

Современные проблемы геохимии

г. Иркутск

22-26 октября 2012 г.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОЙ  
ЯКУТИИ НА НАЛИЧИЕ НОВОГО FE-  
ОКСИДНОГО CU-AU (ЮСГ) ТИПА РУДНОЙ  
МИНЕРАЛИЗАЦИИ**

(ИГАБМ СО РАН)  
[kostin@diamond.ysn.ru](mailto:kostin@diamond.ysn.ru)

**Костин А.В.**



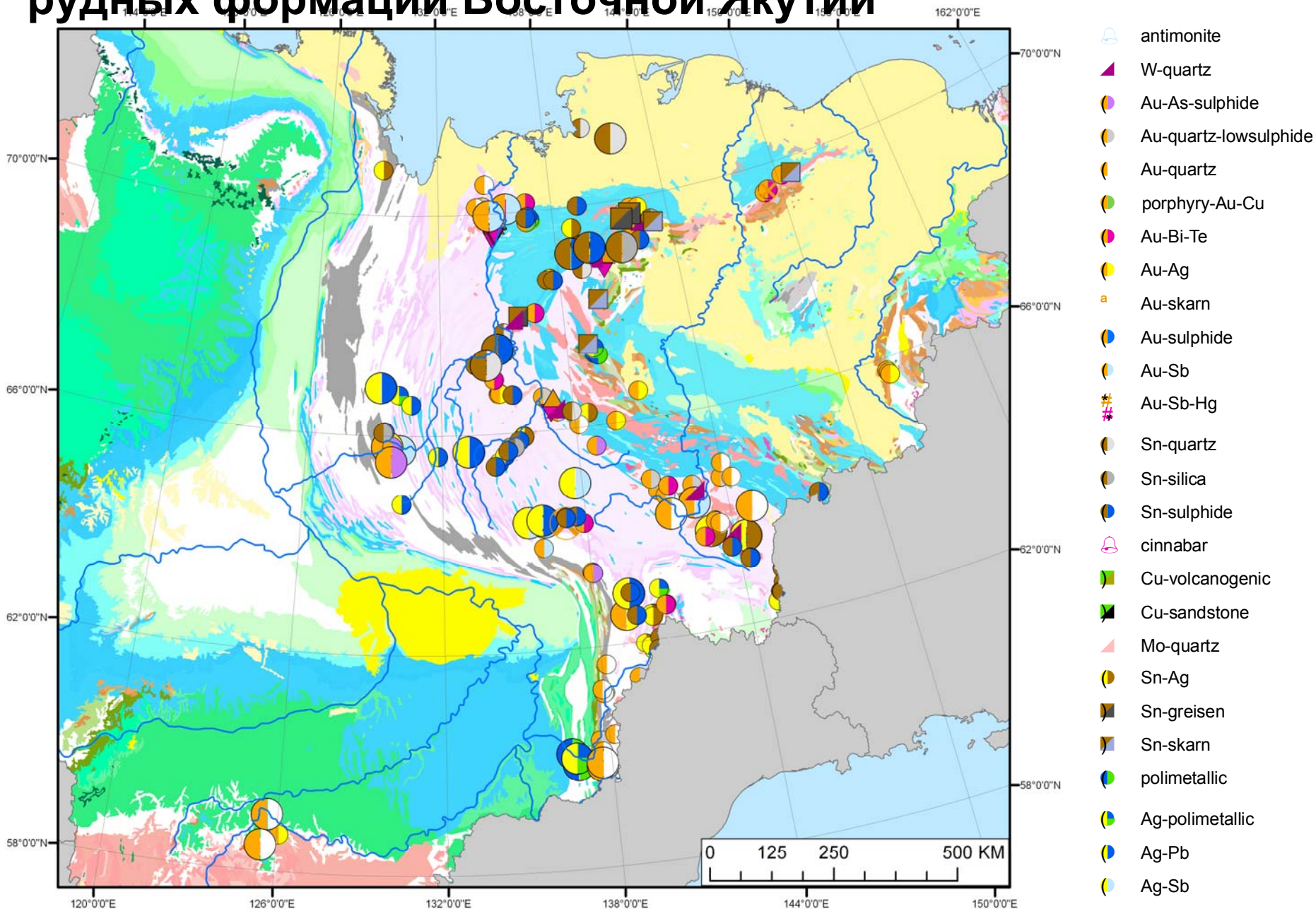
# **Цель данного исследования – оценить геологические предпосылки наличия проявлений ЮСГ-типа в Восточной Якутии**

**Для этого используются:**

---

- 1. Дешифрирование композитных снимков Landsat;**
- 2. Выявление площадей Fe-оксидной минерализации  
вблизи или в интрузивах;**
- 3. Поисковые работы и заверка выявленных площадей  
Fe-оксидной минерализации ;**

# Геология и распределение месторождений основных рудных формаций Восточной Якутии





# РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮСГ-ТИПА В МИРЕ (красные точки)

*по Louise Corriveau, 2009*

Wernecke  
Mtn. District

Great Bear District  
(NICO, Sue Dianne)

Kiruna

Aitik

Southern Urals

Adirondack

SE Missouri

Avnik District

Bafq

Lower  
Yangtze  
Valley

Bayan Obo

Durango

Carajas

Peruvian Coastal Belt  
(Raoul, Condestable)

Chilean Iron Belt  
(Candelaria)

Phalaborwa

Tennant Creek

Cloncurry

Gawler  
(Olympic Dam)

Curnamona





# Классификация IOCG месторождений (Gandhi, 2003)

Iron skarn - type	Kiruna-type	Olympic Dam-type	Cloncurry-type	Phalaborwa-type	Bayan Obo-type
Массивные магнетит-гранат-пироксеновые.	Массивные магнетит-апатит-актинолитовые.	Брекчия (1 или несколько стадий) с магнетитовым или гематитовым цементом.	Гидротермальные жилы и вкрапленность в более древних Fe-кварцитах или Fe-Ох минерализации.	Внутриинтрузивные жилы, линзы, вкрапленность магнетита.	Магнетитовые жилы, линзы, слойки во вмещающих породах.
Магнитогорск, Россия	Кирунавара, Швеция	Олимпик Дам, Австралия	Осборн, Австралия	Фалаборва, Южная Африка	Баян Обо, Китай

**Все известные Fe-оксидные-Cu-Au (IOCG) месторождения генетически связаны с высоко-К гранитоидными интрузиями магнетитовой серии и по составу относятся к диоритам – гранитам, обогащенным U, Mo и REE.**

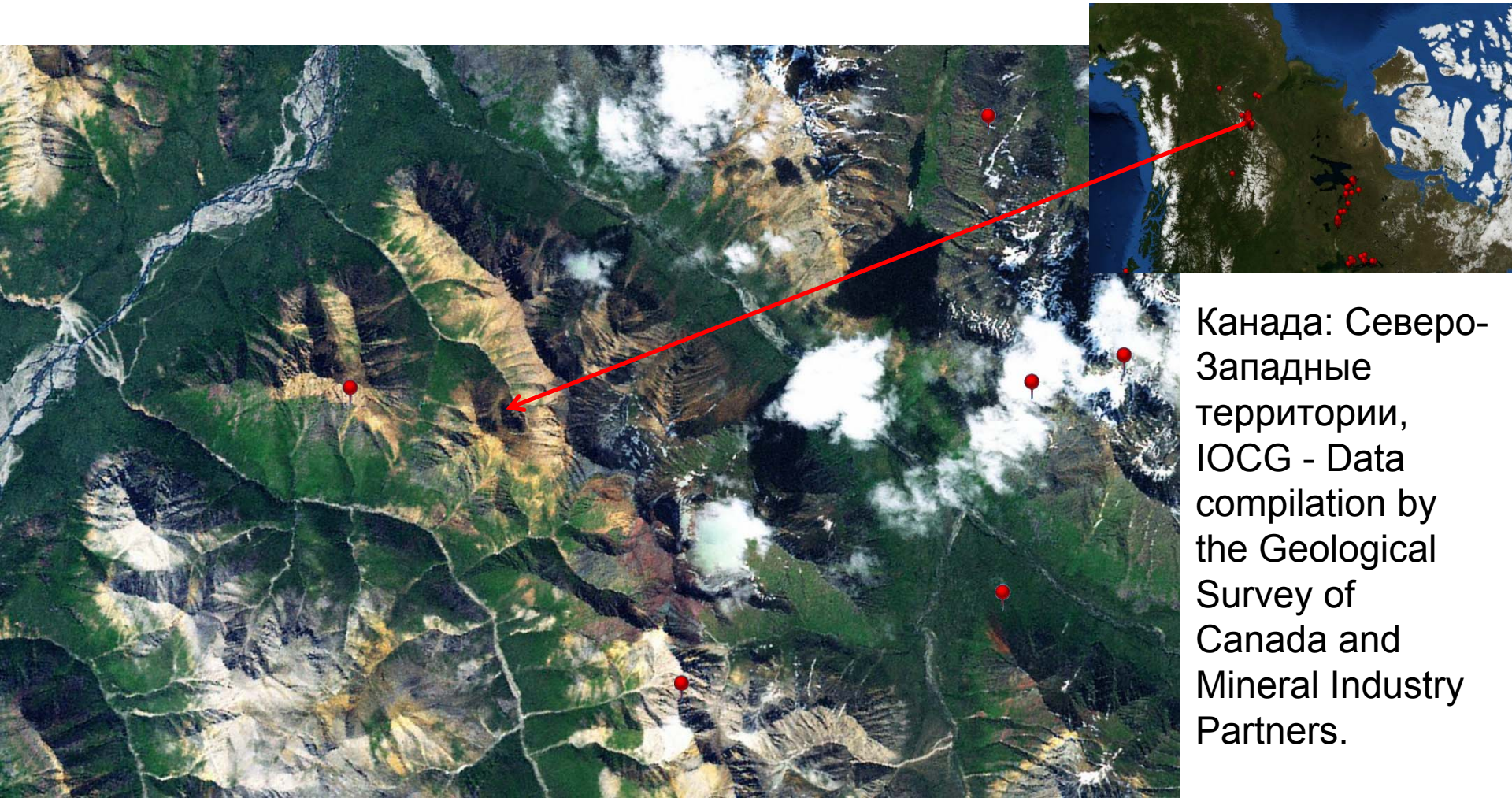
**Поскольку на северо-востоке России месторождения IOCG-типа неизвестны, возможно изменение этой классификации или пополнение новыми типами месторождений**

Время формирования месторождений IOCG-типа относительно эволюции Земли не является определяющим фактором [Nisbet et al, 2000]. Месторождения образовывались с архея (Salobo и Igarapé Bahia) до мезозоя (Chilean Iron Belt) [Requia et al, 2003; Sillitoe, 2003; Tallarico et al, 2004] в широком интервале глубин.

