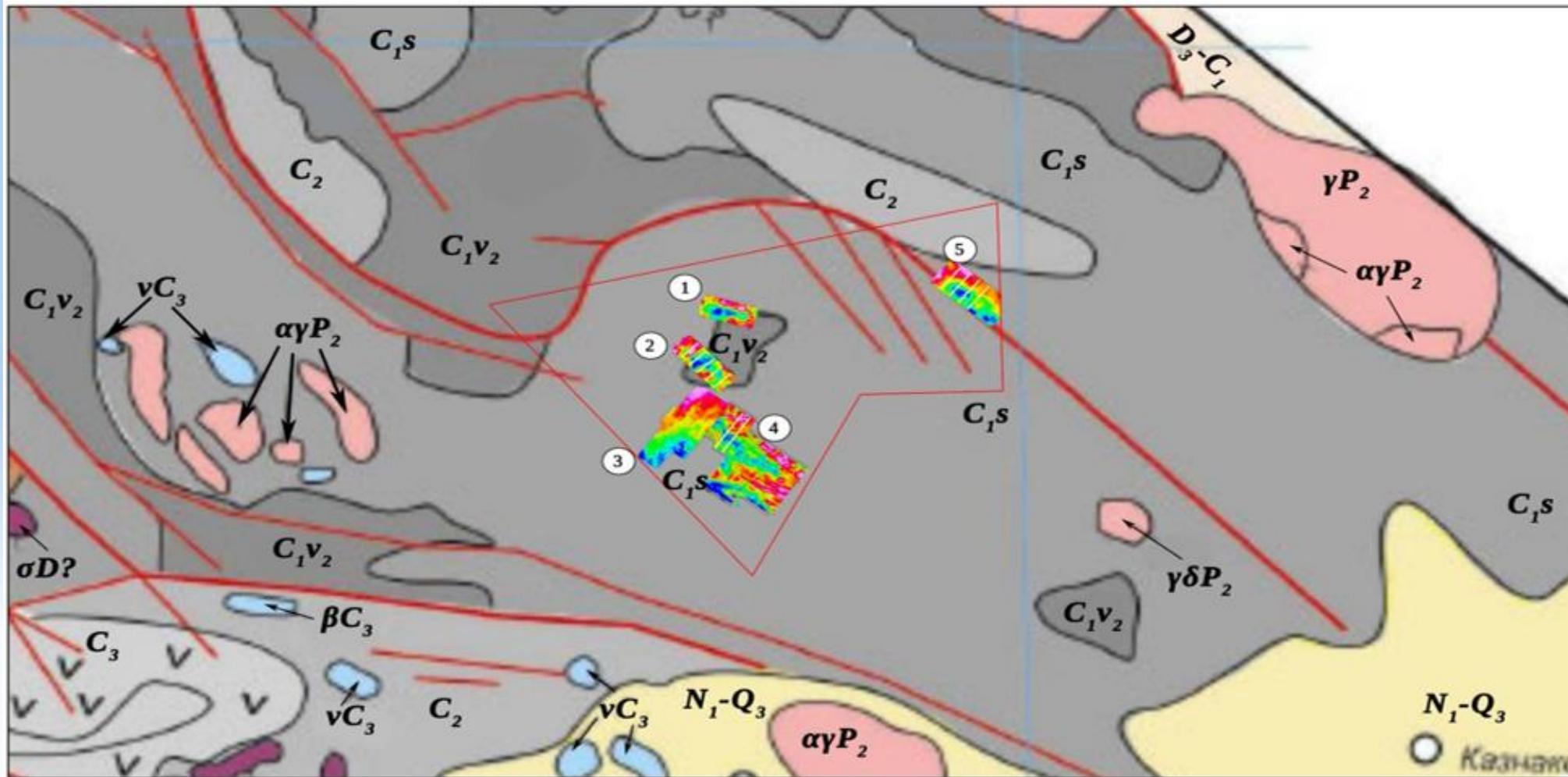


РАЗВИТИЕ БПЛА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОИСКА ТПИ ПРИМЕРЫ ИЗ КАЗАХСТАНА, НАМИБИИ И РОССИИ

Каминский В.Ф.



Магнитометрическая съемка в Казахстане 2016 - 2018



Западно-Калбинский золоторудный пояс Восточного Казахстана занимает лидирующее положение среди других регионов Казахстана по перспективам открытия новых золоторудных объектов и расширению добычи золота

Петрофизические характеристики пород

Позднекаменноугольный интрузивный комплекс представлен мелкими телами габбро и габбро-диоритов аргимбайского комплекса. Среди магматических пород наиболее распространены интрузивы кунушской габбро-плагиогранитной серии. В ряде золоторудных полей развит габбро-диоритовый дайковый комплекс, слагающий пояса северо-западного и субширотного простирания

№ пп	Наименование породы	Количество определений	Значение магнитной восприимчивости, ед. СИ x 10 ⁻⁵		
			минимальное	максимальное	Среднее
1	Известняк	4	0	15	7.2
2	Алевролит	31	5	33	23
3	Песчаник	394	0	60	25
4	Андезит	5	30	50	40
5	Вулканогенные	14	23	680	182
6	Кремнистые сланцы	13	1	630	70

На площади представлены в основном слабомагнитные породы осадочного происхождения, весьма незначительно отличающиеся по значениям магнитной восприимчивости.

Относительно повышенной средней магнитной восприимчивостью характеризуются андезиты $40 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, сланцы - $70 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Максимальные значения имеют вулканиты - от 23 до $680 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.

Петрофизические характеристики пород (продолжение)

1) Величина магнитной восприимчивости осадочных пород зависит от литологического состава, фациальных и структурных условий их формирования. Весь комплекс осадочных пород слабомагнитный, но все же дифференцируемый по результатам высокоточной, детальной магнитометрии.

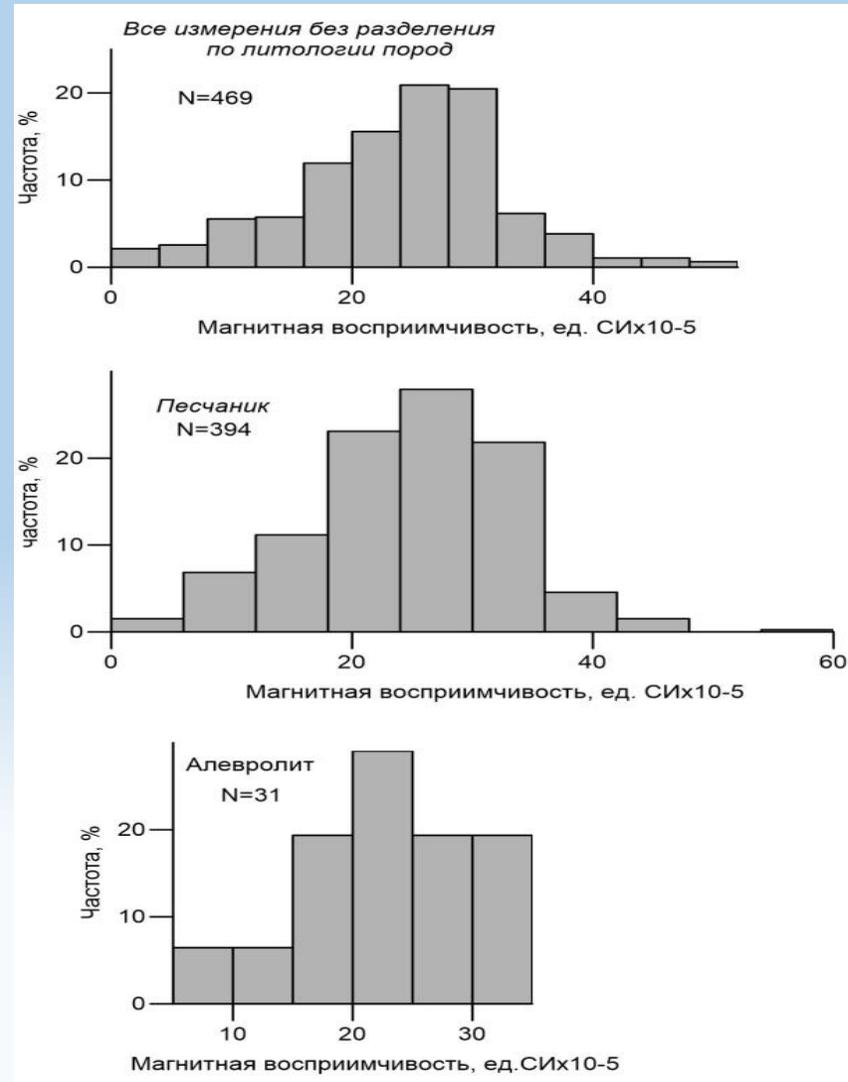
2) Повышенными магнитными свойствами обладают вулканогенно-осадочные породы. Степень повышения этих свойств зависит от основности. Наиболее магнитные: туфы, туфолавы, порфириты, диабазовые порфириты.

3) Магнитные свойства интрузивов увеличиваются с увеличением основности пород.

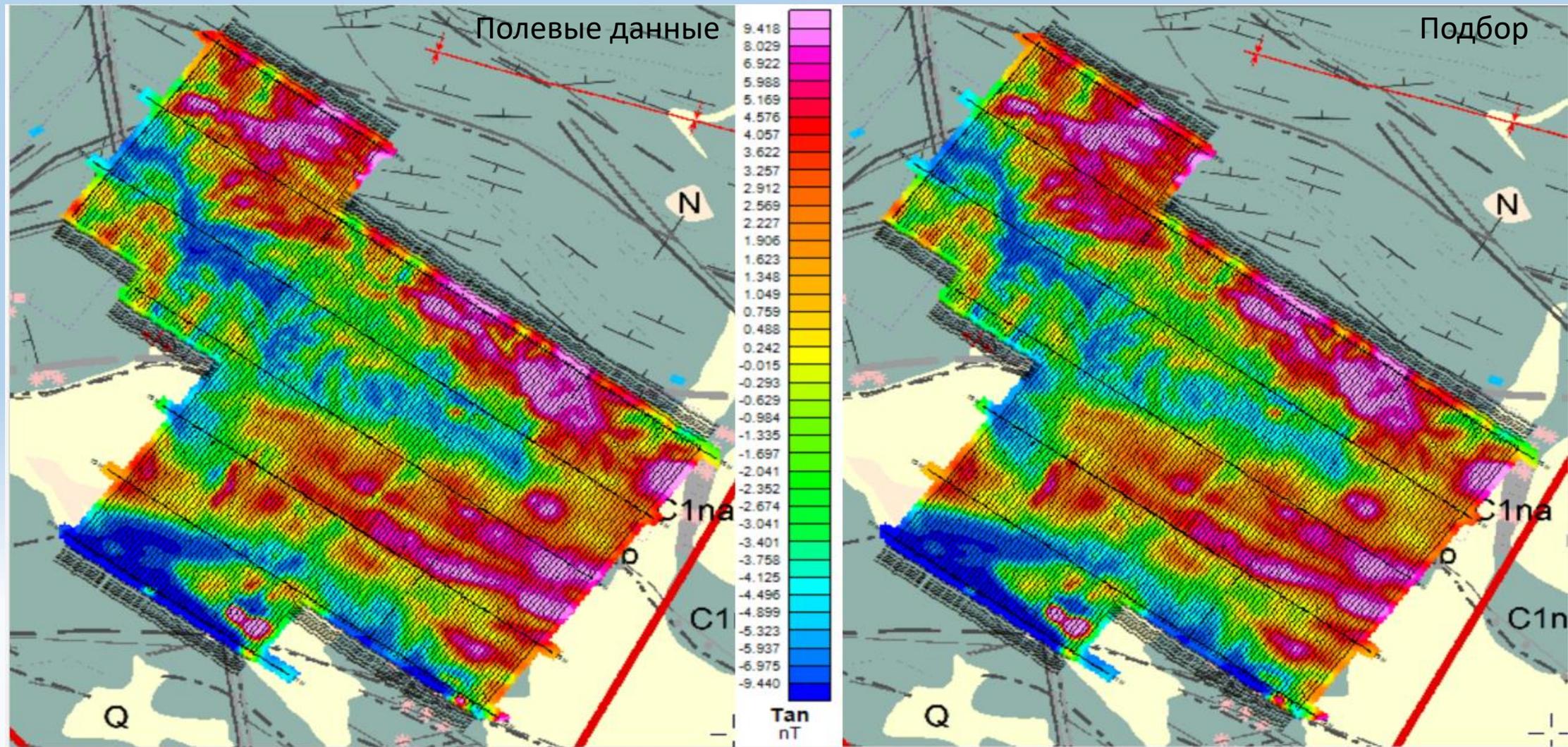
4) Вторичные изменения горных пород и последствия процессов метасоматоза приводят к уменьшению магнитной восприимчивости.

