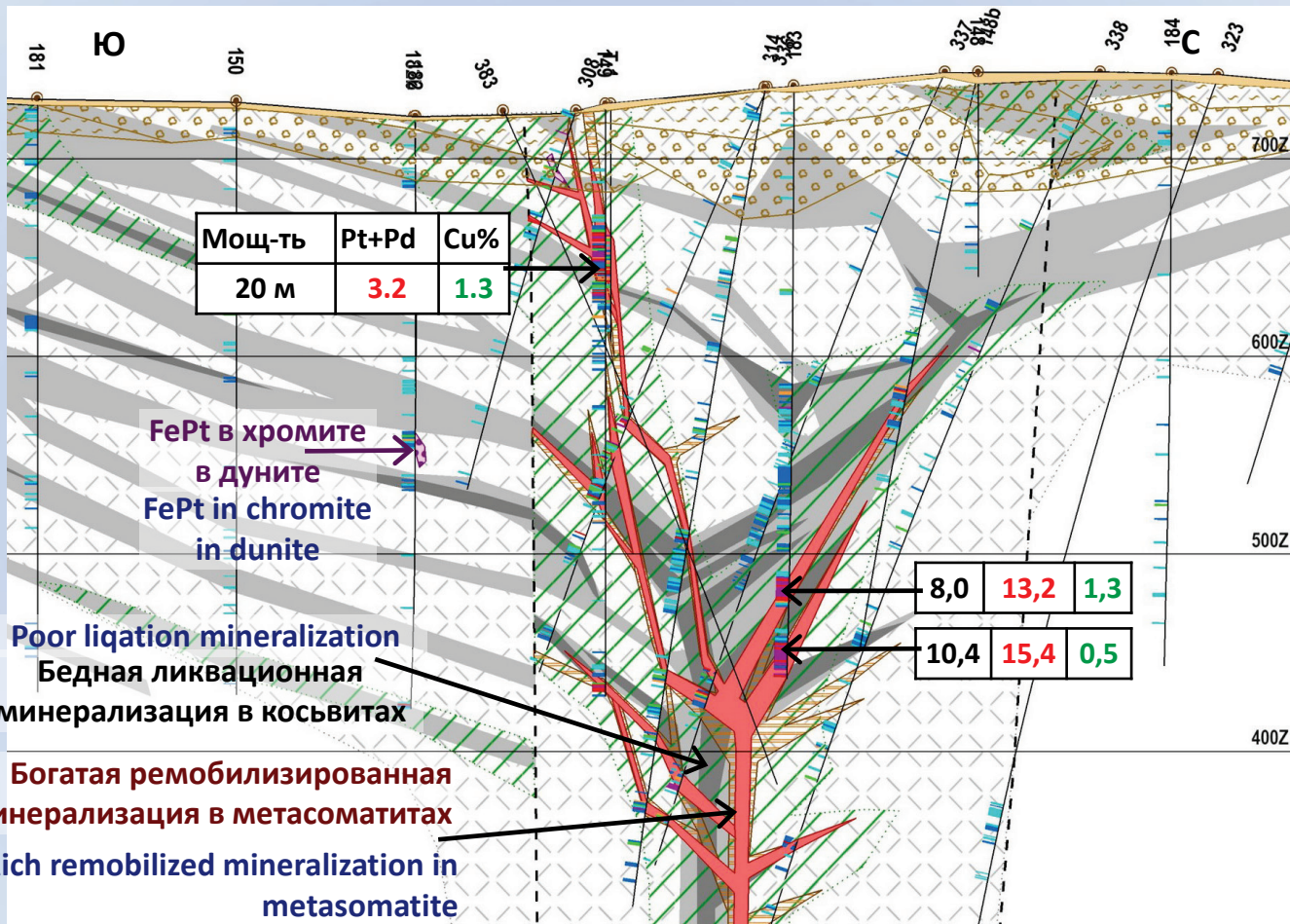
# Участок Аномальный. Фрагмент карты масштаба 1:5000