<b>Месторождение</b>	<b>Возраст, млн. лет</b>	<b>Страна</b>
Candelaria	115	Чили
Raul Condestable	115	Перу
Manto Verde	120	Чили
Bayan Obo	500	Китай
Kwyjibo	970	Канада
Ernest Henry	1510	Австралия
Olympic Dam	1590	Австралия
Osborne	1590	Австралия
Wernecke	1590	Канада
Curnamona	1610	Австралия
Tennant Creec	1860	Австралия
Aitic	1870	Швеция
Nico	1870	Канада
Sue Diane	1870	Канада
Kiruna	1885	Швеция
Phalaborwa	2060	Южная Африка
Igarape Bahia	2570	Бразилия
Salobo	2580	Бразилия



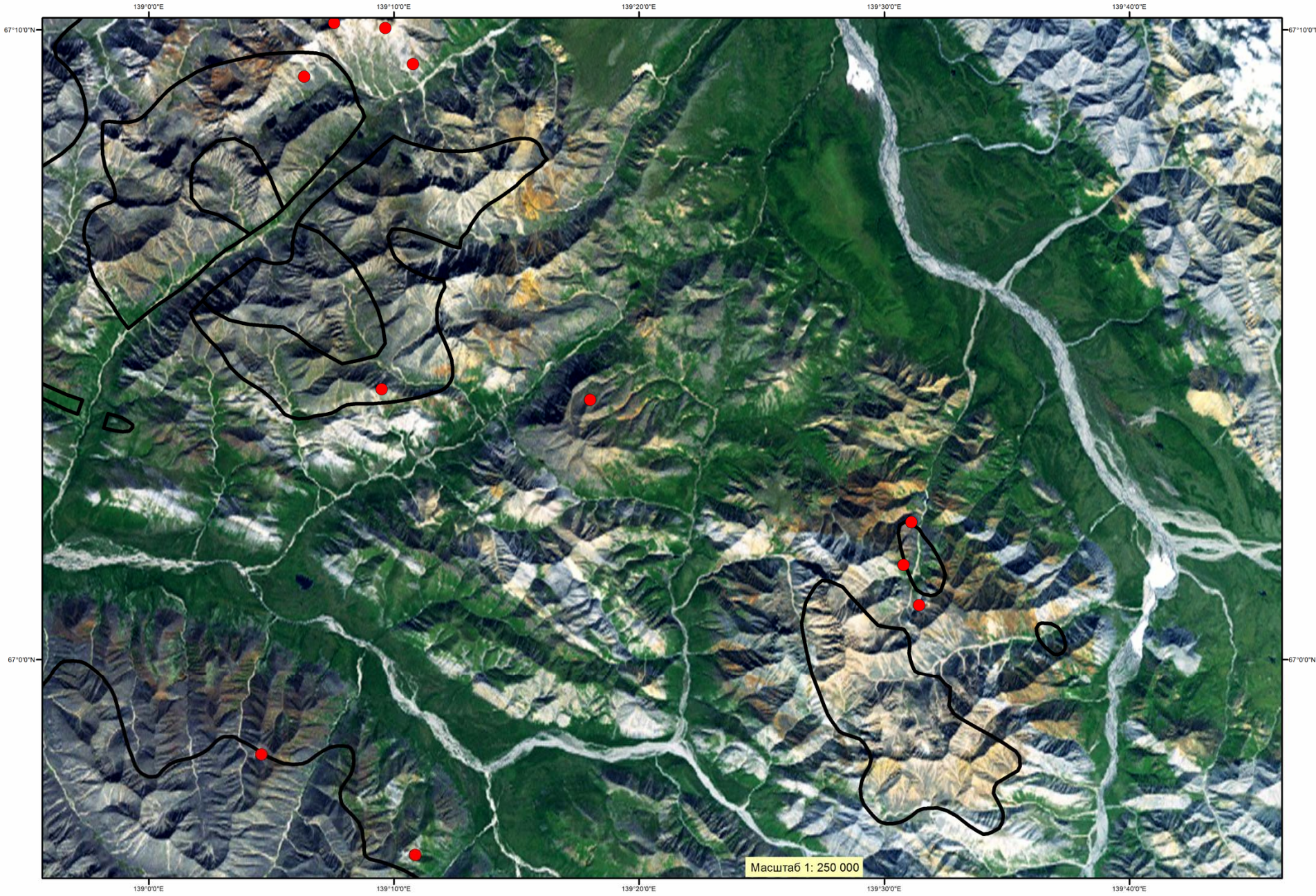
**1. Гидротермальные черты:** Все регионы с IOCG месторождениями характеризуются крупными площадями метасоматически измененных пород – от 10 до 100 и более км<sup>2</sup>, включающие Na(Ca) и K – типы [Barton et al, 1996 и 2004; Hitzman et al, 1992]. В большинстве IOCG-районов Na(Ca) изменения распространены на больших (100 и более км<sup>2</sup>) площадях, значительно превосходящих по площади IOCG минерализацию.



Канада: Северо-Западные территории, IOCG - Data compilation by the Geological Survey of Canada and Mineral Industry Partners.



# Якутия: Главный Батолитовый пояс, поле измененных пород с жильными рудопроявлениями золота





## Fe-оксидная Cu-Au (IOCG) минерализованная площадь в Гренландии

*View at the possible IOCG mineralisation in Pariser Bugt, Inglefield Land, North-West Greenland (by J. Kolb & B.M. Stensgaard, Geology and Ore no. 13, January 2009)*



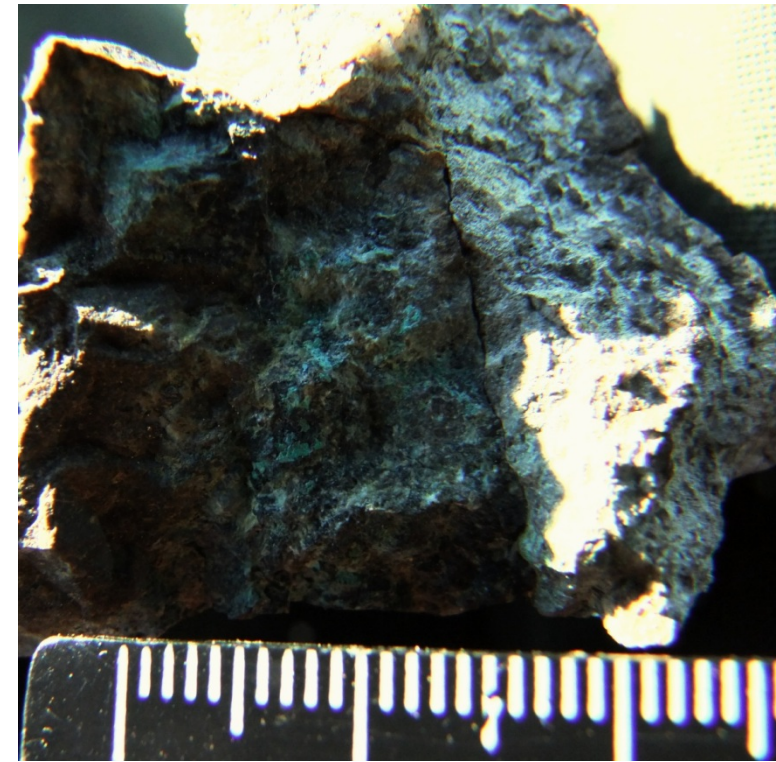
# Работы на руднике Prominent Hill (компания OZ Minerals, южная Австралия) – ЮСГ месторождение 100 м ниже поверхности

152.8 Mt at  
1.18 % **Cu**,  
0.48 g/t **Au**,  
2.92 g/t **Ag**  
+ 38.3 Mt at 1.17 g/t **Au**

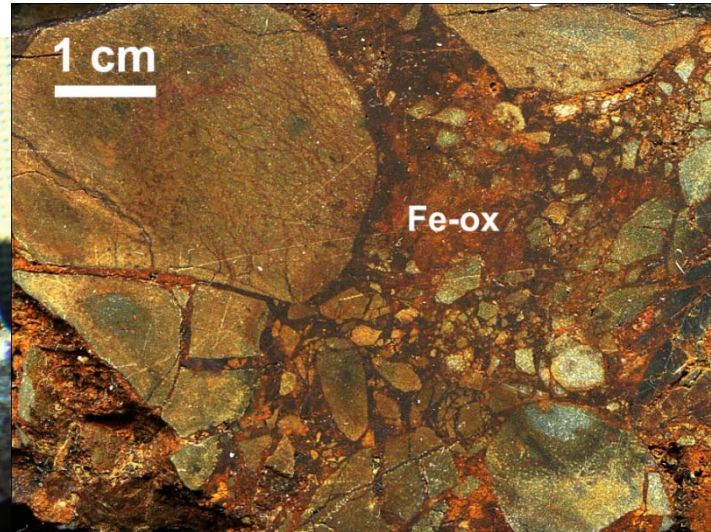




**2. Минерализация:** Экономическая минерализация представлена халькопиритом ± борнитом и золотом, локализованными в Fe-оксидах. Гематиты характеризуют малоуглубленные, магнетиты – глубокие уровни минерализации. Брекчии обычно поликомпонентны и представлены угловатыми и округлыми обломками измененных пород.