5) Процессы, связанные с внедрением интрузий (ороговикование, скарнирование и т.п.), приводят к увеличению магнитной восприимчивости.

6) В зонах активного проявления динамометаморфизма, как правило, наблюдается уменьшение способности пород к намагничению.



Магнитометрическая съемка с использованием БПЛА

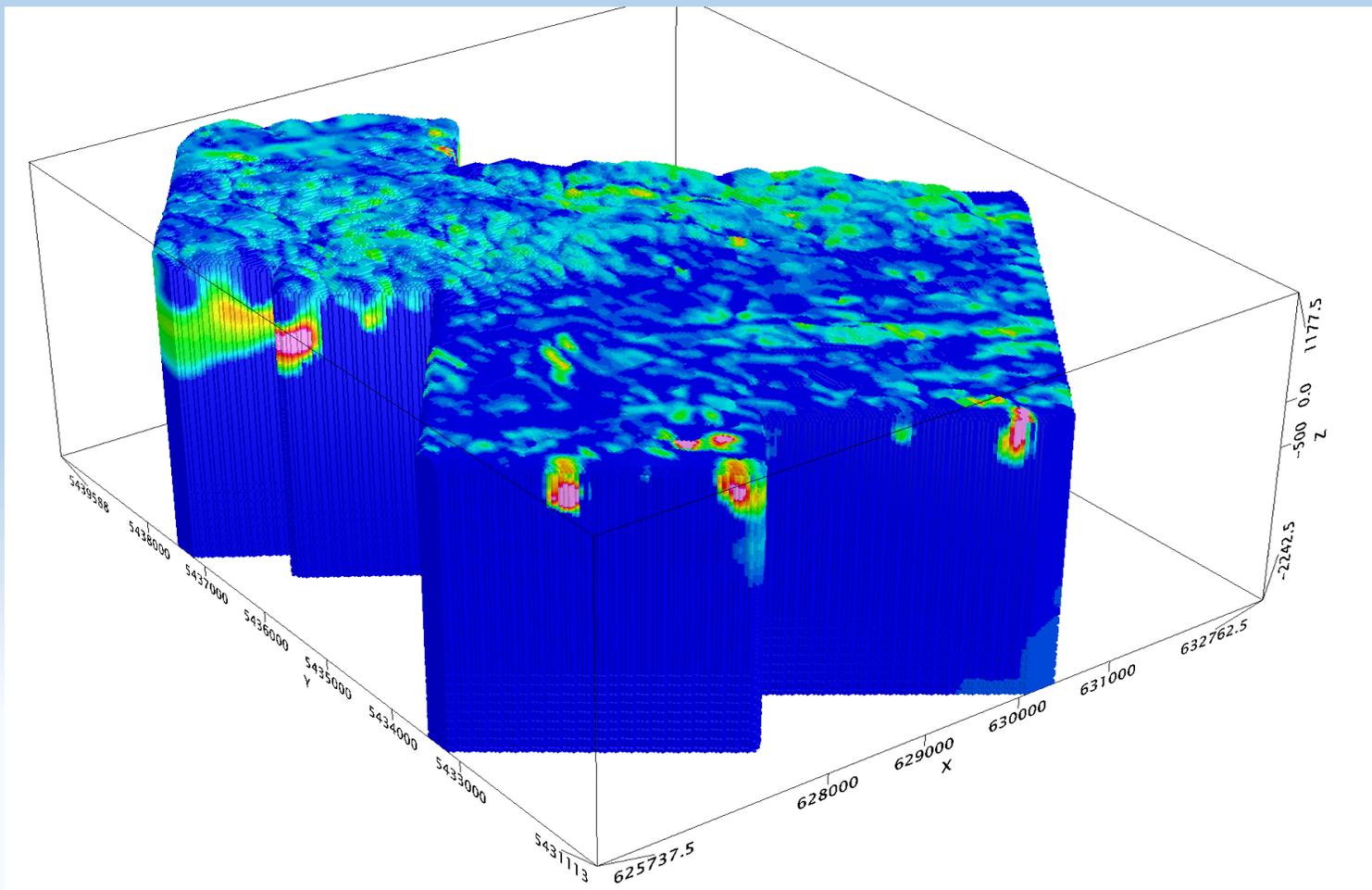


СИБИРСКАЯ
ШКОЛА
ГЕОНАУК

На данном участке не было
альтернативы БПЛА

ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ «СИБИРСКАЯ ШКОЛА ГЕОНАУК»
(SSG IRNITU)

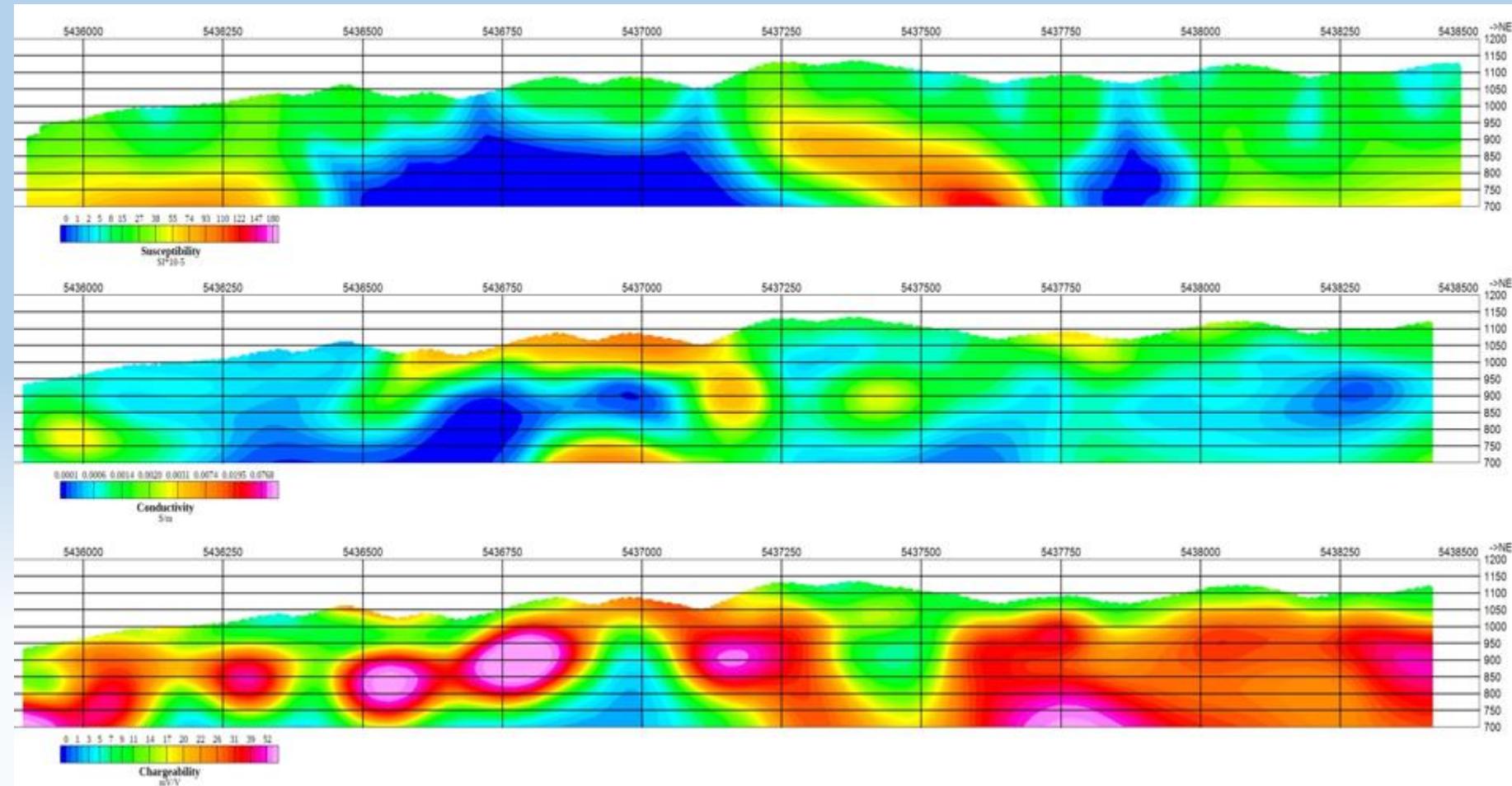
Результаты трехмерной инверсии магнитометрических данных