## Anomalous Site. Geological map on satellite image









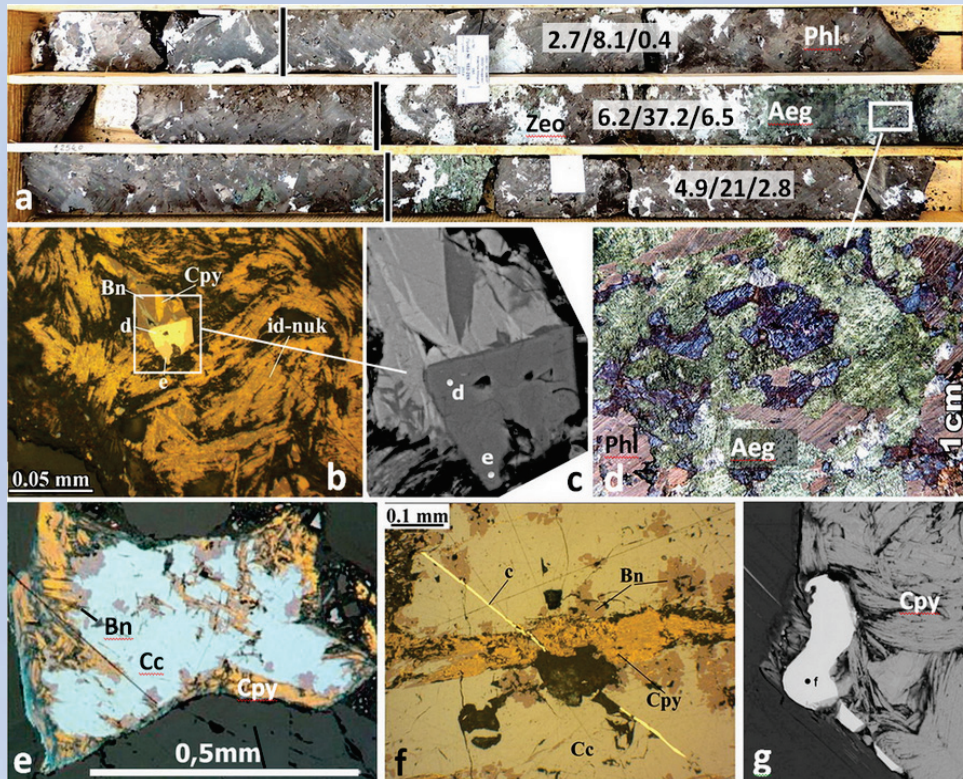


# Богатые ремобилизованные Cu-Pt-Pd руды Rich Cu-Pt-Pd Ore

C-183, 253,1-255,9м.  
Богатая руда в пегматите  
с наложенными  
щелочными метас-ми  
(показаны Pt/Pd/Cu%)

Сросток Bn-2 и Со-  
пентландита (d) с  
каймой карролита (e)  
и Сру в сноповидном  
идаит-нукундамит.  
агрегате

Обрастание и  
замещение  
сростка  
халькозина-1 и  
борнита-1  
халькопиритом-2