Пятна малахита на обнажениях

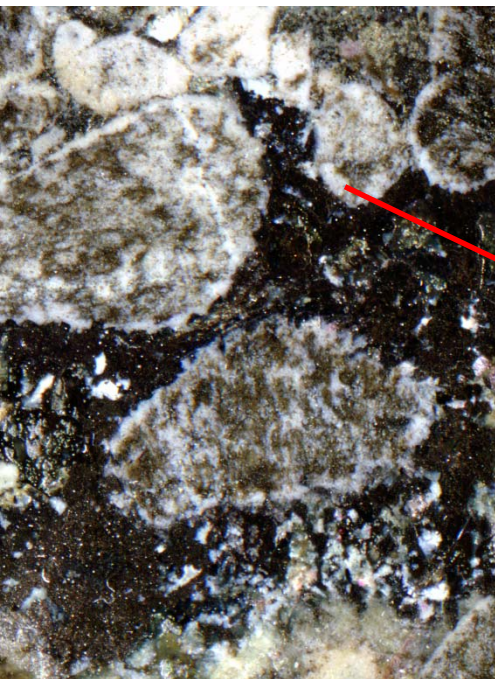
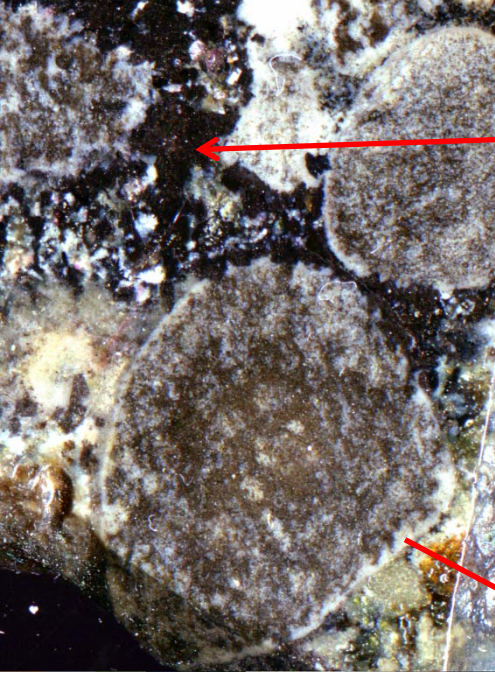


ЮСГ-брекчия с угловатыми и округлыми обломками ороговикованной породы

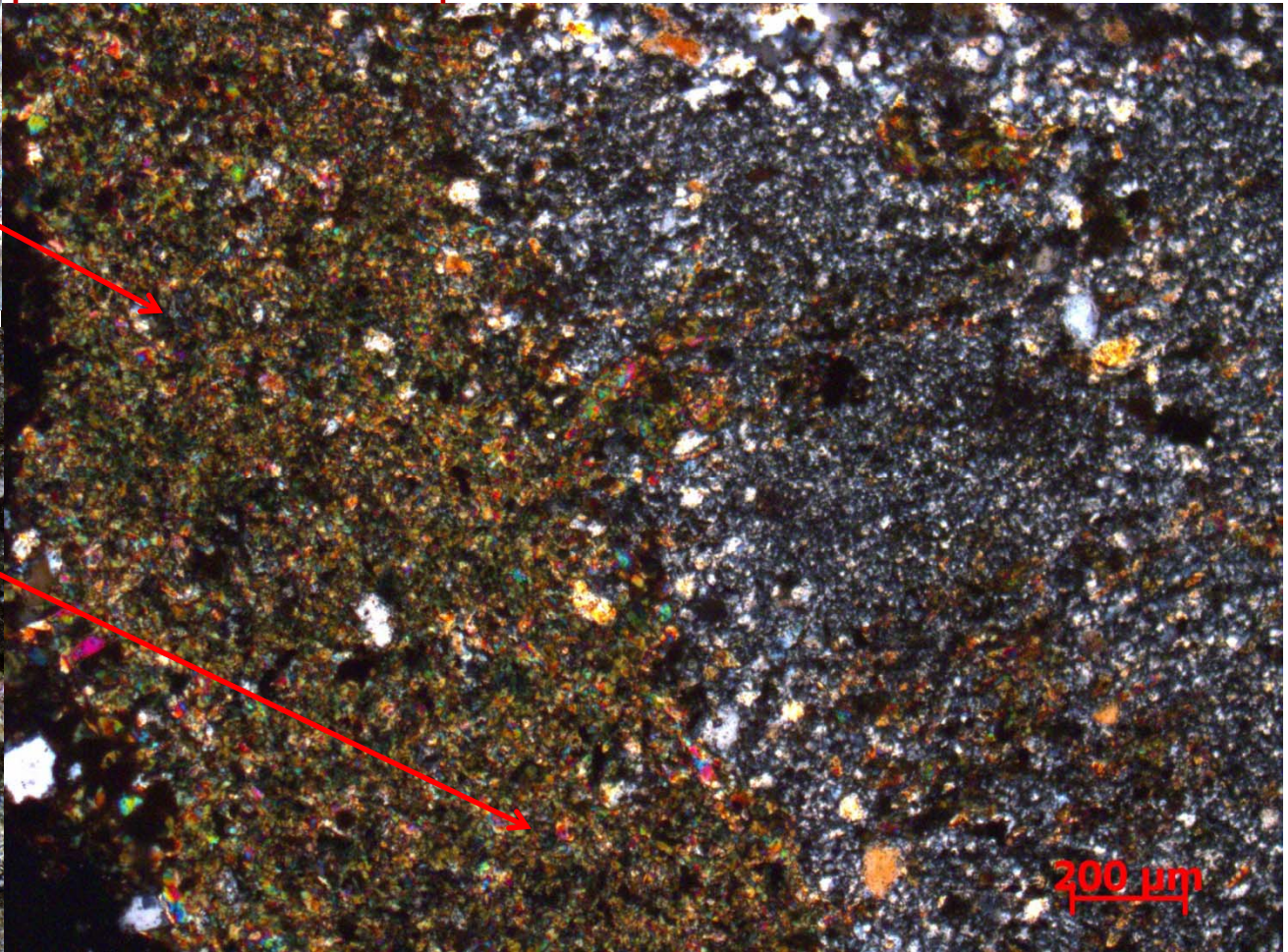


Угловатые и округлые обломки роговиков и гранитоидов с Au-содержащим цементом.