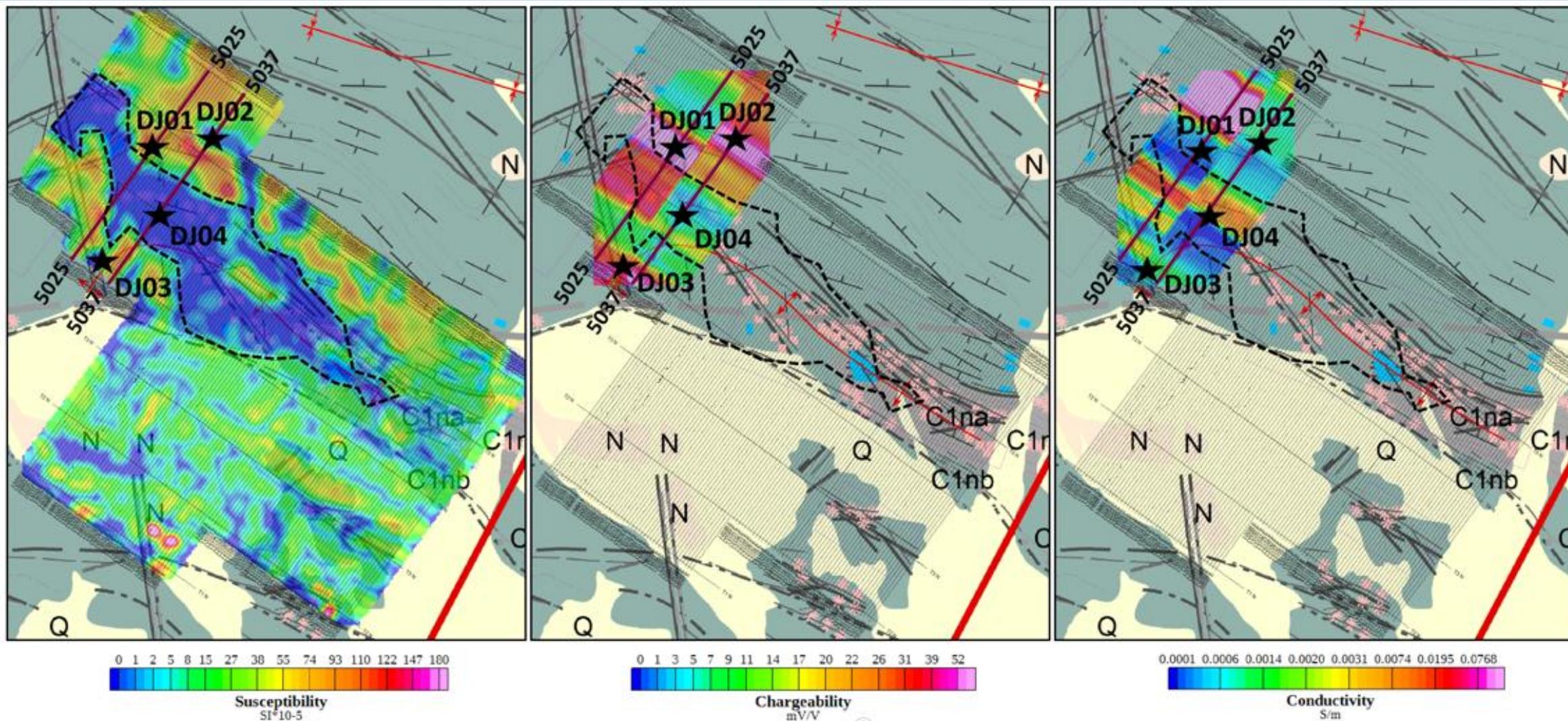
Расчетная глубина инверсии достигает абсолютной отметки -1500 м (размер одного воксела составляет 25 x 25 x 10 м). Сходимость полевых и расчётных данных в пределах заданной невязки подбора (2 нТл) была получена за 3 итерации (Рисунок). Всего было использовано 4410 измерений, инвертированных на регулярной сетке размером в 176 x 179 x 114 (всего 3 591 456 вокселов).

Комплексирование магнитометрии с электроразведкой

1. Пониженные магнитные свойства (образовавшиеся в результате разрушения магнетита в ходе гидротермальных процессов)
2. Повышенная поляризуемость (за счет сульфидизации, не превышающей как правило 5-6%)
3. Средние или низкие значения электропроводности (за счет низкого уровня сульфидизации минерализованных зон)

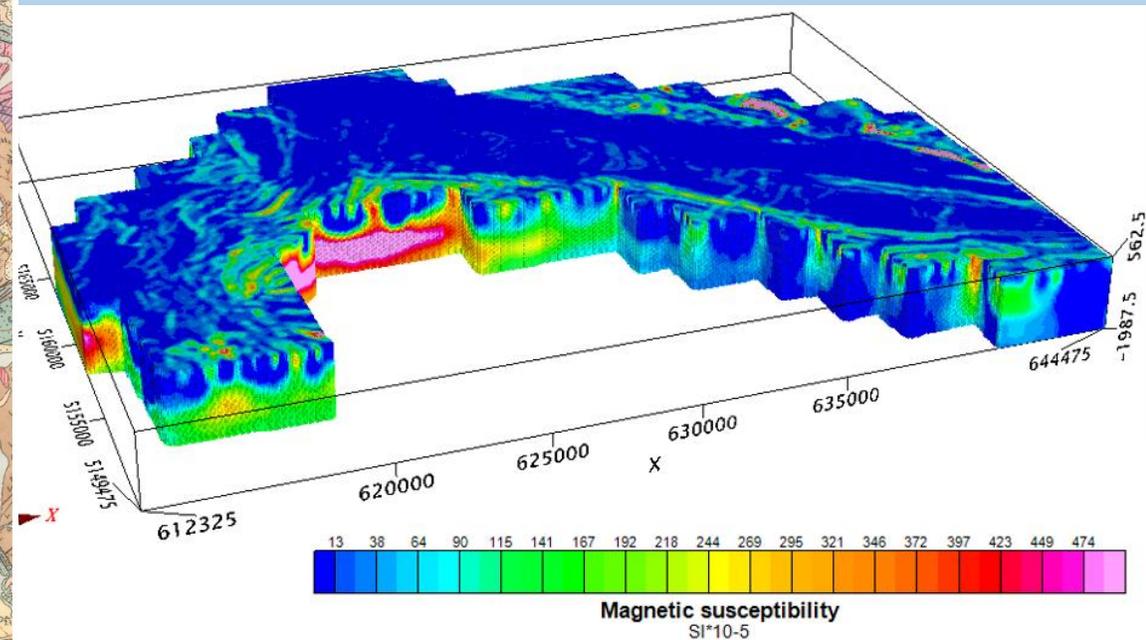
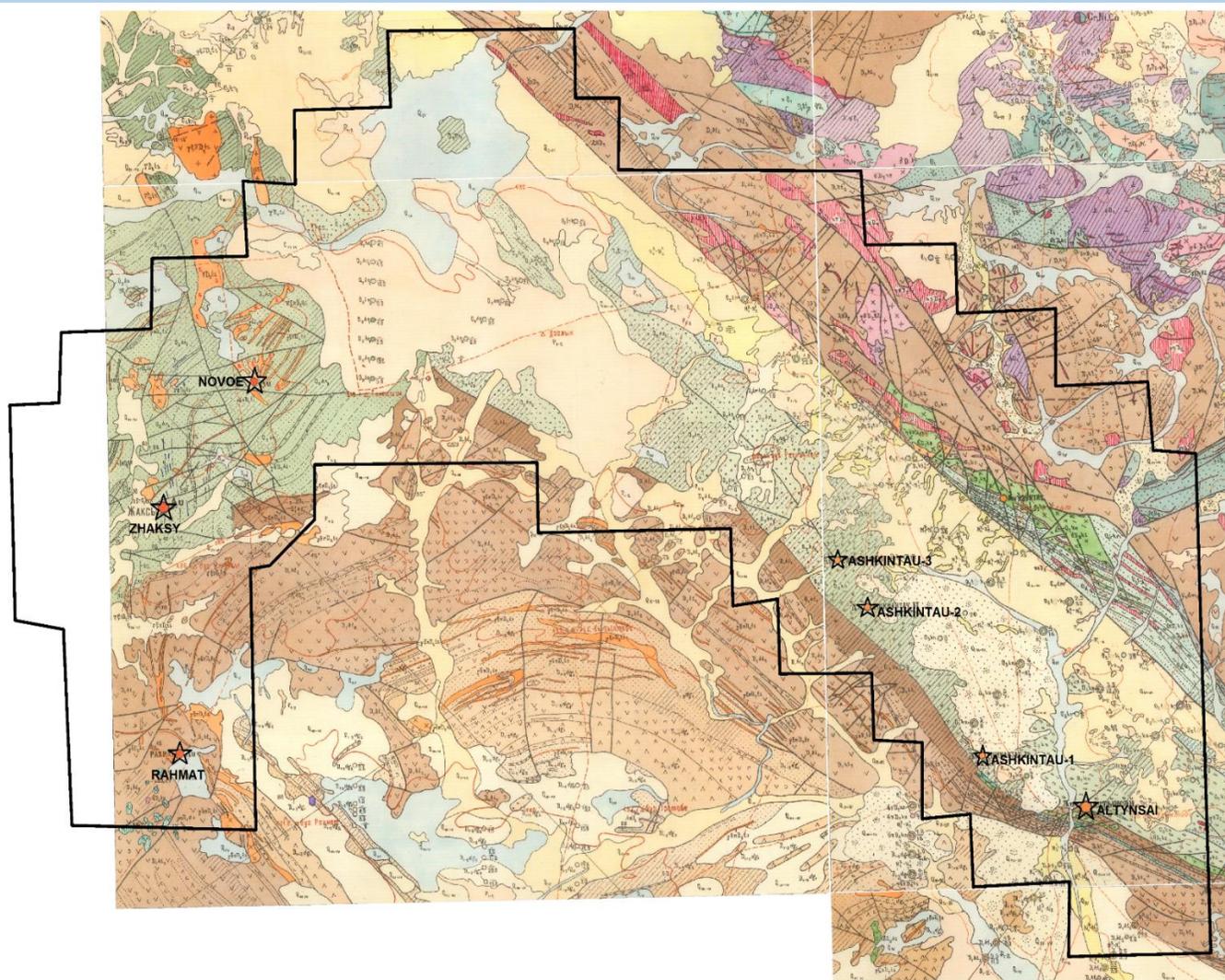


Интерпретация результатов геофизической съемки



Съемка 2021 года

Более 8000 пог. км были залетаны в 2021 г на участке, включающем 7 месторождений и рудопроявлений



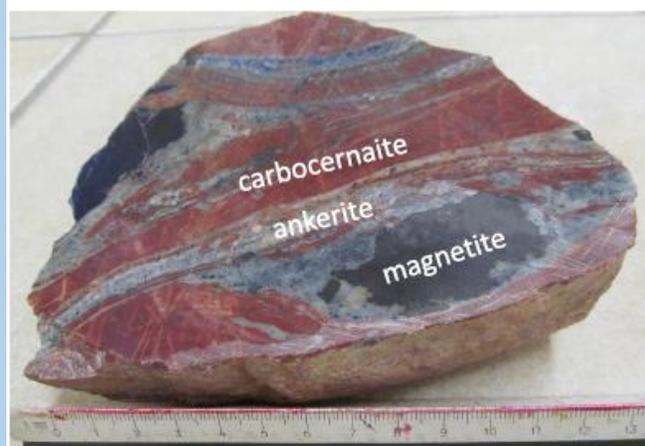
Данные были полностью инвертированы на сервере в 3D с использованием параллелизации open MP

Гамма-спектрометрия для разведки редкоземельных руд (Намибия, 2023)

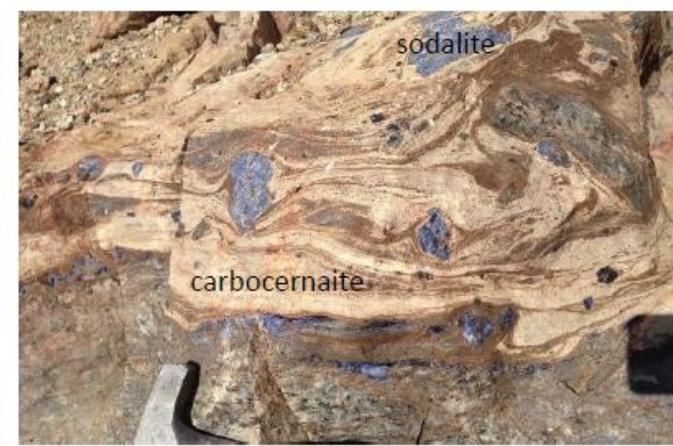


Редкоземельные элементы содержатся в карбонатитовых рудах 2-го типа (содержащих сростки типа кальцит/бастназит)

Карбонатиты первого типа имеют характерную ассоциацию карбонатит/анкерит/магнетит



Type 1: Flow bands of carbocernaite and Fe-carbonatite; with sodalite xenoliths (right)