Агрегаты  
халькозина и  
борнита в  
эгири-  
авгитовом  
метасоматите

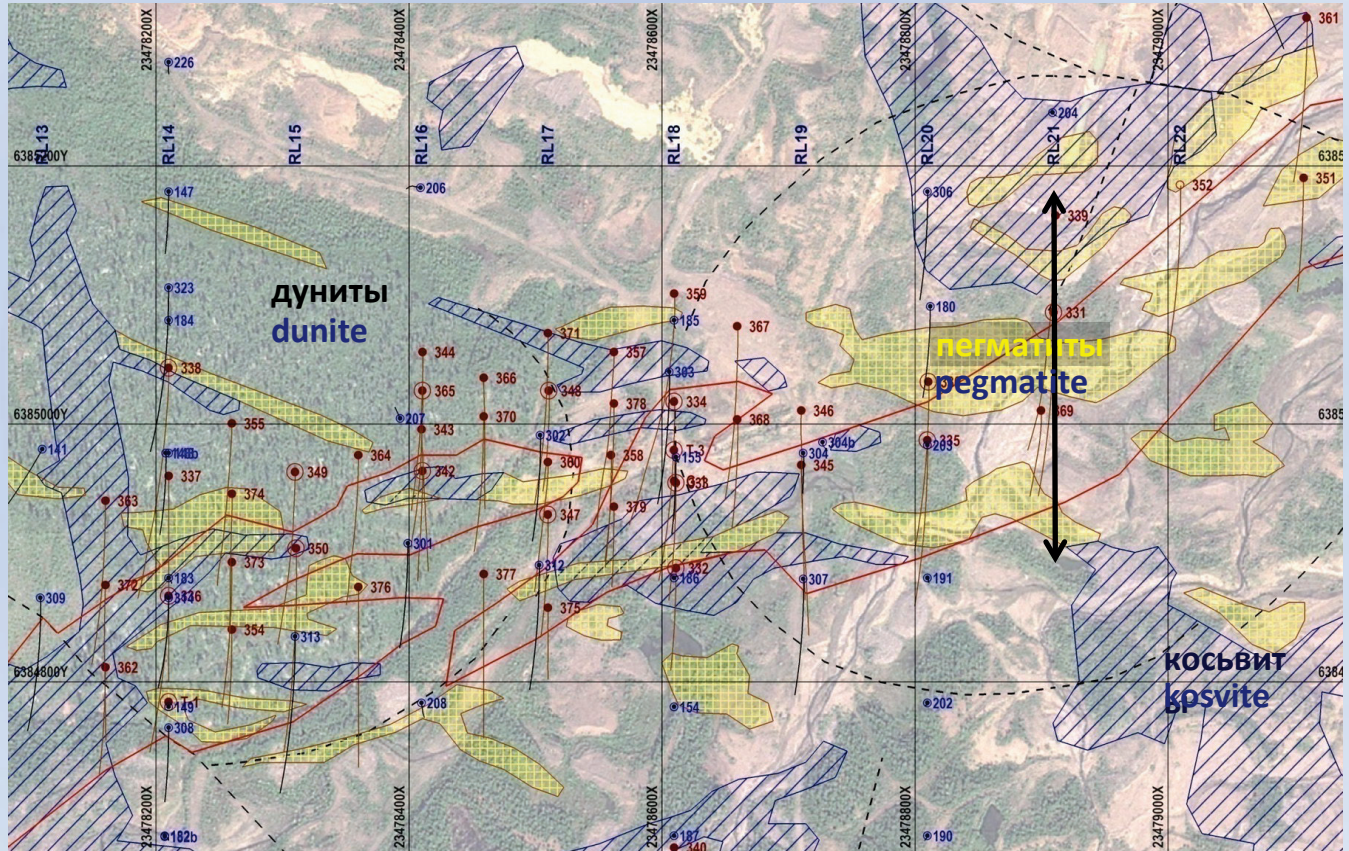
Арсенид  
палладия (f) в  
краевой части  
зерна  
халькозина-1,  
замещенного  
сноповидным  
Сру-2

Соболевскит (с) в трещине,  
секущей прожилок Сру-2 в  
агрегате халькозин-1 - борнит-1