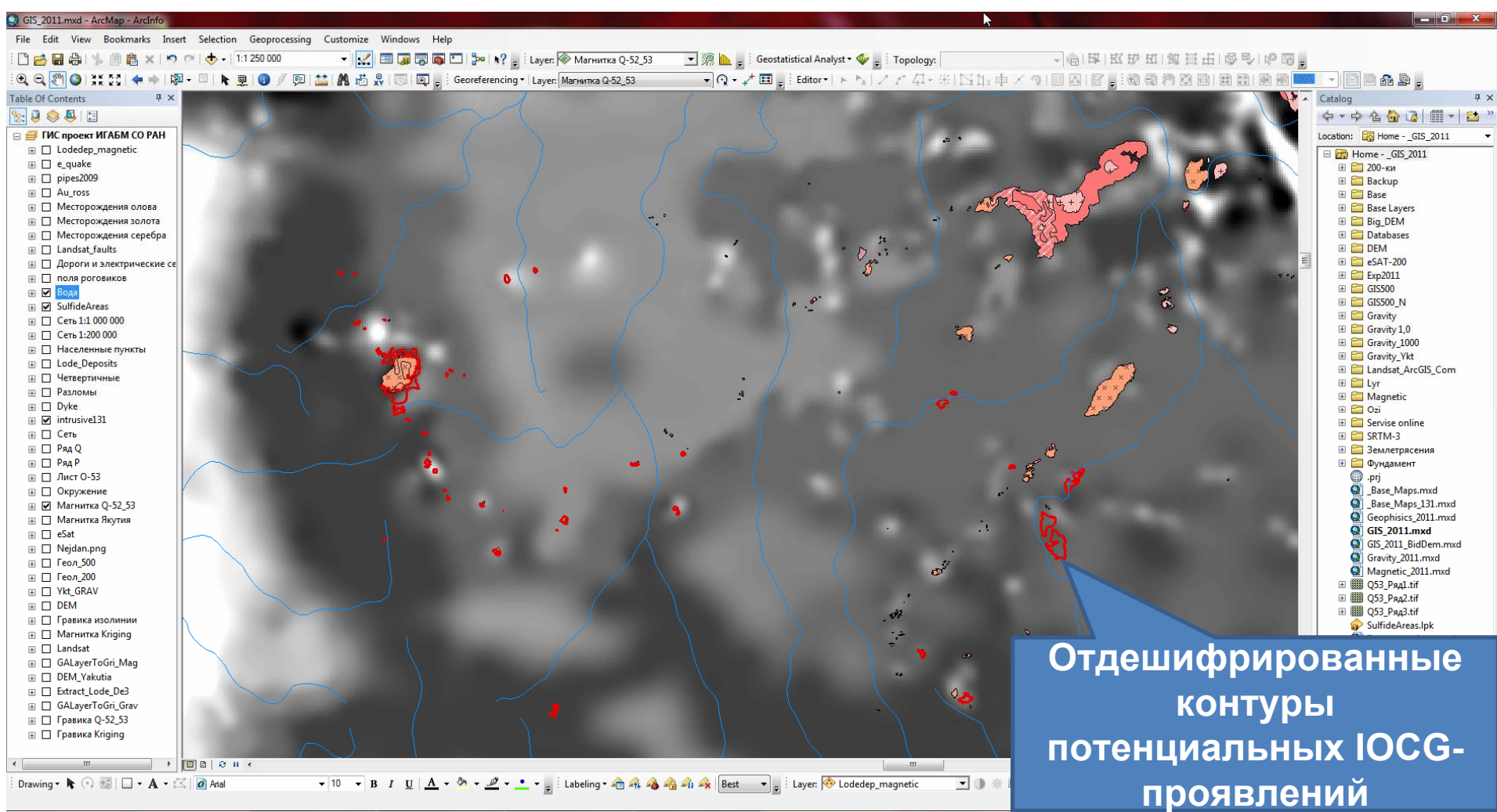


**Аu-содержащий цемент**  
**Кайма гидротермальной проработки и частичного растворения**  
**Шлиф:**



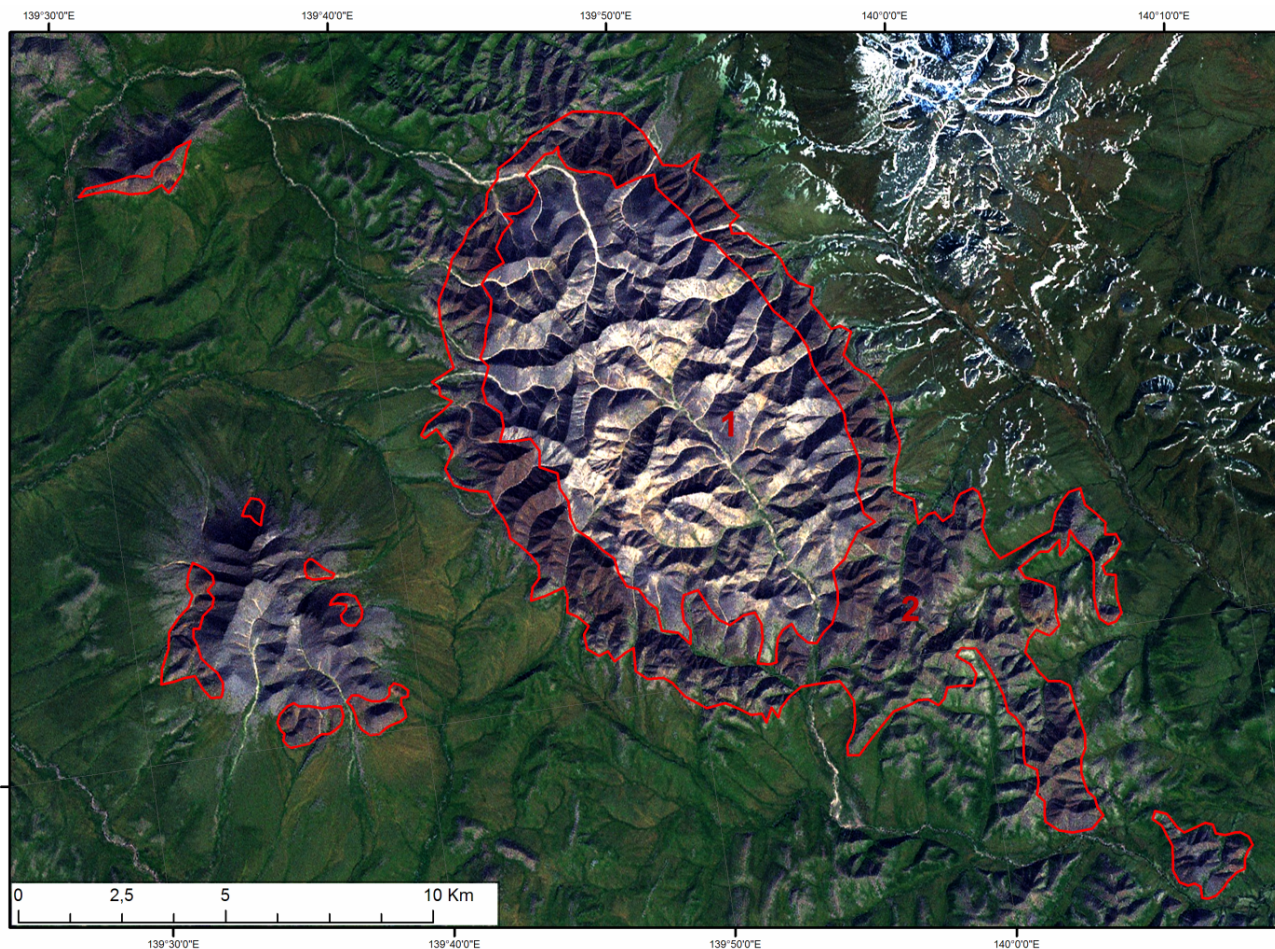


**3. Геофизические черты:** Массы Fe-оксидов, непостоянное присутствие сульфидов и широкое развитие изменений пород делают IOCG благоприятным объектом для магнитометрических [Костин и др., 2006; Костин, 2008], гравиметрических и других видов геофизических исследований. В сочетании с геологическими наблюдениями гравитационные и магнитные характеристики объектов хорошо отражают богатые Fe-оксидами рудные тела.



**Отдешифрированные контуры потенциальных IOCG-проявлений**

**4. Внешние особенности на ДЗЗ:** Использование данных Landsat ETM+ позволяет уверенно выделять площади, содержащие Fe-оксидные руды [Костин, 2011, Костин, Осипов, 2012, Kostin, 2012]. Комбинация видимых синего (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ), зеленый (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ) и красный (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) спектров может использоваться для выявления горных пород богатых железом. Также может использоваться тепловой инфракрасный канал (10,40-12,50  $\mu\text{m}$ ) для отображения темных минералов с высокой плотностью, к которым относятся массы гематита



Поле Fe-оксидной минерализации (комбинация каналов 3-2-1):  
1 - в контуре Такалканского плутона (площадь 69,46 км<sup>2</sup>)  
2 - ороговикованных породах его окружения (площадь 65,9 км<sup>2</sup>)

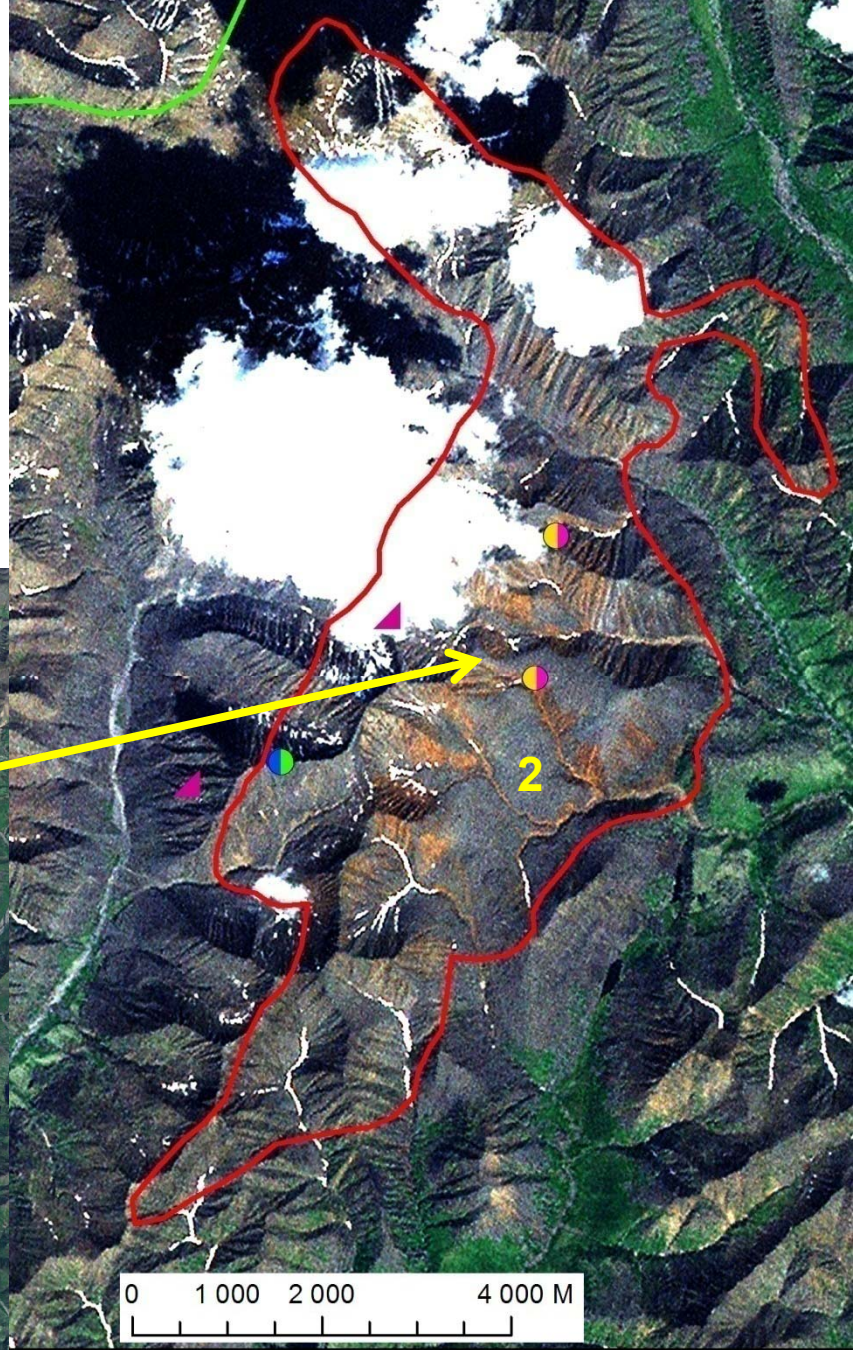
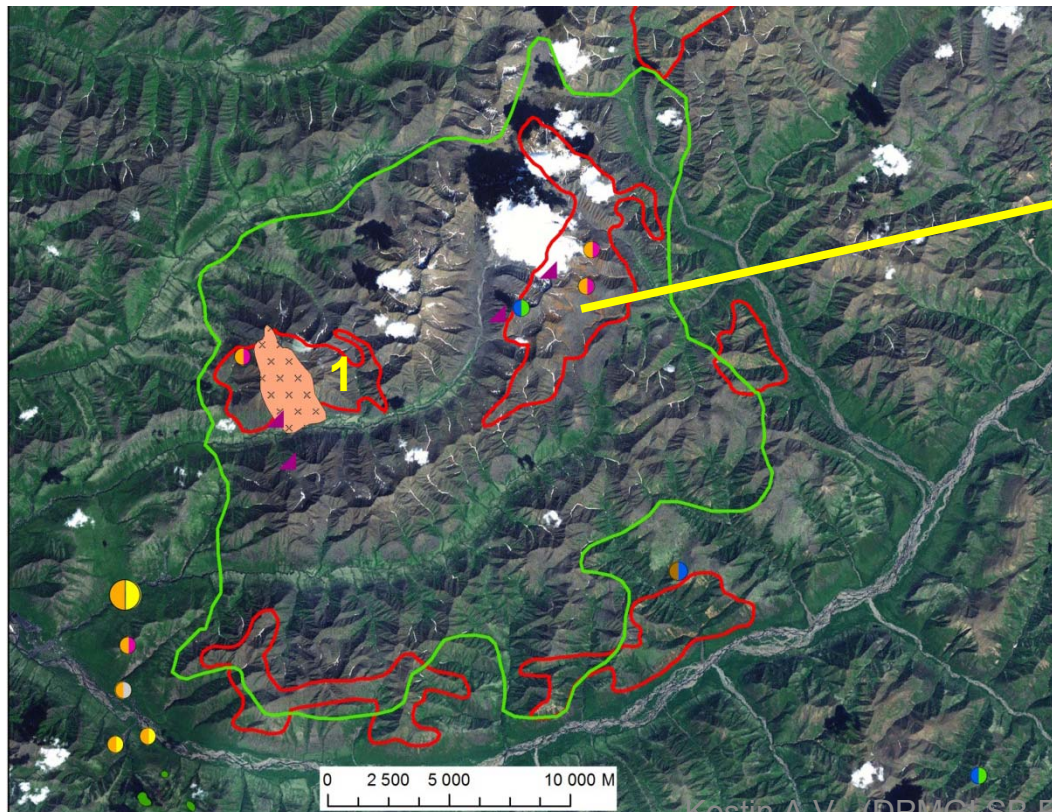