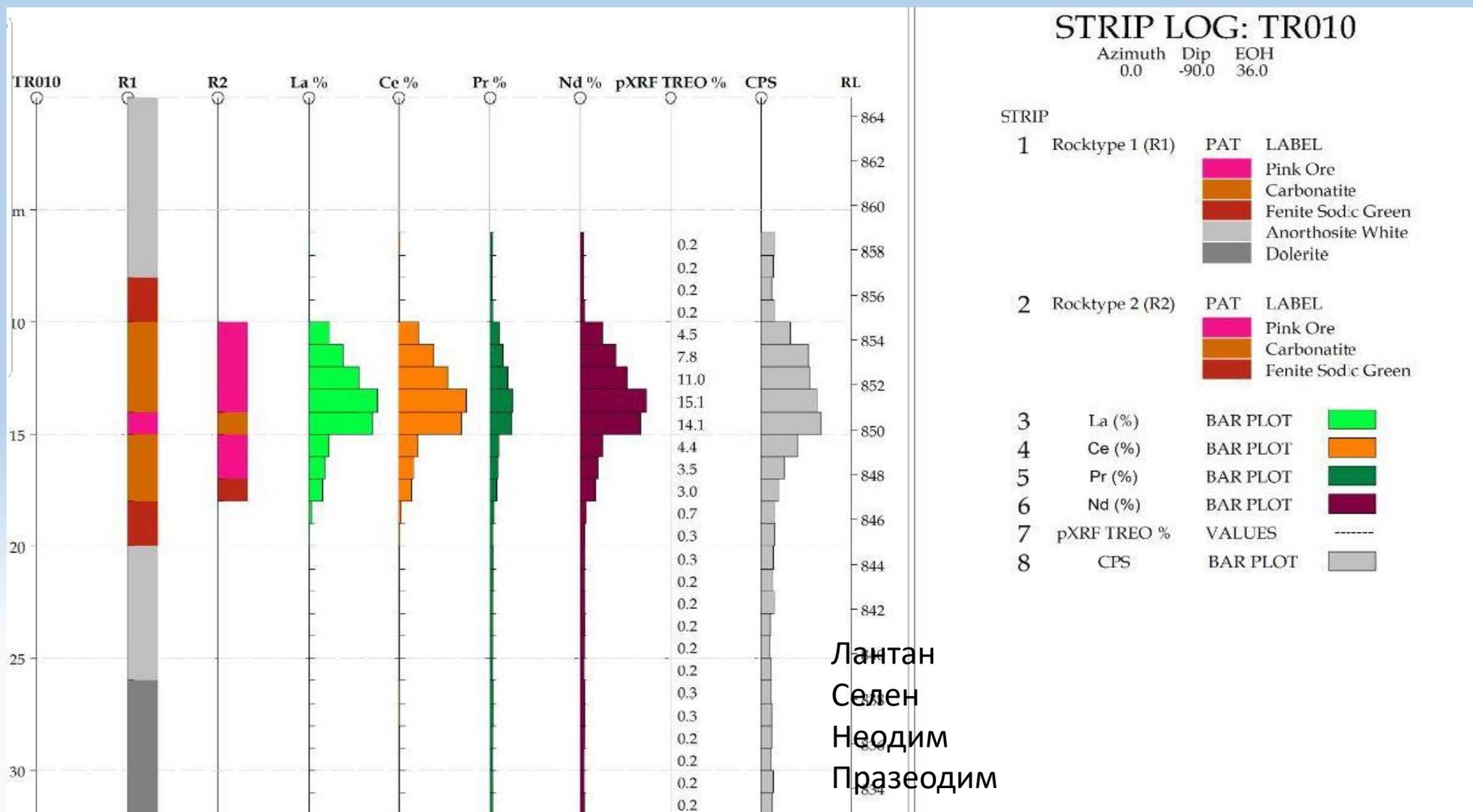


Massive Type 2 LREE-carbonatite



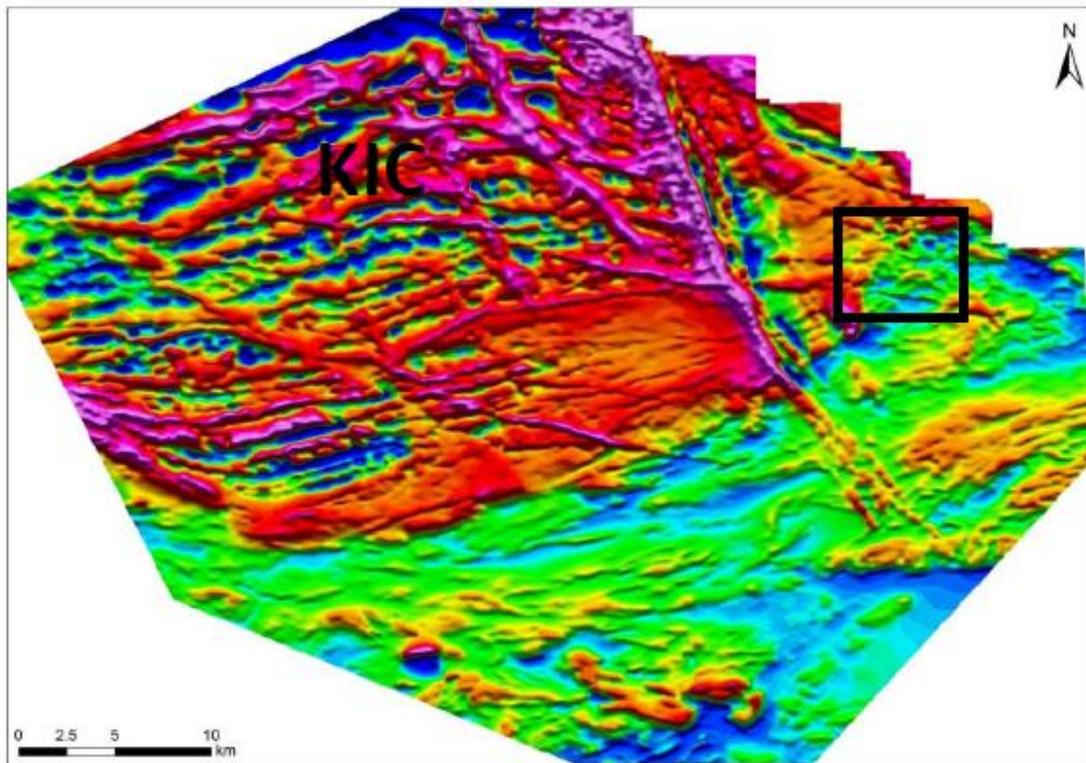
LREE-carbonatite „Pink Ore“

Содержания редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd)

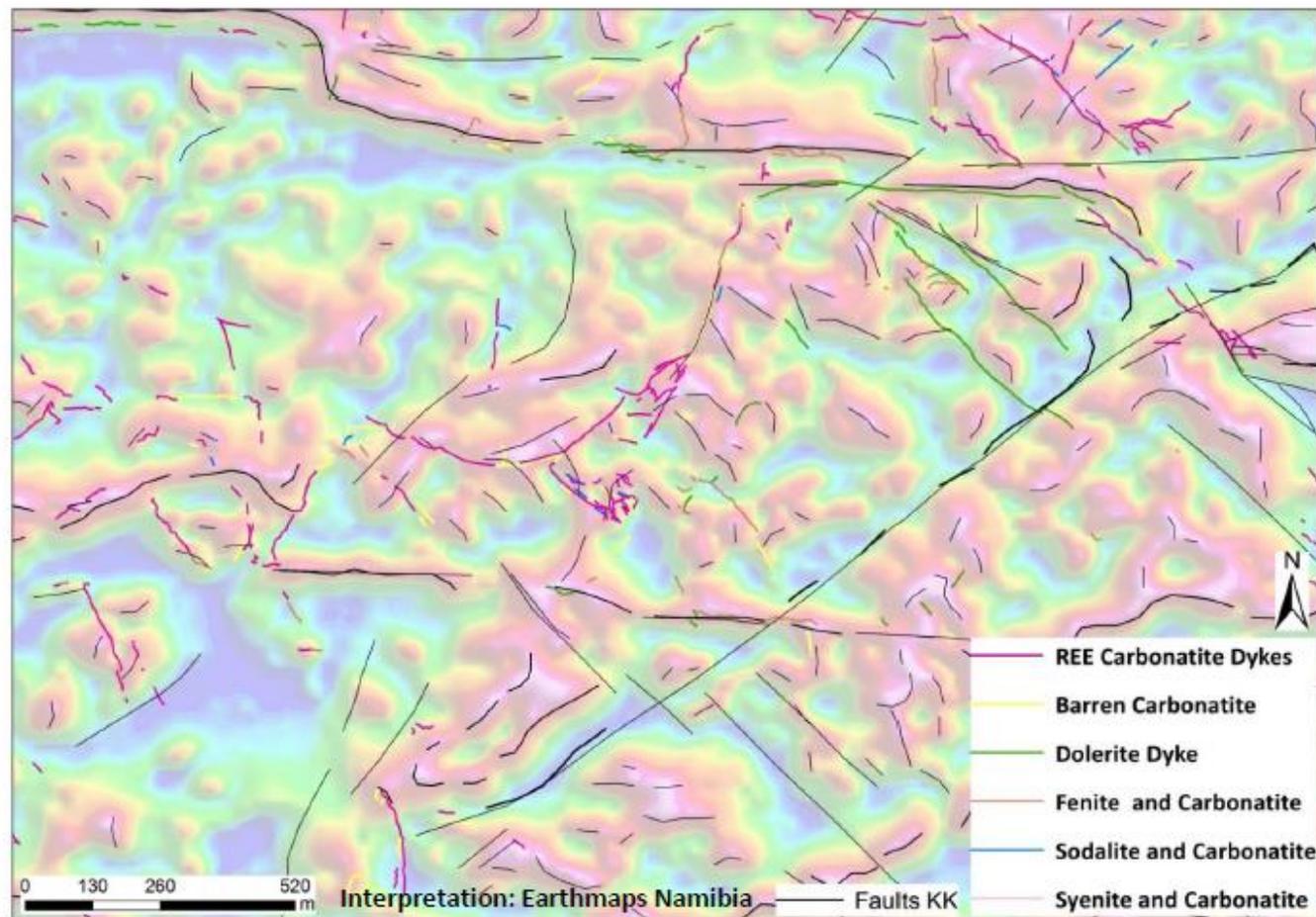


БПЛА магнитометрия для разведки редкоземельных руд (Намибия, 2023)

1. Древние и молодые дайки диабазов
2. Карбонатитовые дайки 1-го типа (Fe-магнетитовые)
3. Магнитные секции внутри анортозитов



200 m line spacing magnetic survey data (TMI)



Drone-based high-resolution magnetic survey (TMI)