# Участок Аномальный. Фрагмент карты масштаба 1:5000

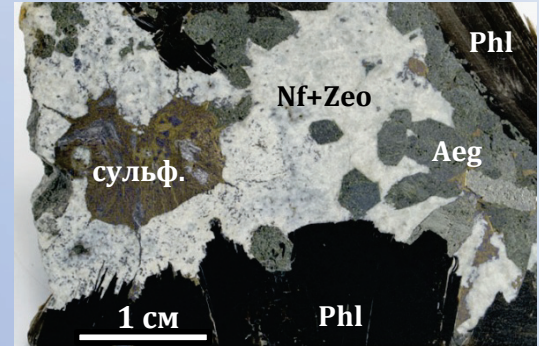
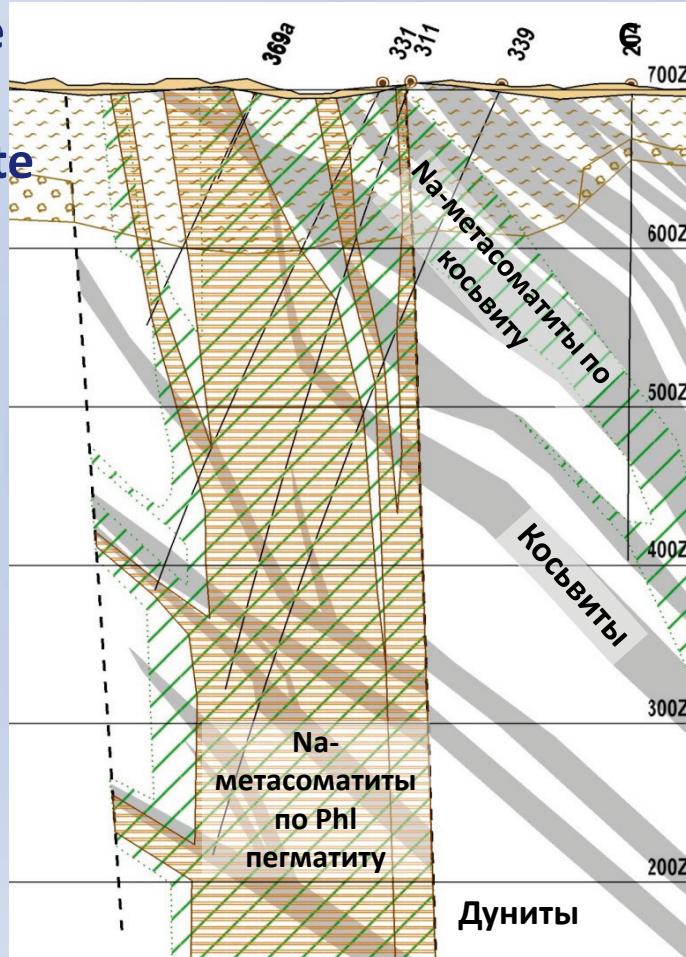
## Anomalous Site. Geological map on satellite image