# Нежданинский рудный узел

Зеленый контур – поле роговиков,  
красный контур – ЮСГ потенциальные  
площади:

1 – Курумское (17,68 км<sup>2</sup>)

2 – Кидерикинское (33,52 км<sup>2</sup>)



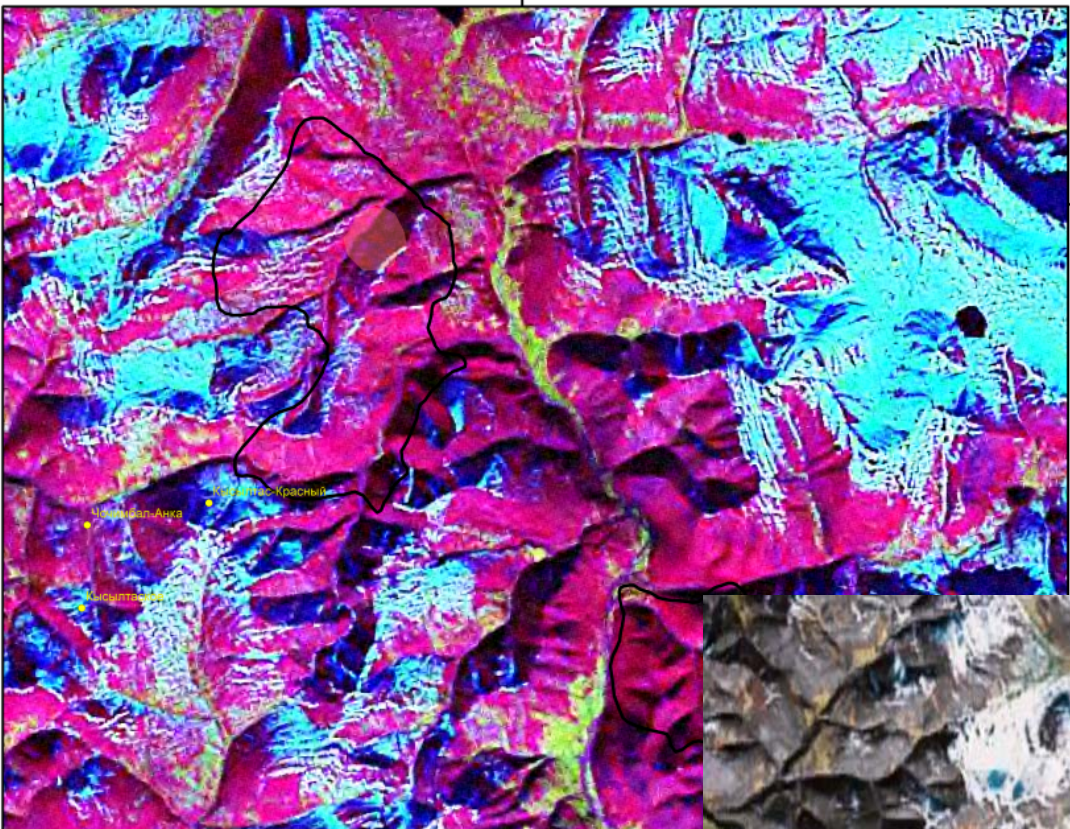


# Сравнение различных сервисов космоснимков на примере Ньюектаминского потенциального IOCG-рудного узла (Западное Верхоянье, Якутия).