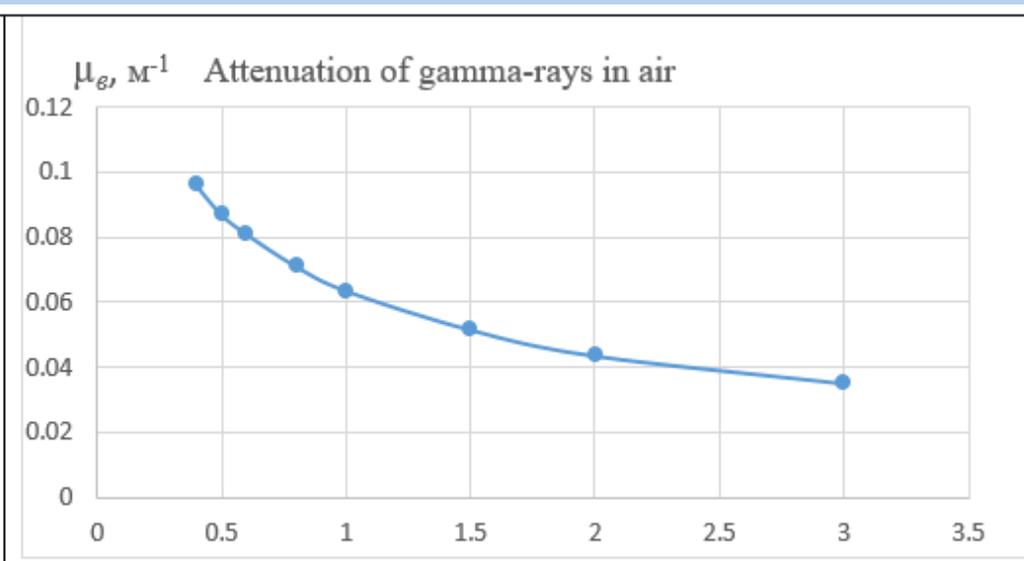
Калибровка оборудования БПЛА гамма-спектрометрии

Основными характеристиками детекторов гамма-излучения являются:

- эффективность регистрации (отношение количества зарегистрированных сигналов к количеству частиц (γ -квантов), падающих на детектор),
- чувствительность (отношение количества зарегистрированных сигналов к плотности потока частиц),
- счетная характеристика,

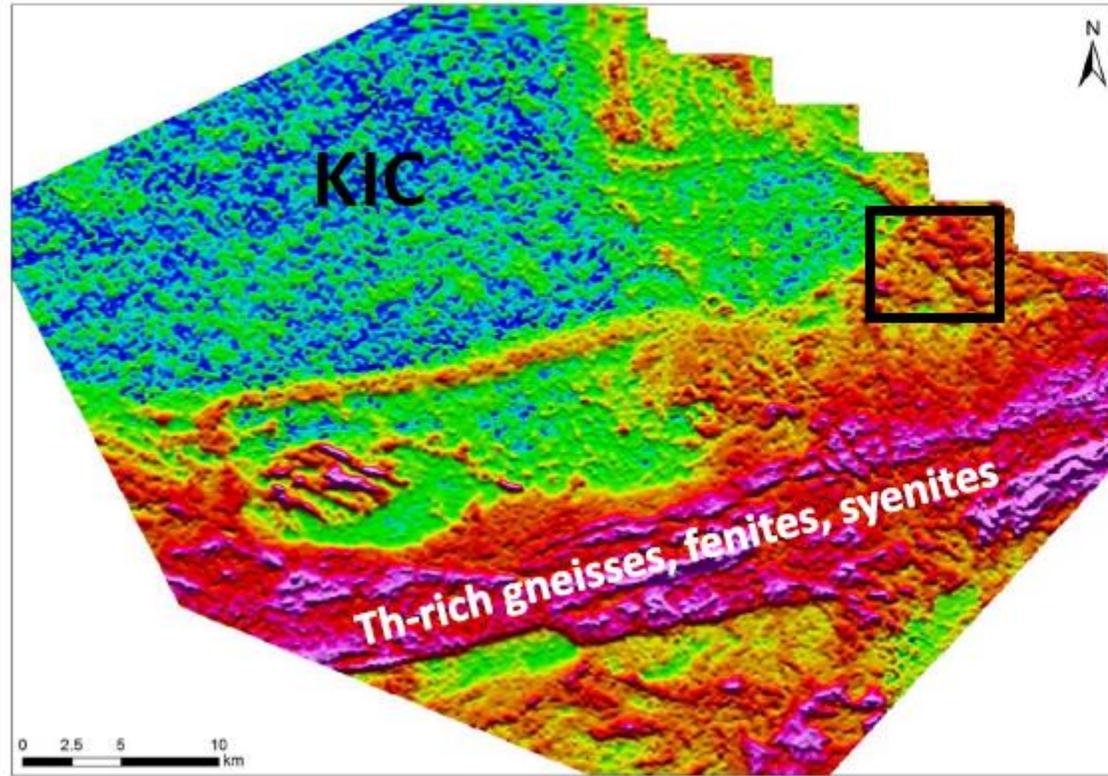


E, MeV	μ_e, M^{-1}
0,4	0,0124
0,5	0,0112
0,6	0,0104
0,8	0,0092
1	0,0082
1,5	0,0066
2	0,0056
3	0,0045

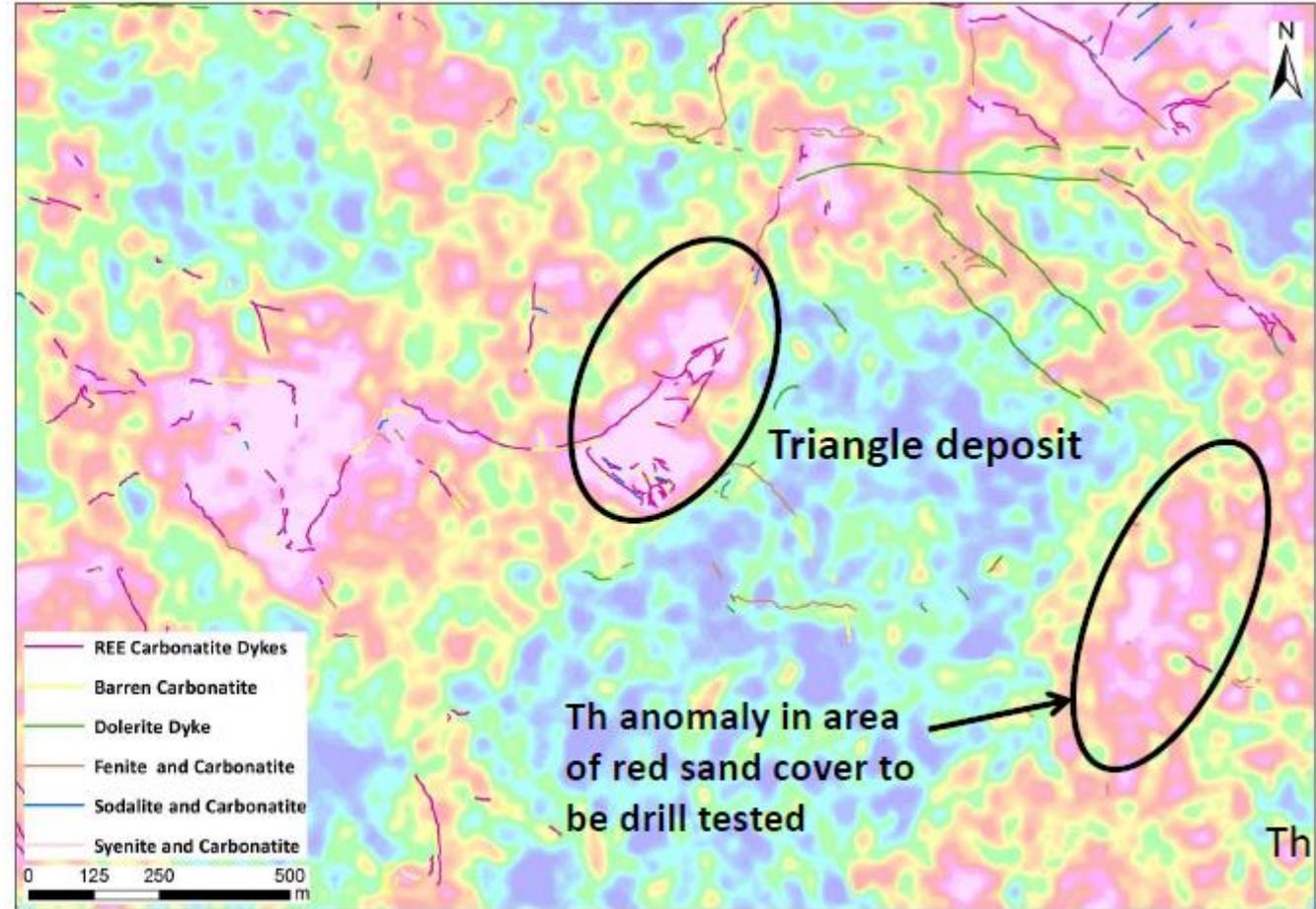


- уровень собственного фонового излучения,
- разрешающее время (это минимальный интервал времени между двумя отдельно зарегистрированными импульсами)
- энергетическое разрешение (способность детектора отдельно регистрировать близкие по энергетическому спектру линии.)

Гамма-спектрометрия для разведки редкоземельных руд (Намибия, 2023)

