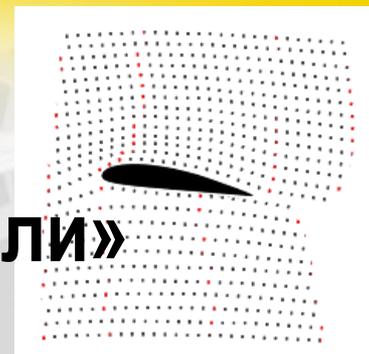
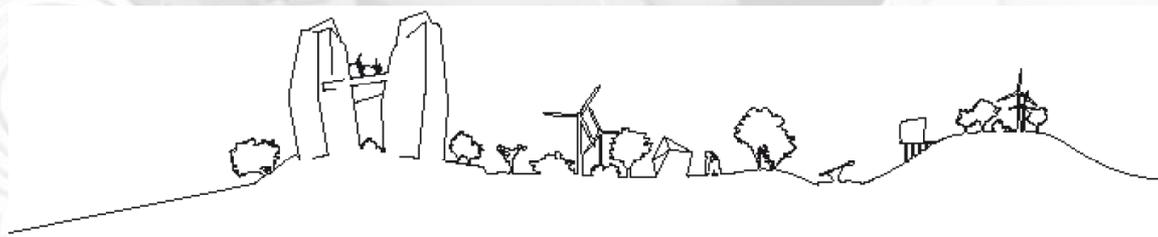


ДК «Аэронет», направление «Дистанционное зондирование Земли»



Проект «Аэрофотография»

Разработка и создание прорывного комплекса
для проведения геофизической разведки
с помощью БВС



АЭРОМАГНИТНЫЙ КОМПЛЕКС



Магнитометрический канал



Технические характеристики магнитометрического канала

Чувствительность,
не менее:

± 0.03 нТл

$\pm 0,2$ нТл

Уровень
магнитных шумов
системы на
носителе, не
более

Динамический
диапазон
измерений:

20 000 –
100 000 нТл

1500-3000

Гц

Частота
дискретизации

Преимущества

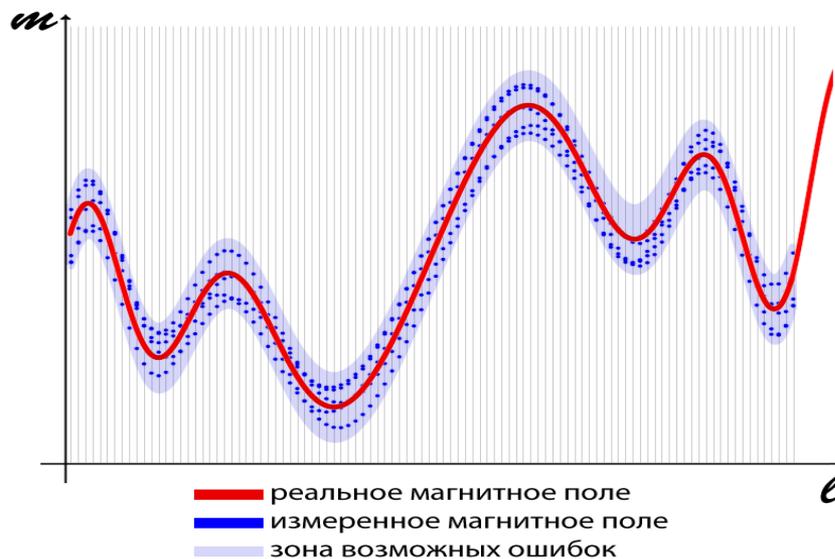
Действующая система повышает производительность магнитометрической съёмки, снижая её себестоимость, и позволяет выполнять съёмку практически любого масштаба в труднодоступных условиях при отсутствии какой-либо инфраструктуры

Высокоточный и высокочастотный магнитометр, сравнение

Сравнение индукции магнитного поля «реального» и наблюдаемого высокоточным магнитометром по 8-и точкам



Сравнение индукции магнитного поля «реального» и наблюдаемого менее точным, высокочастотным магнитометром по 100 точкам