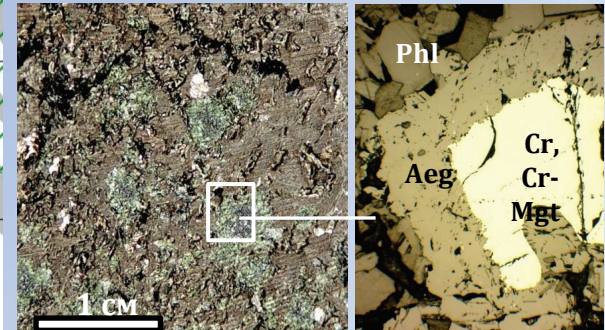


# Центральная зона Na-метасоматитов

## Central Zone of Na-metasomatite



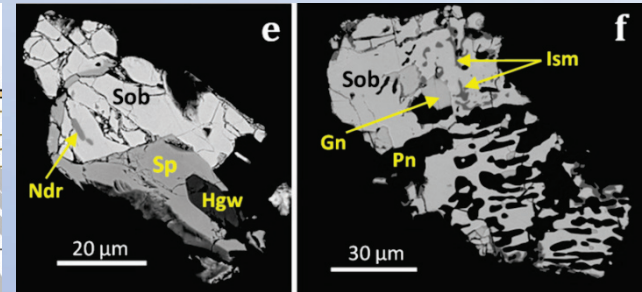
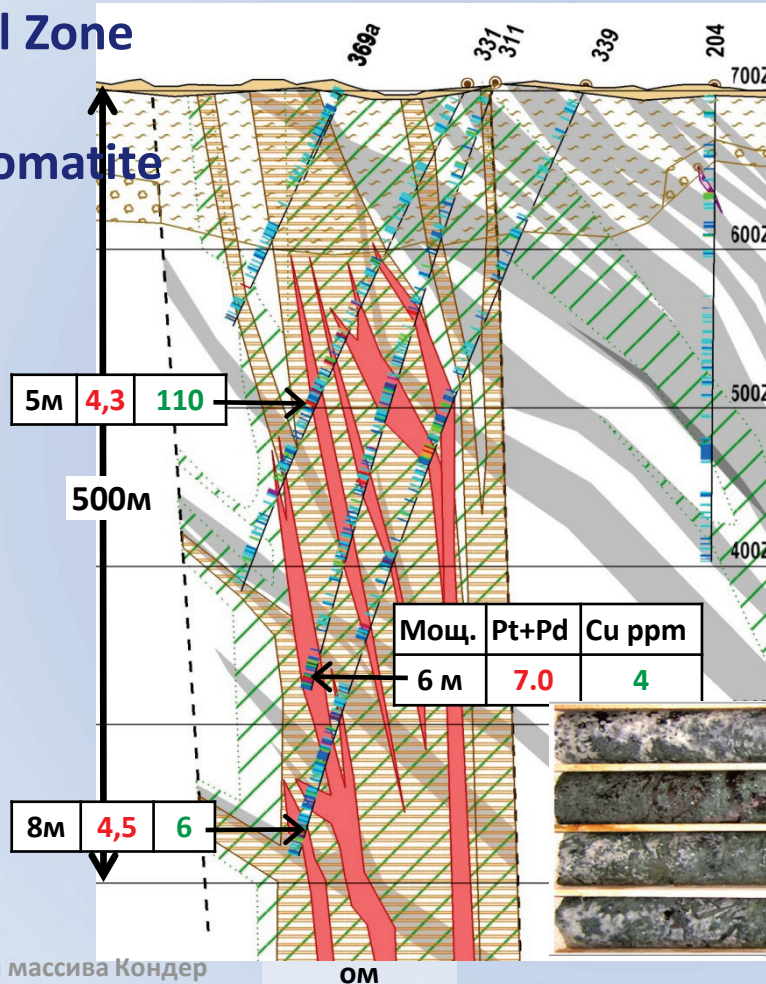
C-336. 227м. Инъекционно-метасоматич. Px-Nf-Zeo минерализация в брекчированном Phl пегматите



C-149, 80м. Агрегат хормита в Phl пегматите – замещение хроммагнетитом, обрастание эгиринов-авгитом

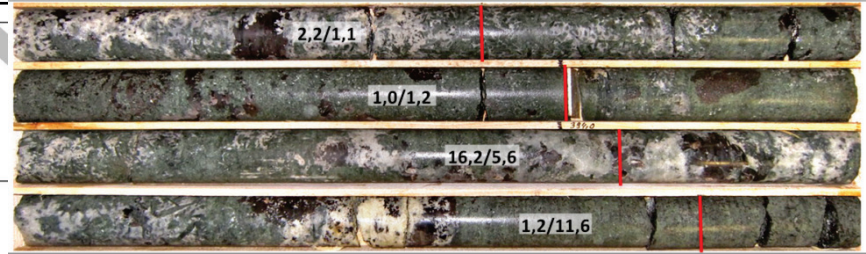
# Центральная зона Na-метасоматитов

## Central Zone of Na-metasomate



**е.** Холлингвортит ((PtPd)AsS, Hgw) в кристалле сперрилита (Sp) в сростании с соболеvскимитом с включениями **налдреттита** (Pd<sub>2</sub>Sb, Ndr).  
**ф.** Сростание соболеvскимита и пентландита (Pn) с включениями галенита (Gn) и изомертита (Pd<sub>11</sub>Sb<sub>2</sub>As<sub>2</sub>, Ism). BSE.