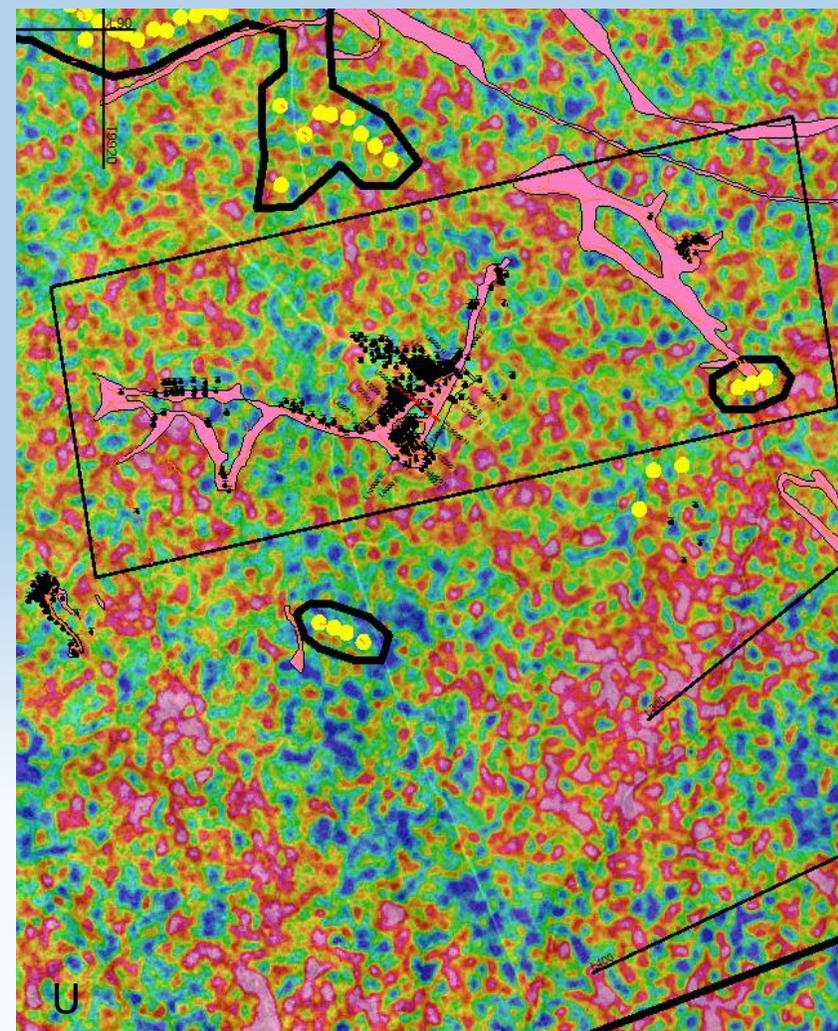
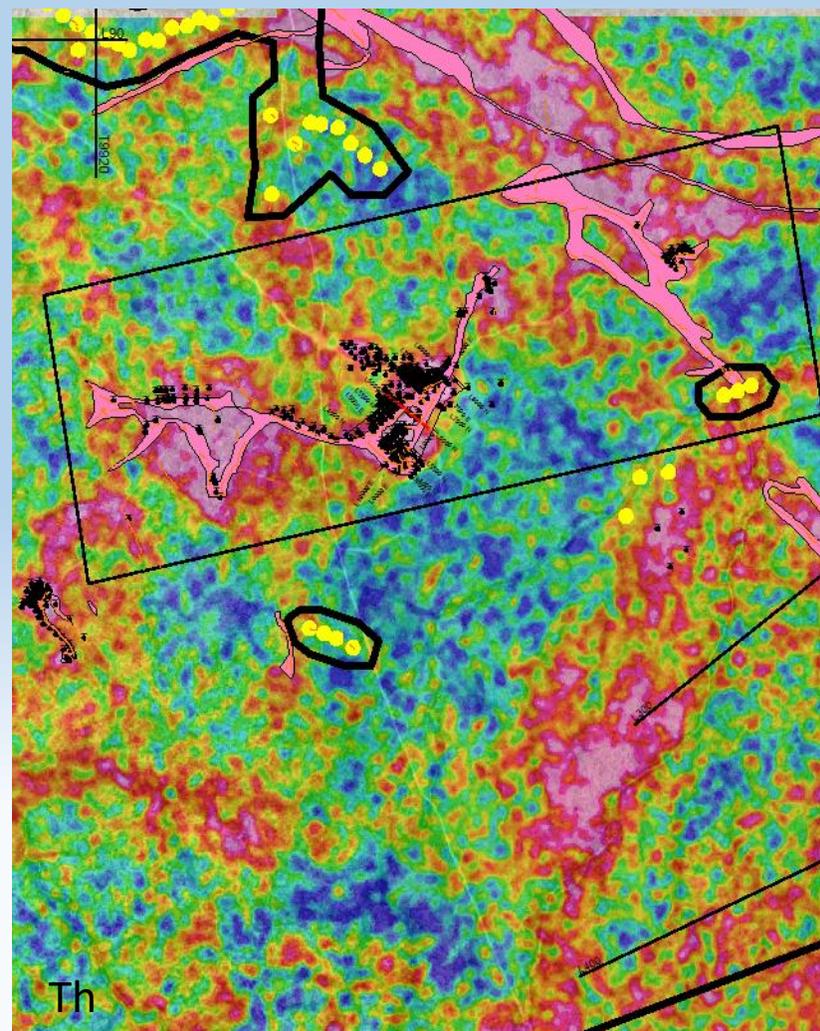
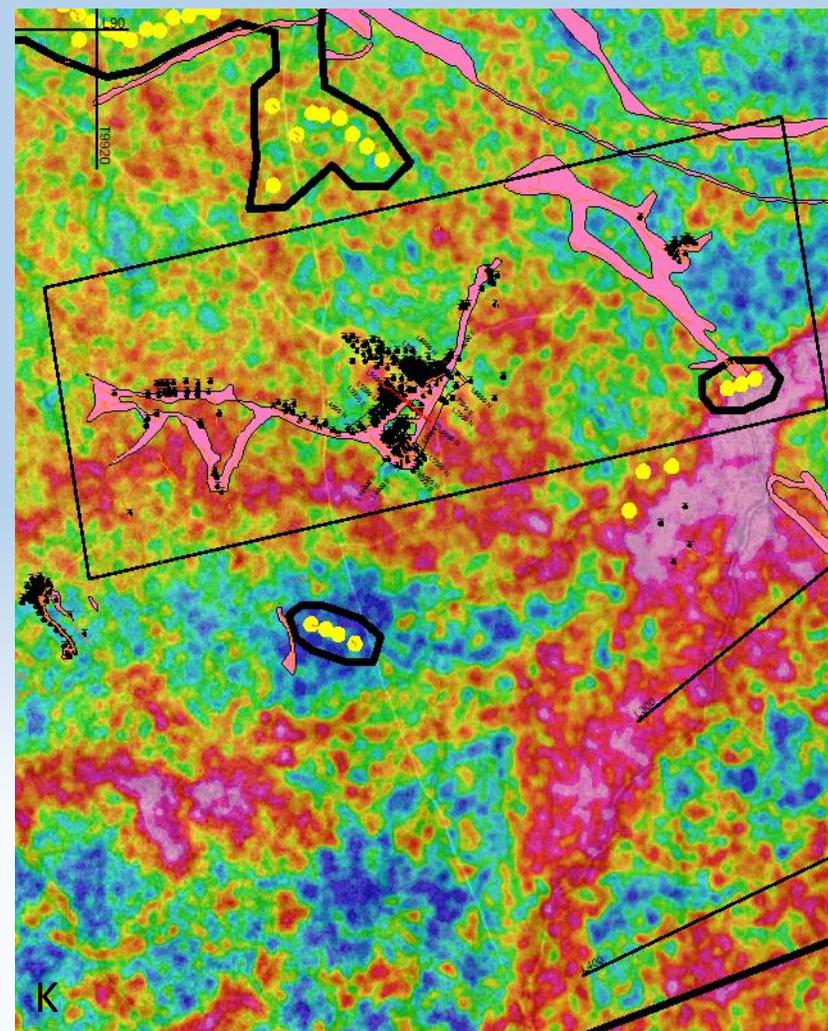


200 m line spacing radiometric survey data (Th)

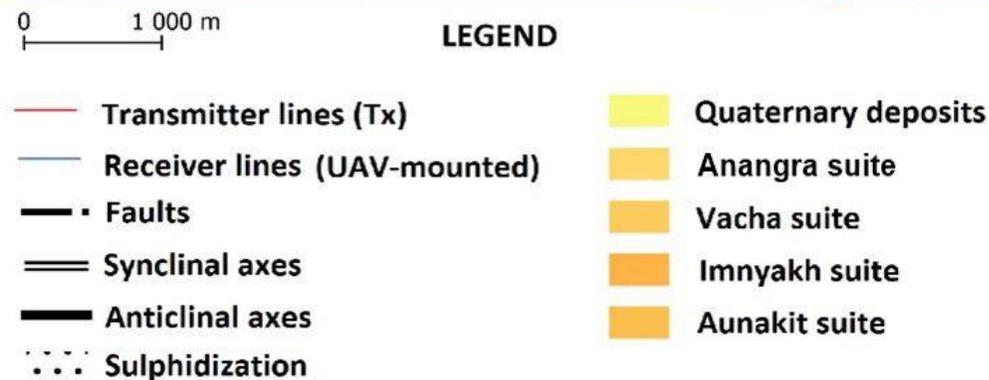
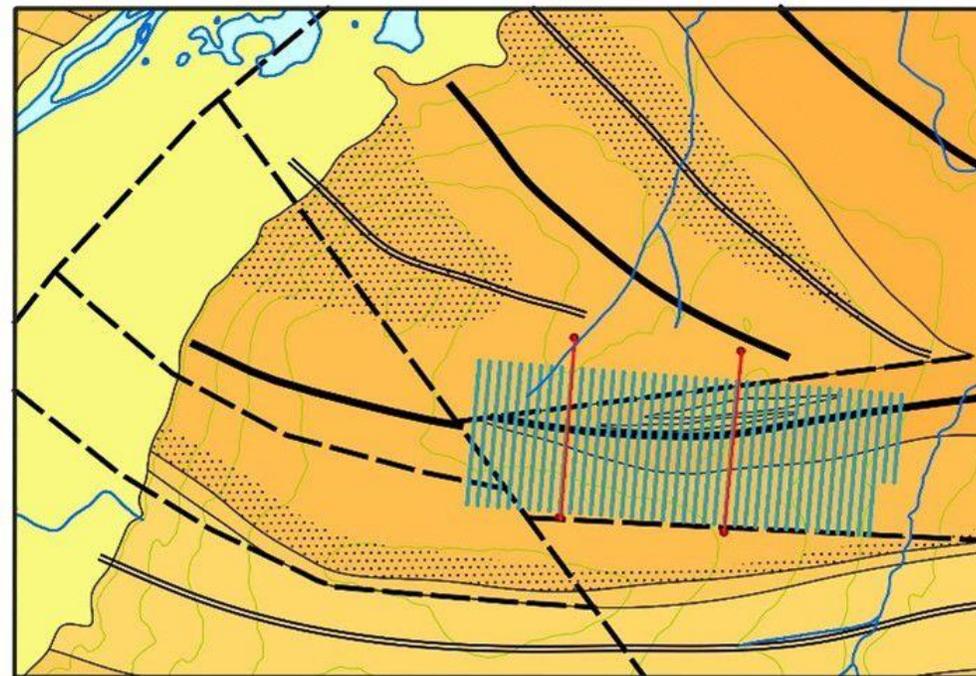
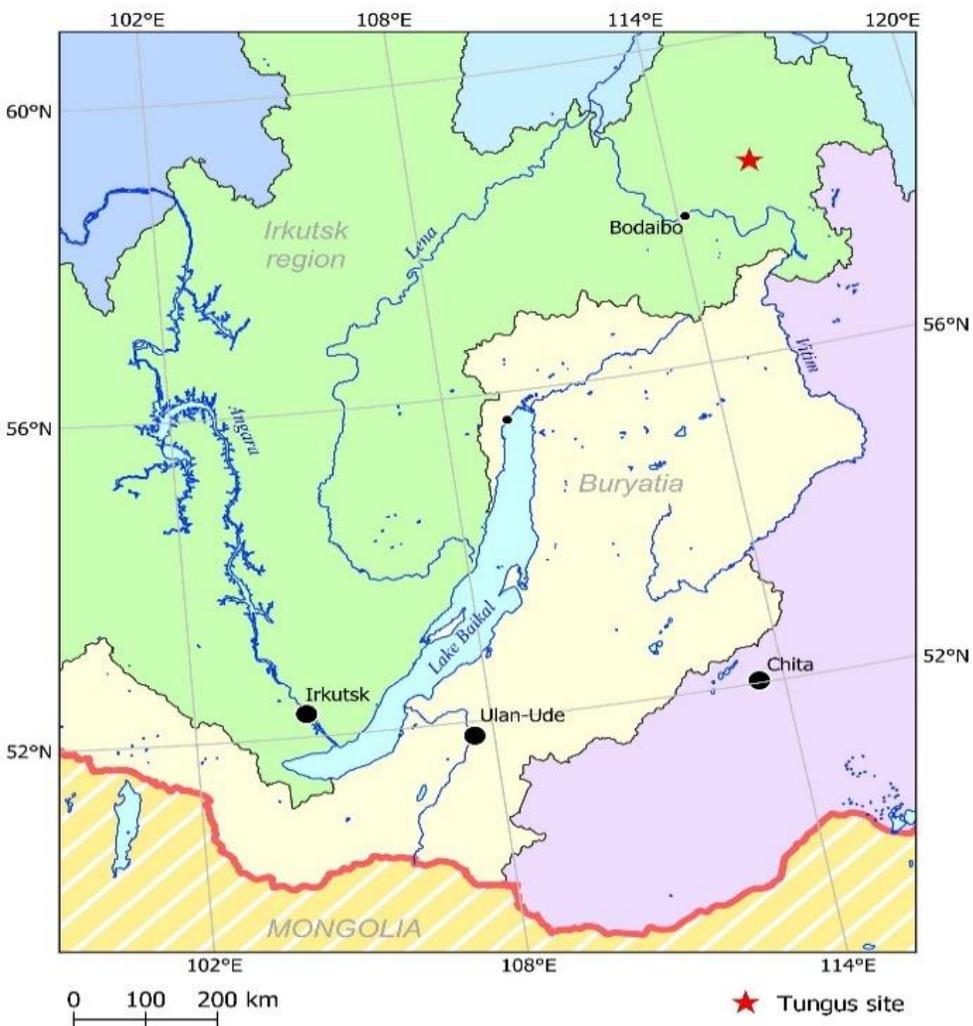


Drone-based high-resolution radiometric survey (Th)

Проявления редкоземельных элементов в окнах K, Th и U



Установка электроразведочного оборудования на БПЛА



Площадь сложена преимущественно рифейскими породами и имеет подтвержденные запасы в 20 Т Au (сульфидное золото). Площадь участка составляет 3.148 км².