**Landsat Mosaic**

**Google Earth**

**Комбинация каналов  
3 – 2 – 1**



Google Earth

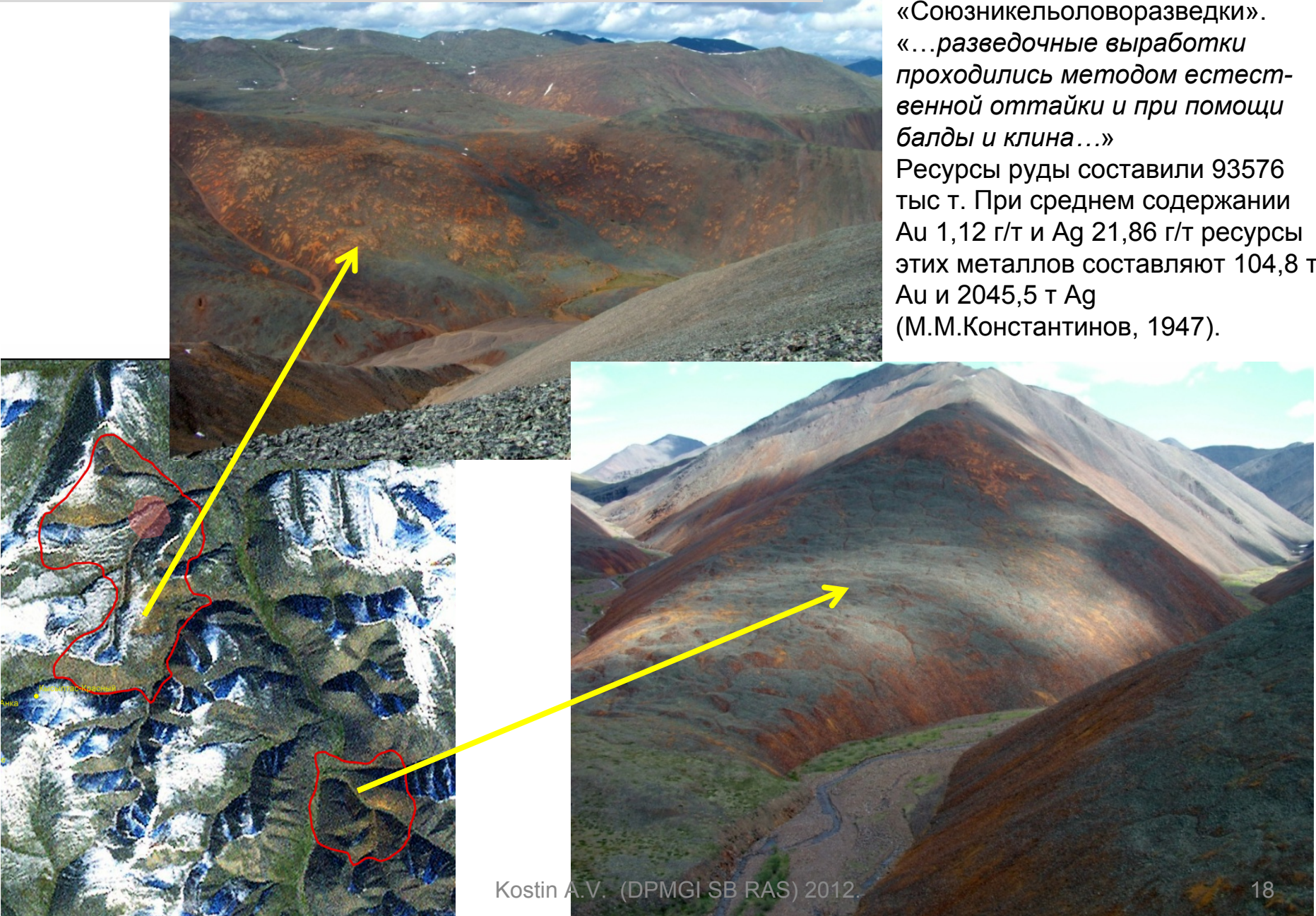


Landsat Mosaic

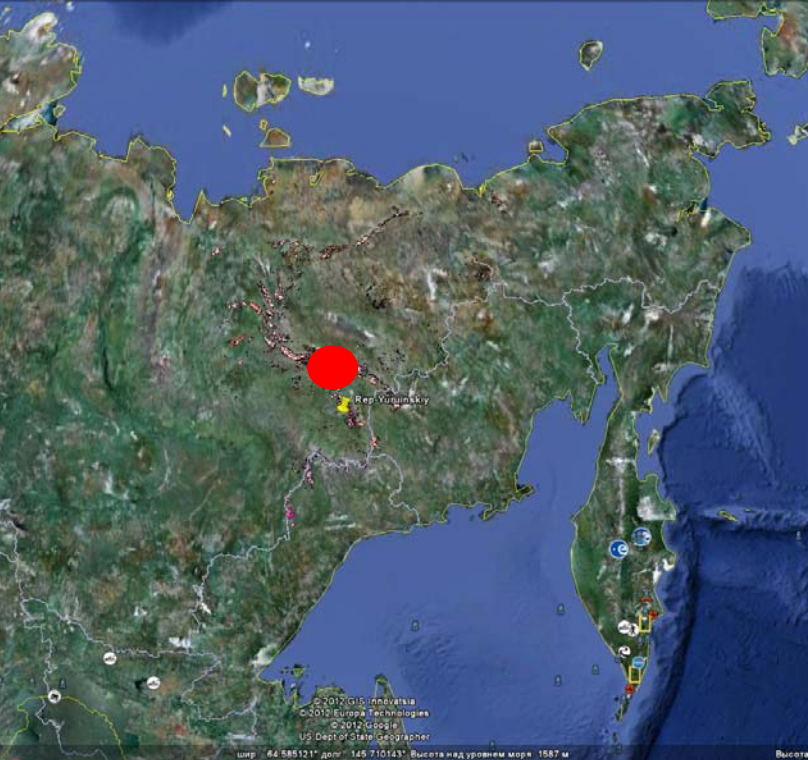


# Комбинация каналов 3 – 2 – 1

Район был изучен в период с 1933 по 1947 годы экспедициями «Союзникельоловоразведки». «...разведочные выработки проходились методом естественной оттайки и при помощи балды и клина...»  
Ресурсы руды составили 93576 тыс т. При среднем содержании Au 1,12 г/т и Ag 21,86 г/т ресурсы этих металлов составляют 104,8 т Au и 2045,5 т Ag (М.М.Константинов, 1947).







Расположение Реп-Юреинского подтипа IOCG:  
lat 63.573016° long 143.275010°  
Google Map - Россия

## 5. Заверка полевыми работами:

В полевой сезон 2011 одно из отдешифрованных на 15m eSAT снимках коричневое пятно было заверено и оказалось представленным брекчиями с Fe-оксидным цементом.





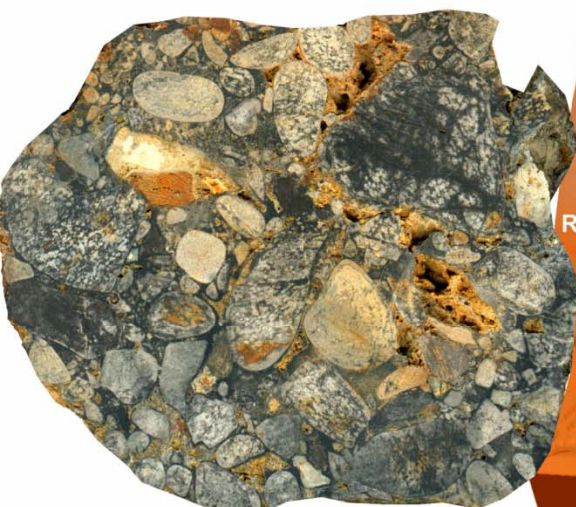
# Расположение рудных проб



Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, %
0,00	0,27	13,7	0,22



Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, %
0,37	9,72	30,2	0,21



Rep-Yuruinskiy pluton

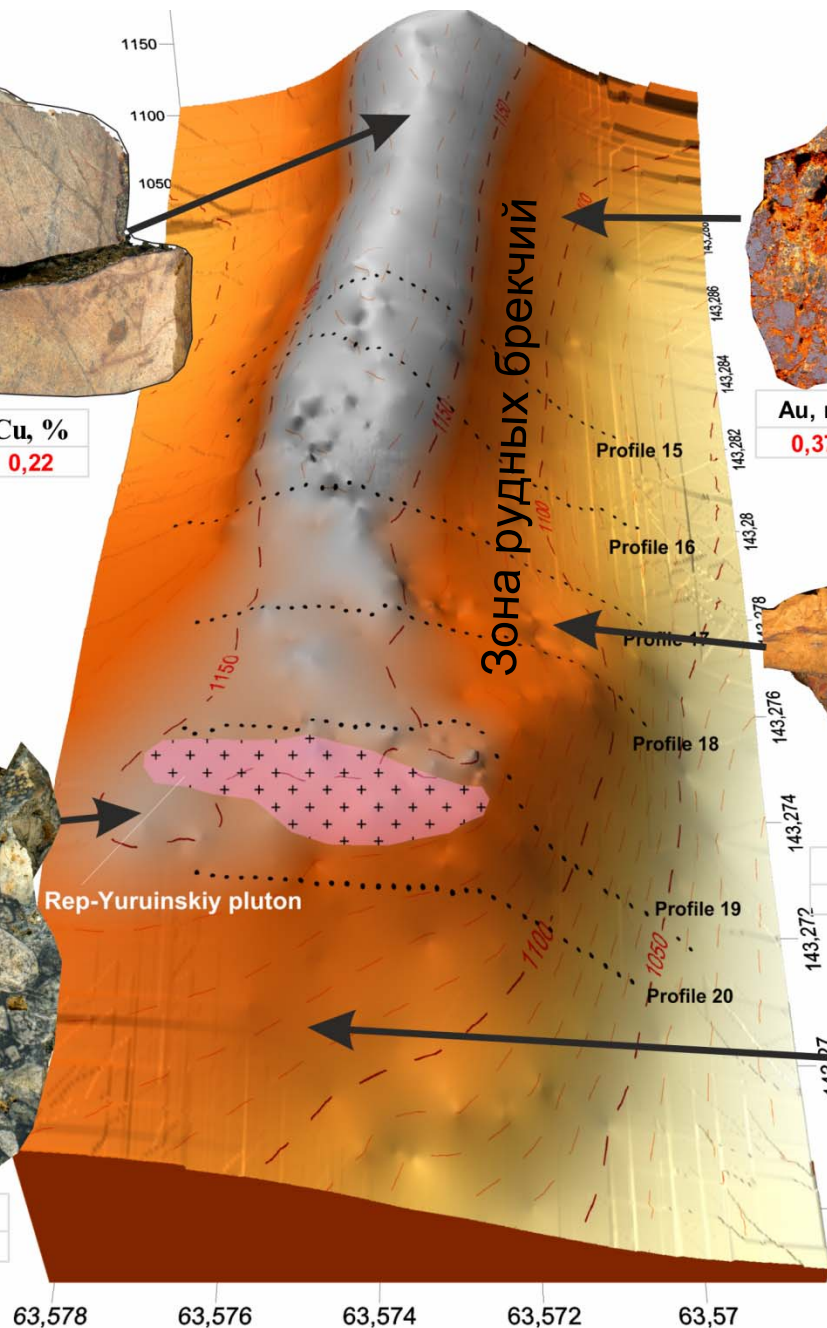
Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, %
2,14	11,00	6,49	0,021



Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, %	U, г/т
0,00	9,52	34,9	0,76	586,67