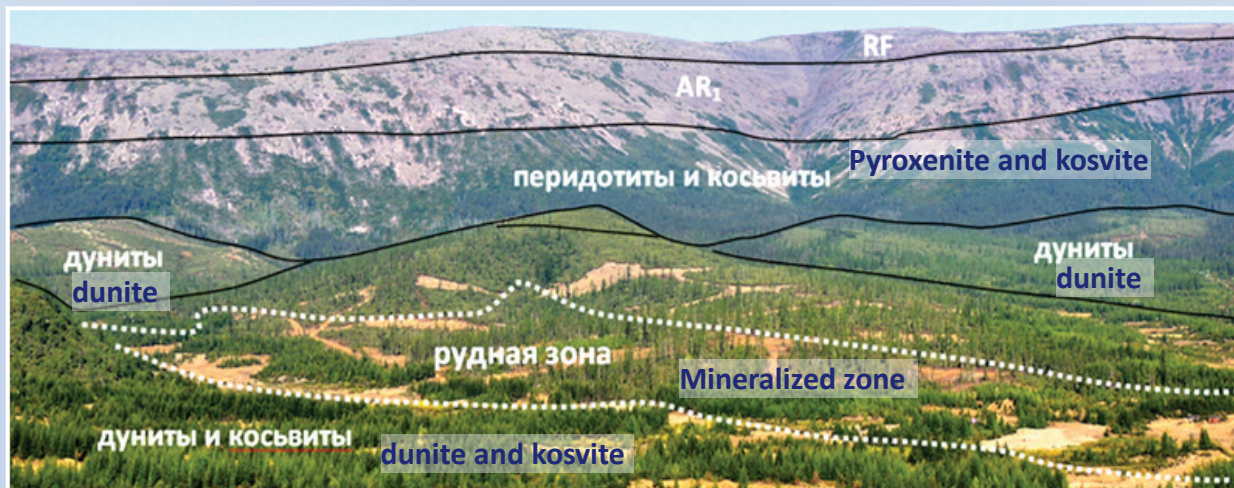
C-311, 392,5-396,2 м. Щелочной метасоматит (Zeo-Nf-Aeg с реликтовым Phl) по козьвиту с гнездовым пегматитом. Содержания в керновых пробах: Pt/Pd (г/т). Cu < 8 г/т.





# Зона метасоматитов и Cu-Pt-Pd минерализации уч. Аномальный

## Zone of metasomatite and Cu-Pt-Pd Mineralization at Anomaly Site



Гели окисленного железа в источнике на руч. Аномальный



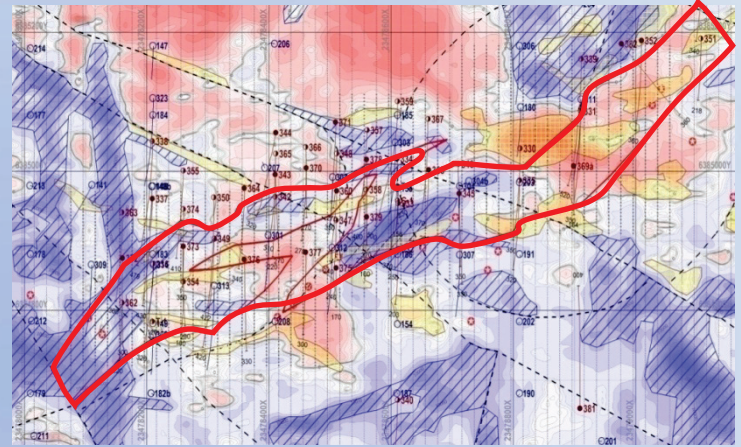
Cu-Pt-Pd руды в жиле флюгопита в зоне окисления; расчистка 1, руч. Аномальный

# Участок Аномальный – комплексное месторождение ПИ

## Anomalous Site as the Multicomponent deposits

Длина зоны: 1000м  
 Средняя ширина : 100м  
 Глубина оценки: 500м  
 Объем: 50 млн м3

Zone length: 1000m  
 Average width: 100m  
 Survey depth: 500m  
 Volume: 50 mln m3