Проведены работы методом переходных процессов с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА-МПП) с заземлённой питающей линией.

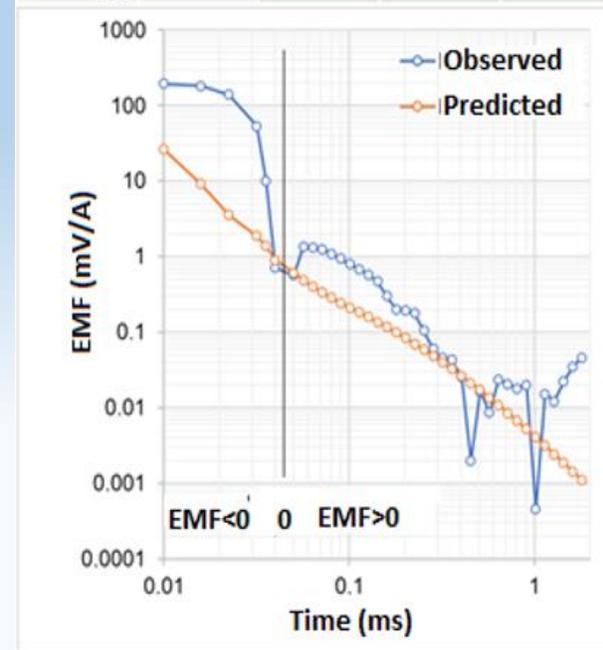
Установка электроразведочного оборудования на БПЛА



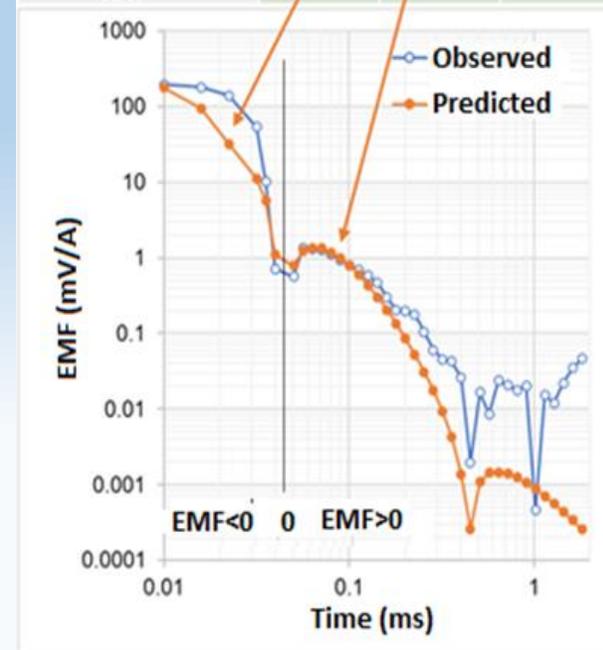
Gate	Start time (ms)	End time (ms)	Centre (ms)
1	0.01000	0.01697	0.01349
2	0.01587	0.02400	0.01994
3	0.02245	0.03394	0.02820
4	0.03175	0.03810	0.03493
5	0.03564	0.04276	0.03920
6	0.04000	0.05388	0.04694
7	0.05040	0.06048	0.05544
8	0.05657	0.06788	0.06223
9	0.06350	0.07620	0.06985
10	0.07127	0.08553	0.07840
11	0.08000	0.09600	0.08800
12	0.08980	0.10776	0.09878
13	0.10079	0.12095	0.11087
14	0.11314	0.13576	0.12445
15	0.12699	0.15239	0.13969
16	0.14254	0.17105	0.15680
17	0.16000	0.19200	0.17600
18	0.17959	0.21551	0.19755
19	0.20159	0.24190	0.22175
20	0.22627	0.27153	0.24890
21	0.25398	0.30478	0.27938
22	0.28509	0.34211	0.31360
23	0.32000	0.38400	0.35200
24	0.35919	0.43103	0.39511
25	0.40317	0.48381	0.44349
26	0.45255	0.54306	0.49781
27	0.50797	0.60956	0.55877
28	0.57018	0.68421	0.62720
29	0.64000	0.76800	0.70400
30	0.71838	0.86205	0.79022
31	0.80635	0.96762	0.88699
32	0.90510	1.08612	0.99561
33	1.01594	1.21912	1.11753
34	1.14035	1.36842	1.25439
35	1.28000	1.53600	1.40800
36	1.43675	1.72410	1.58043
37	1.61270	1.93524	1.77397
38	1.81019	2.17223	1.99121

Производился подбор данных с использованием программы MARS-1D с и без модели Cole-Cole

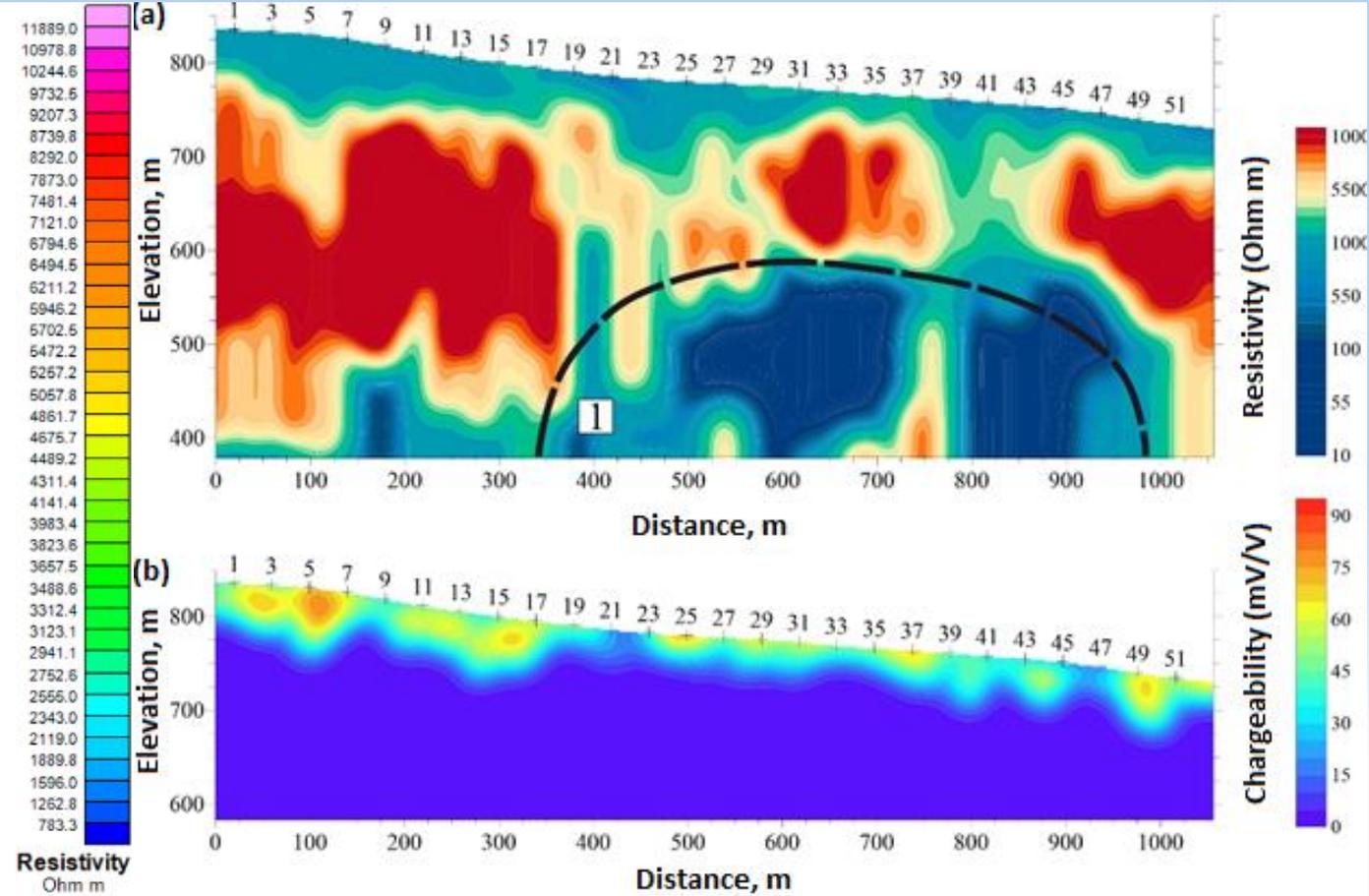
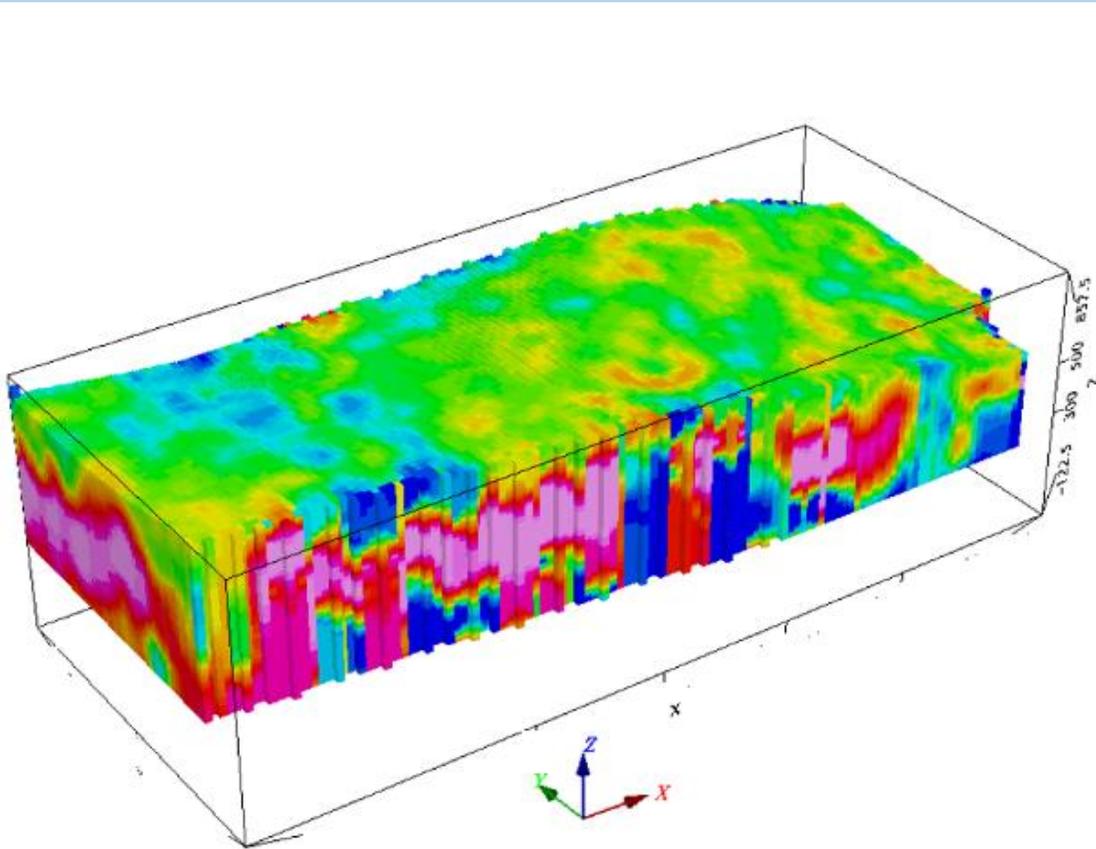
$\rho, \Omega \cdot m$	h, m	$\eta, \%$	τ, s	c
970	7	0.01	0.0001	0.5
770	9			
2000	90			
14000	233			
210	111			
620				