Au, г/т	Ag, г/т	Fe, %	Cu, %
1,40	21,50	33,6	0,77



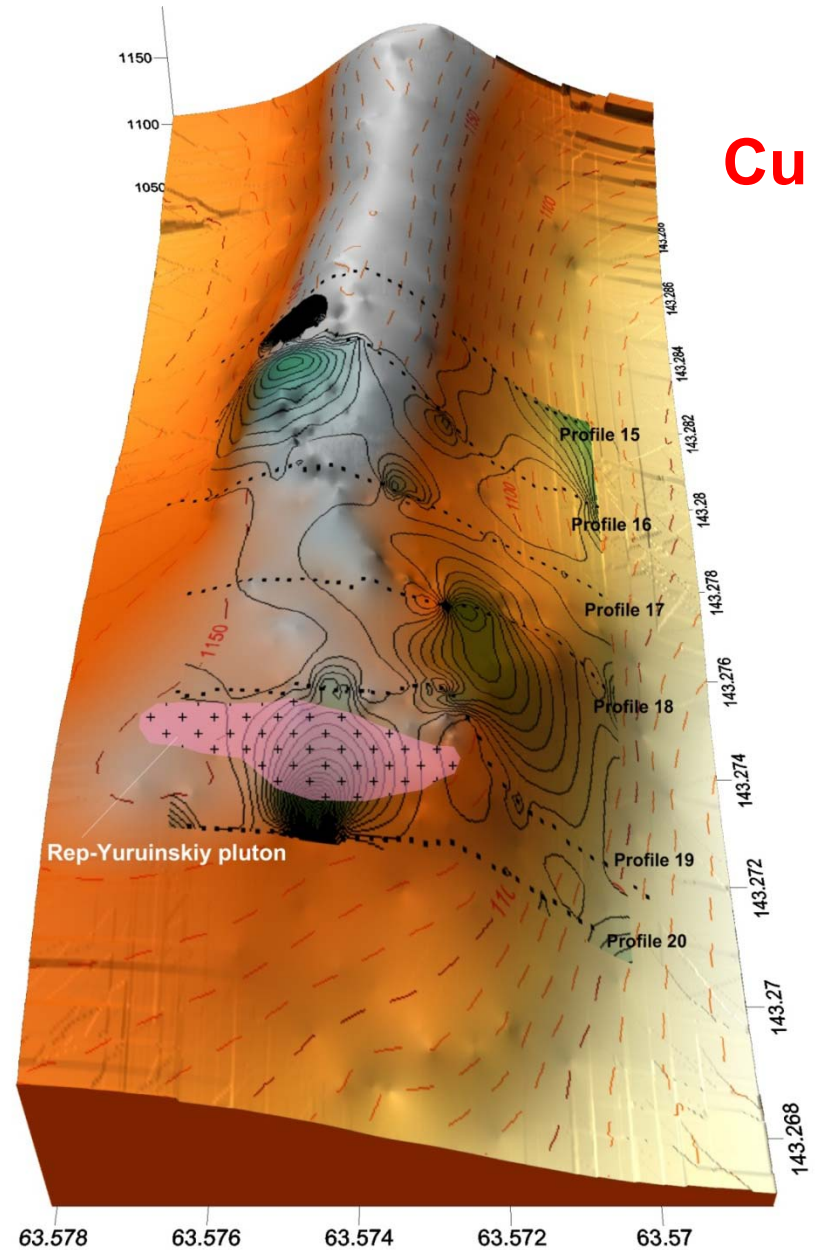
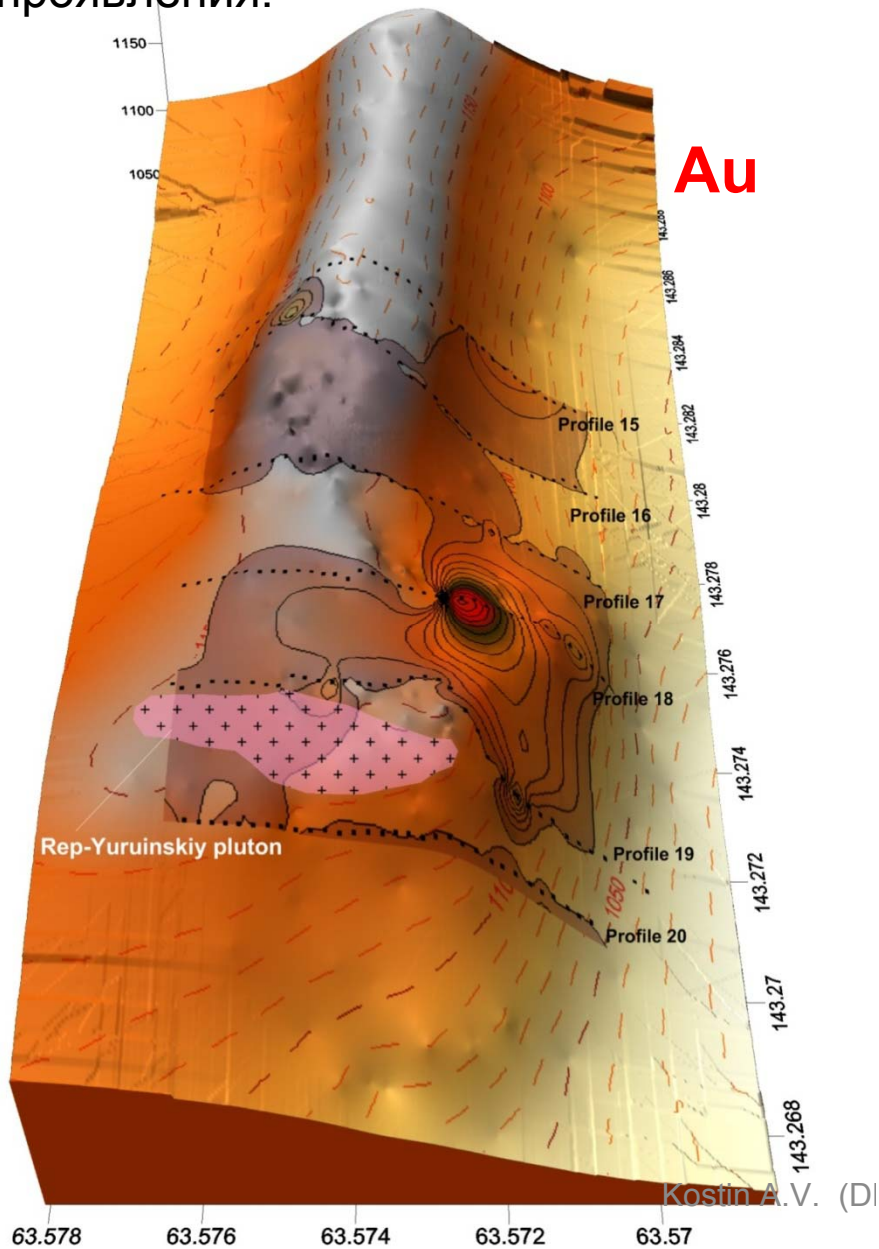
Зона рудных брекчий

- Profile 15
- Profile 16
- Profile 17
- Profile 18
- Profile 19
- Profile 20

63,578 63,576 63,574 63,572 63,57



## 6. ЮСГ проявления благоприятны для геохимических исследований: Интерполяция поверхности (кригинг) для золота и меди для Реп-Юреинского проявления.



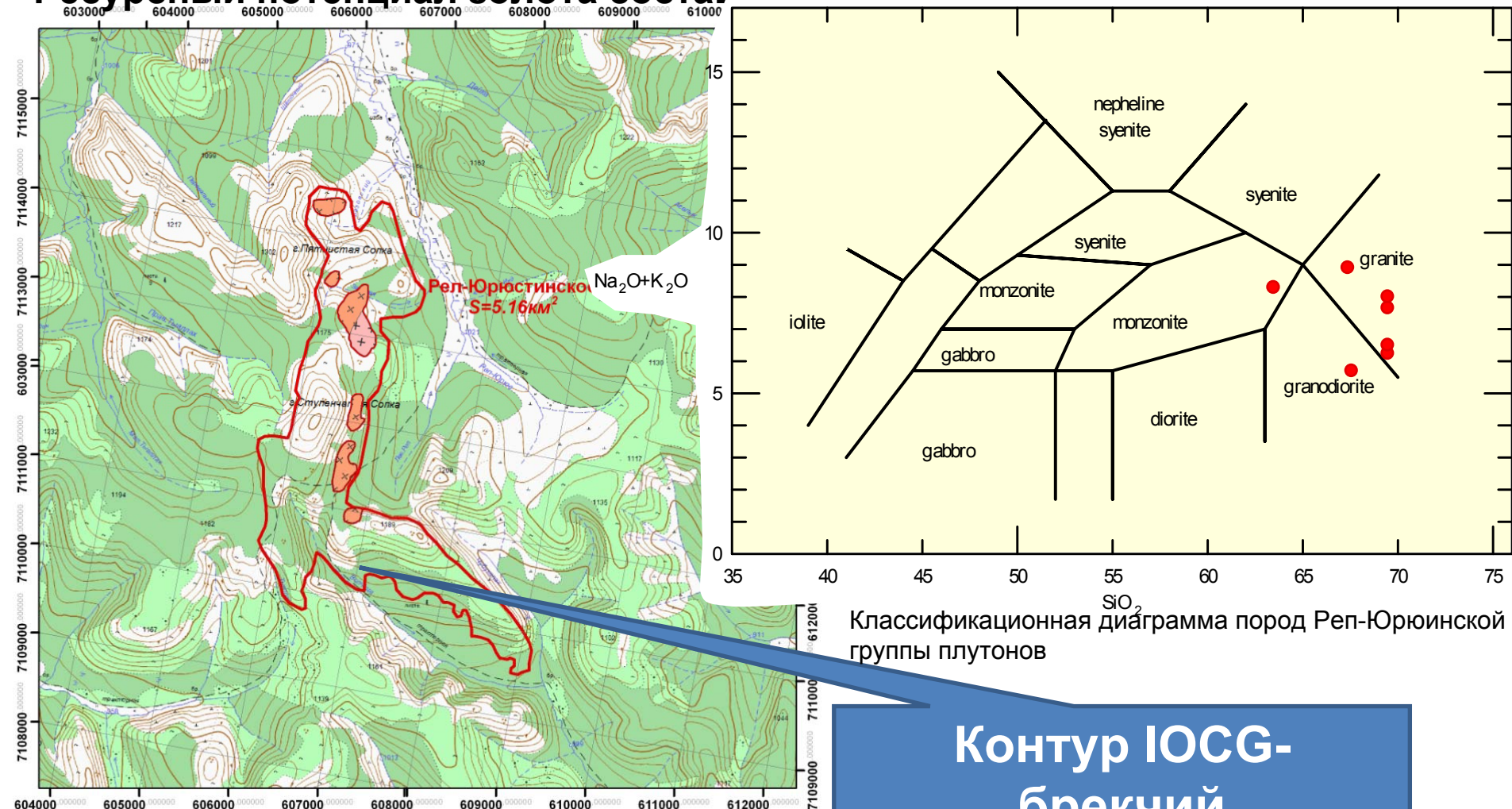
№ п/п	Образец	ρ гр/см <sup>3</sup>	Au, г/т аа	Ag, г/т аа	Fe, % аэ	Cu, % аэ	U, г/т рф	Co, г/т аа	Ni, г/т аа	Bi, г/т аэ	Mo, г/т аэ	W, г/т аэ
<b>Хлорит-кварцевый метасоматит</b>												
1	3021	3,22	1,292	67,60	4,90	0,10		5,70	25,20	1000	0	490
2	7108	2,83	0,110	32,90	13,70	0,05		67,80	37,40	520	0	0
3	7143	2,67	0,67	15,10	48,45	0,62		257,00	33,10	890	0	280
4	7154	2,77	0,39	0,63	3,92	1,10		64,20	0	180	0	0
5	7157	2,71	3,70	82,80	7,71	0,17		11,90	7,00	890	0	0
<b>Среднее:</b>		<b>2,84</b>	<b>1,23</b>	<b>39,81</b>	<b>15,74</b>	<b>0,41</b>		<b>81</b>	<b>21</b>	<b>696</b>	<b>0</b>	<b>154</b>
<b>Бредилитово-орогово-обманованной породы с Fe-оксидным цементом</b>												
1	3022	2,82	7,55	859,00	7,75	1,60		2127,00	1278,00	890	26	8250
2	3024-1	3,50	0,20	260,00	9,65	0,39		863,00	79,70	110	26	0
3	3058-3	2,86	6,37	16,60	4,45	0,014		17,60	34,70	110	26	0
4	7112	2,50	0,28	668,00	20,10	0,18		64,20	108,00	300	94	2800
5	7115	2,60	0,39	56,90	13,70	0,37		1991,00	3208,00	940	120	8250
6	7116	2,50	2,14	11,00	6,49	0,021		20,00	91,30	160	150	0
7	7117a	2,88	0,01	5,02	4,26	0,011		2,58	22,20	0	99	0
8	7117б	2,90	0,21	49,70	10,70	0,83		697,00	47,90	890	160	0
9	7118	2,62	1,75	86,20	7,99	0,16		128,00	14,50	99	37	160
10	7124в	2,54	0,37	9,72	30,20	0,21		62,60	29,70	890	26	490
11	7127	2,65	0,01	0,29	38,70	0,59	161,04	149,00	302,00	850	43	7000
12	7128	2,73	1,40	21,50	33,60	0,77		11,30	6,70	890	51	0
13	7129	2,42	0,09	103,00	6,20	4,20		293,00	122,00	890	0	0
14	7137	2,68	0,53	33,00	6,05	0,45		251,00	37,00	890	0	0
15	7139	2,74	0,00	0,27	13,70	0,22		9,16	12,70	0	0	0
16	7141	2,83	0,00	9,52	34,90	0,76	586,67	0,74	117,10	410	63	0
17	7142	2,89	0,65	11,00	4,81	0,93		84,10	0	760	0	0
18	7156	2,84	0,10	1,61	18,50	0,45		42,50	50,5	650	31	0
19	7159	2,63	2,88	142,00	56,43	0,07		6,06	0	890	36	0
20	7161	3,15	0,85	225,00	6,26	0,42		13,3	6,14	890	0	3800
21	7169	3,00	0,54	1,24	5,65	0,01		0,82	30,90	230	0	1900
22	7170	2,96	0,42	1,22	10,70	0,01		6,25	10,40	0	0	2200
23	7174	2,50	0,00	0,18	17,90	0,04		11,00	9,93	0	24	0,0
<b>Среднее:</b>		<b>2,77</b>	<b>1,16</b>	<b>111,82</b>	<b>16,03</b>	<b>0,55</b>		<b>298</b>	<b>244</b>	<b>510</b>	<b>44</b>	<b>1515</b>