Минимальный размер определяемого объекта



АЭРО

$$L_{\min} = 10^{-1} \text{с} * 50 \text{ м/с} = 500 \text{ см}$$



НАЗЕМНАЯ

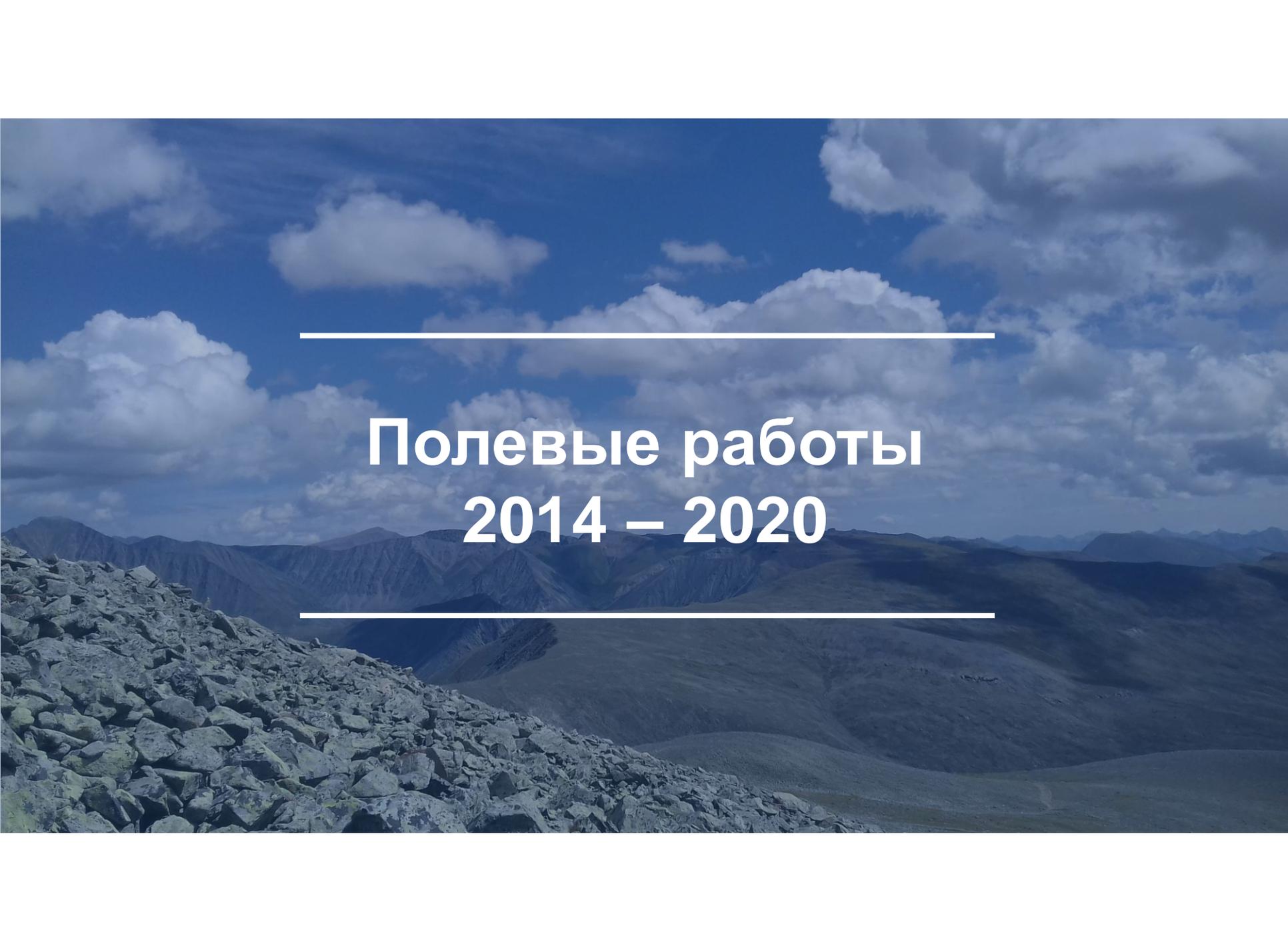
$$L_{\min} = 10^{-1} \text{с} * 1 \text{ м/с} = 10 \text{ см}$$