$\rho, \Omega \cdot m$	h, m	$\eta, \%$	τ, s	c
970	7	96	0.005	0.5
770	9	73	0.01	
2000	90	0.01	0.0001	
14000	233			
210	111			
620				



Результаты инверсий электроразведочных БПЛА данных

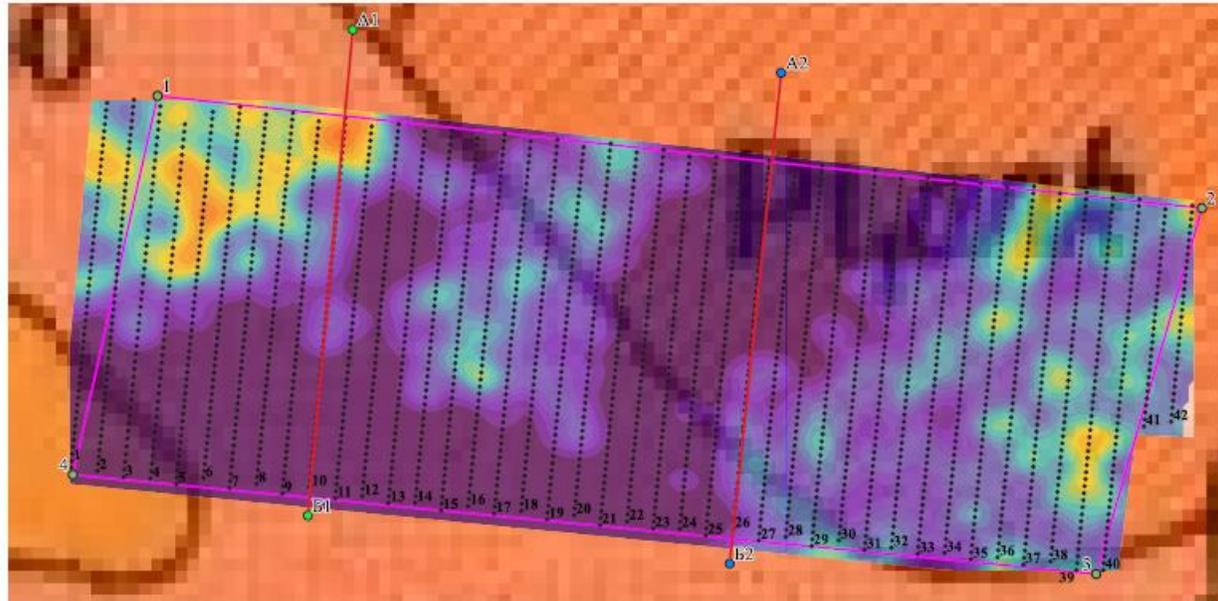


Результаты инверсий электроразведочных БПЛА данных

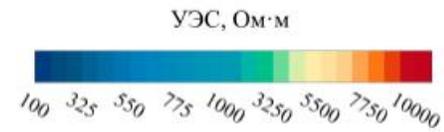
Карта поляризуемости с осреднением по абсолютным отметкам 600-700 м



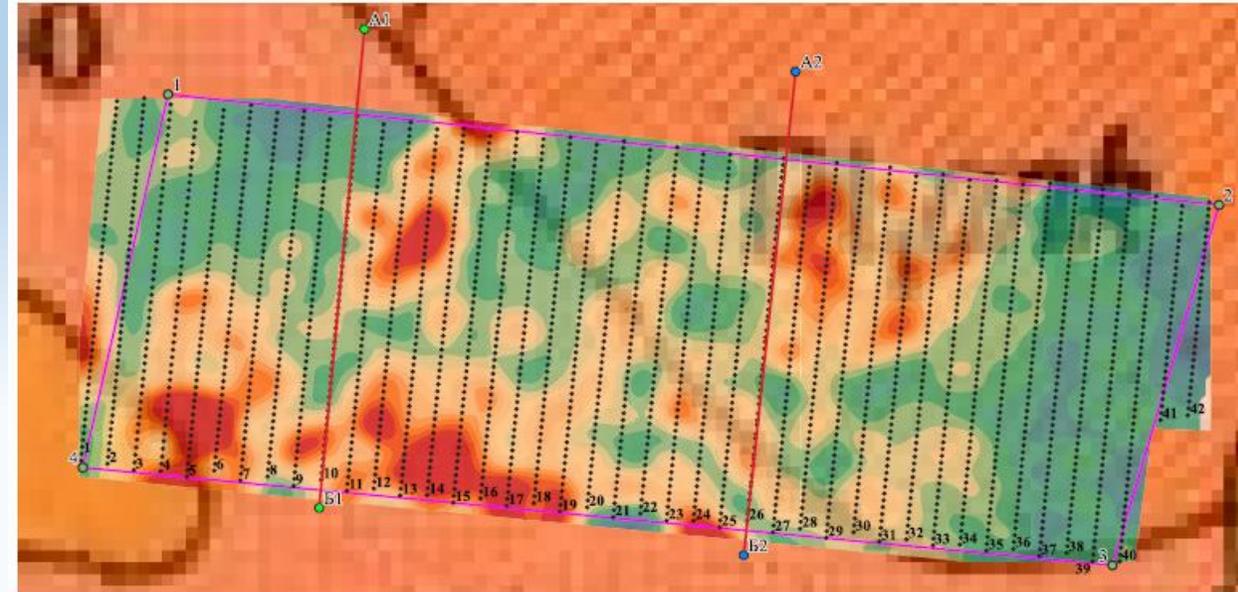
- Условные обозначения
- Граница участка
 - Питающие линии
 - Точки питающей линии А1Б1
 - Точки питающей линии А2Б2
 - Точки БПЛА-МПП



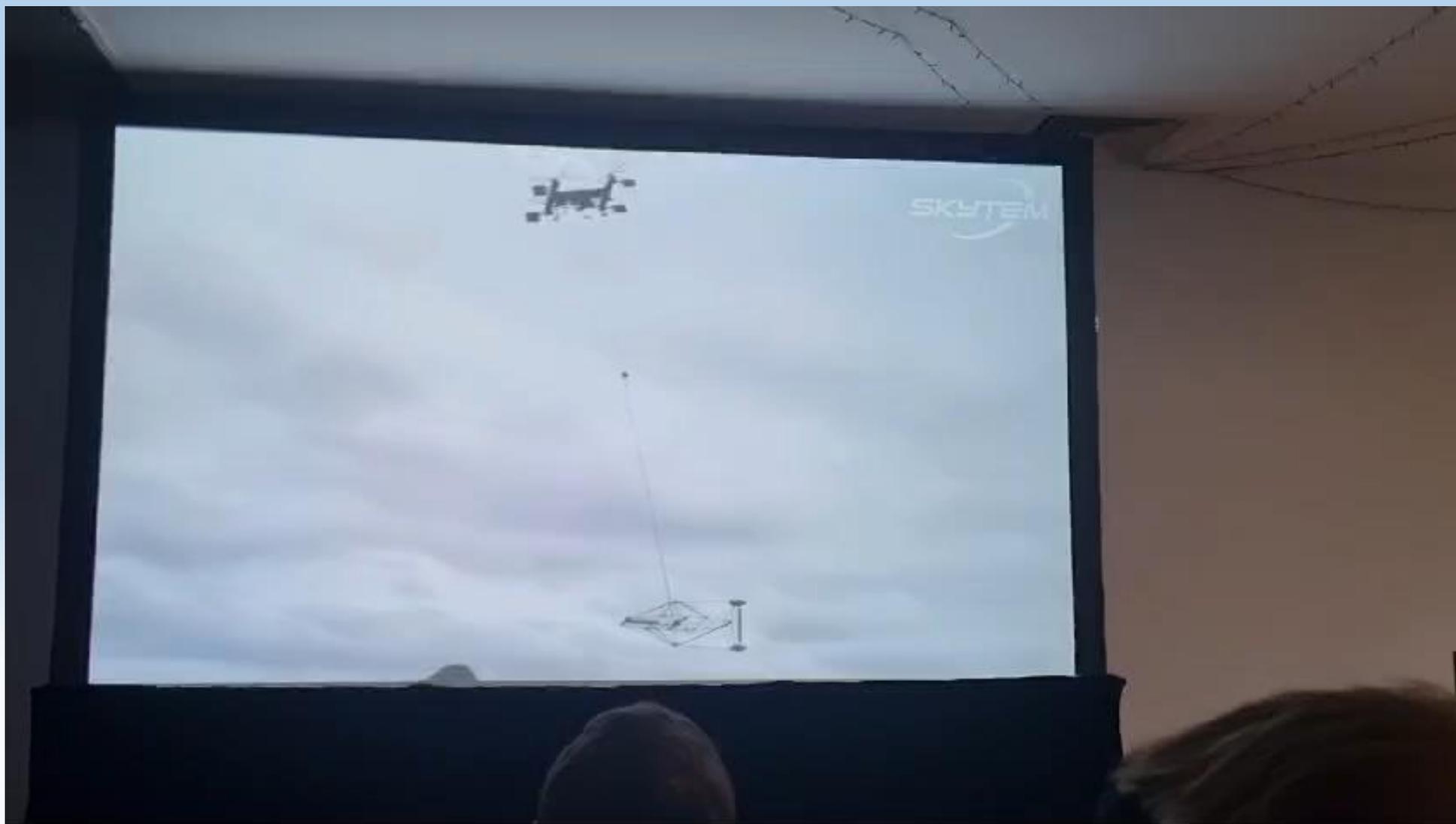
Карта УЭС с осреднением по абсолютным отметкам 600-700 м



- Условные обозначения
- Граница участка
 - Питающие линии
 - Точки питающей линии А1Б1
 - Точки питающей линии А2Б2
 - Точки БПЛА-МПП



Развитие электроразведки БПЛА за рубежом



Выводы

1. БПЛА технологии стремительно врываются в разведку ТПИ и становятся одним из основных типов геофизических технологий
2. В некоторых случаях БПЛА являются единственным применимым методом, позволяющим получить качественные интерпретируемые данные за разумное время
3. Интерпретационный аппарат в случае магнитометрии ничем не отличается от стандартного набора
4. Интерпретационный аппарат несколько отличается от стандартного (гамма-спектрометрия, электроразведка и дает толчок для развития ПО
5. Дополнительный толчок для развития БПЛА даст развитие ИИ и увеличения вычислительных мощностей, также важно увеличение грузоподъемности дронов