**7. Оценка проявлений:** Реп-Юреинский подтип IOCG представлен гранит-гранодиорит-монцитовой ассоциацией, с рудными брекчиями в которых арсенопиритовые руды (площадь около 80 м<sup>2</sup>) ассоциируют с Fe-оксидными брекчиями. Площадь выхода IOCG-брекчий около 5,16 км<sup>2</sup>, плотность варьирует от 2,41 до 3,23 (среднее = 2,76 гр/см<sup>3</sup>). При подвеске 50 м ресурсный потенциал руды составляет около 712 млн.т с 1,17 г/т Au.

**Ресурсный потенциал золота составляет**

Cox-Bell-Pankhurst 1979



Классификационная диаграмма пород Реп-Юреинской группы плутонов

**Контур IOCG-брекчий**



# Рейтинг Реп-Юреинского потенциального месторождения в списке главных мировых месторождений IOCG (тип Olympic Dam)

Месторождение	Страна	Ресурсы руды, млн.	Cu, %	Au, г/т	Извлекаемая стоимость, USD
Aitic	Швеция	226	0,37	0,20	41,76
Manto Verde	Чили	580	0,52	0,11	49,56
Candelaria	Чили	470	0,95	0,22	91,56
Cristallino	Бразилия	500	1,00	0,30	100,03
<b>Реп-Юреинское</b>	<b>(Якутия)</b>	<b>716</b>	<b>0,53</b>	<b>1,17</b>	<b>107,30</b>
Sossego	Бразилия	355	1,10	0,28	107,36
Salobo	Бразилия	789	0,96	0,52	108,43
Ernest Henry	Австралия	167	1,10	0,50	119,12
Olympic Dam	Австралия	3810	1,10	0,50	119,12
Prominent Hill	Австралия	152,8	1,18	0,48	124,77
Raul Condestable	Перу	32	1,70	0,30	158,83
Igarape Bahia	Бразилия	170	1,50	0,80	168,75

Примечание: По данным [www.goldsheetlinks.com](http://www.goldsheetlinks.com) на 23 марта 2012 г.: Cu – 8400,5 \$ т, Au – 1662 \$ troy ounce



# 8. Использование GIS для поиска неоткрытых благороднометалльных ресурсов показало хороший результат.

**Вычисление объема Fe-оксидной минерализации**

**Верхне-Бургалинского горного массива**

**(программа MICRODEM)**

**Volume:**

**Fill: 60 527 416 396,33 м<sup>3</sup>**

**Cut: -111 057 762,31 м<sup>3</sup>**

**Net: 60 416 358 634,03 м<sup>3</sup>**

**Volume base level, z=1200**

**Плотность руды = 2,76 т/м<sup>3</sup>**

**Ресурс руды = 166749**

**млн.т.**

**Прогнозный ресурс Au (при содержании 0,5 г/т = 83374**

**т Au**

ных площадей были  
ArcGisOnline – i-cubed 15m  
зато-коричневые

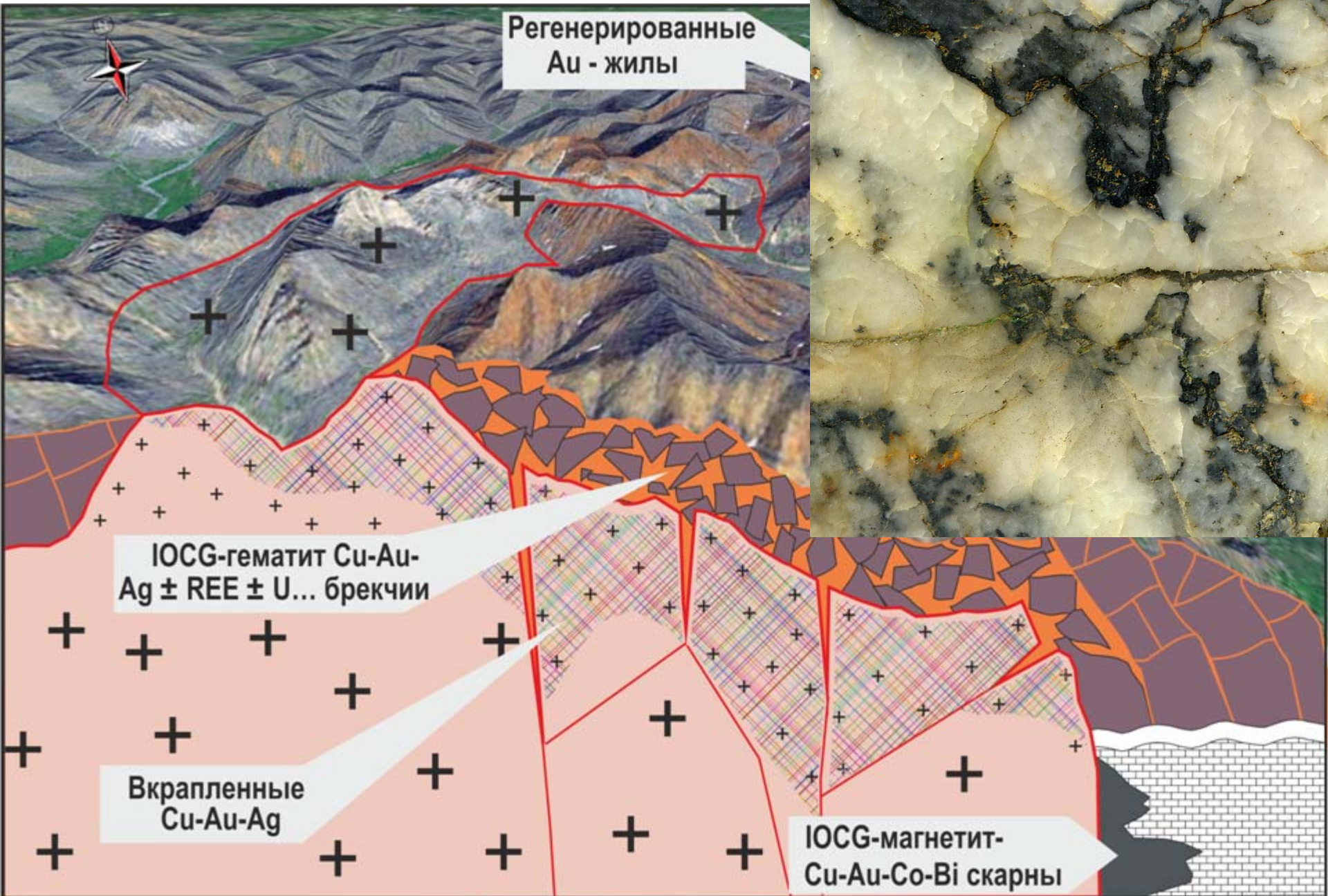
ЗИЙ...

**Джолакагский  
РИВ**





# Модель IOCG-месторождения





# Выводы

---

1. Восточная Якутия имеет большой потенциал для успешных находок IOCG руд, тем не менее, на сегодня ни одного IOCG месторождения на этой территории не известно.
2. Многие месторождения этого региона сопровождаются минерализацией, которая может быть идентифицирована как IOCG.
3. IOCG-потенциальные площади легко дешифрируются на снимках Landsat с комбинация спектров 3-2-1.
4. Обнаруженная Реп-Юреинская геохимическая аномалия **IOCG**-типа имеет Au-Cu±U специализацию. Она локализована в зоне экзоконтакта гранитоидов и может быть аналогом месторождений типа Olympic Dam (в Австралии). Ресурсный потенциал золота составляет 833 т.



# Благодарю за внимание