### Оценка ресурсного потенциала зоны метасоматитов

#### Resource potential assessment of metasomatite zone

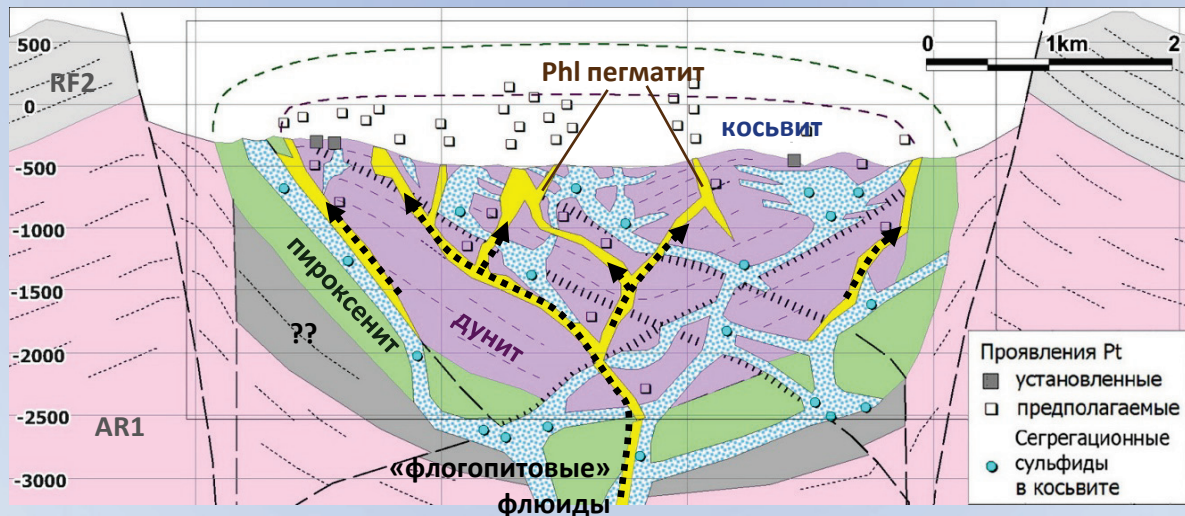
ПИ	К. рудоносности (объемная доля минерализованных тел)	Среднее содержание в руде	Плотность руды	Вес ПИ	
Pt+Pd	0,3	1 г/т	3,00	45,0	тонн
Cu	0,1	0,3%	3,41	51,2	тыс тонн
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,25	3,0%	2,50	0,9	млн тонн
Fe	0,3	16%	3,41	8,0	
TiO <sub>2</sub>	0,3	3,3%	3,41	1,7	
Цеолиты	0,2	20%	2,50	5,0	
Флогопит	0,2	50%	2,50	12,5	



# Модель формирования Cu-Pd-Pt руд в щелочных метасоматитах

## Model of Cu-Pd-Pt Ore Formation in Alkaline Metasomatite

1. Инъекционное внедрение специализированной (Fe, Cu, Pt, Pd) и флюидизированной высокоподвижной «косьвитовой» магмы ( $K_1$ ). Формирование тюльпанообразной структуры с «лепестками» косьвитов в пироксенитовом кольце и древовидным мегаштокверком в центре дунитового ядра.
2. Кристаллизация косьвитов, включая **отделение флюидной фазы** (оторочки, жилы, штокверки) и **ликвационное обособление сульфидов** («капли», гнезда).  
Формирование флогопитовых пегматитов в центре массива.



# Модель формирования Cu-Pd-Pt руд в щелочных метасоматитах

## Model of Cu-Pd-Pt Ore Formation in Alkaline Metasomatite

4. Внедрение даек нефелиновых сиенитов Дарьинского комплекса (K<sub>2</sub>). Ремобилизация ЭПГ: В центре массива – формирование высокотемпературных щелочных растворов. Внутренние зоны метасоматоза: эгиринизация, вынос Fe, K, Cu и ЭПГ из ТМ и ликвационных агрегатов; внешние зоны - перекристаллизация сульфидов, кристаллизация МПГ на локальных восстановительных барьерах (оторочки на сульфидных агрегатах).
5. Неотектоническое поднятие. Выветривание, неравномерная денудация. **Формирование россыпи платины.** Окисление и разрушение сульфидов в зоне разгрузки подземных вод в центре массива, **перетотложение, вынос Ag, Fe, Cu, Pt, Pd.**





**Модель формирования Cu-Pt-Pd руд  
в щелочных метасоматитах массива Кондер,  
Хабаровский Край**



*Спасибо за внимание!*  
*Thank you!*