БПЛА

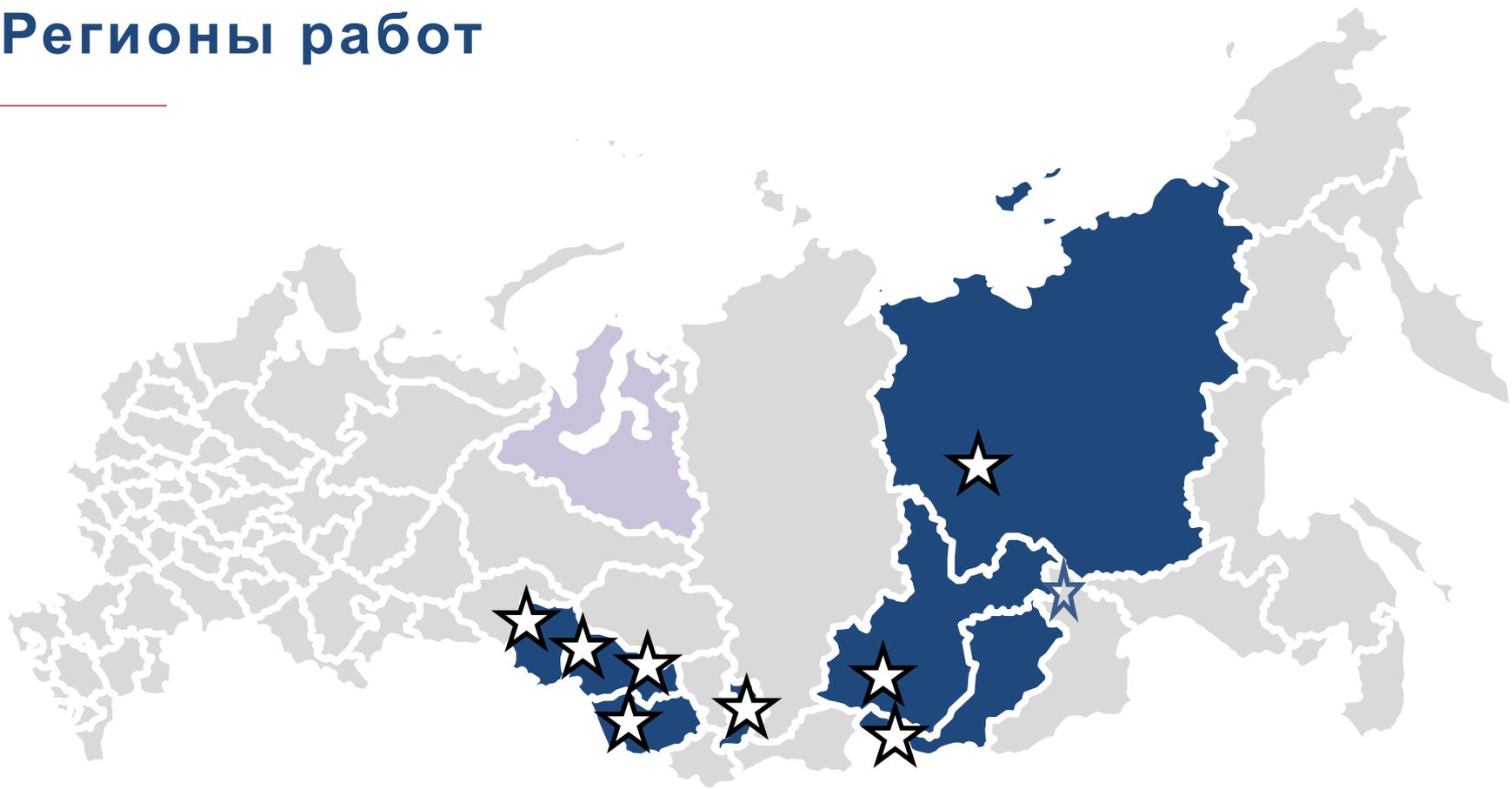
$$L_{\min} = 10^{-3} \text{с} * 10 \text{ м/с} = 1 \text{ см}$$





**Полевые работы
2014 – 2020**

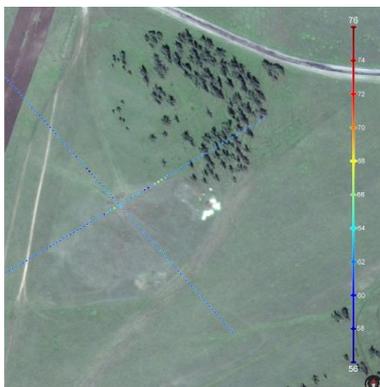
Регионы работ



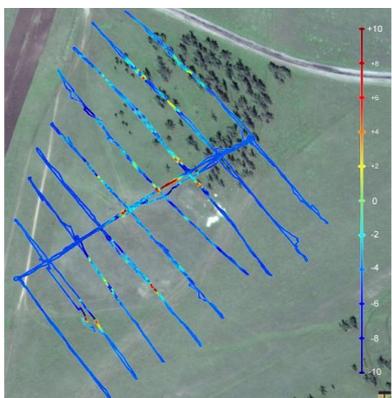
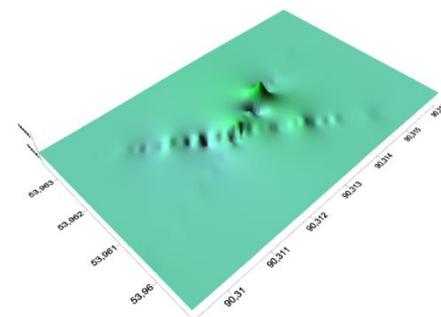
Республика Хакасия

Съемка площади Ербинского некка (U-TR)

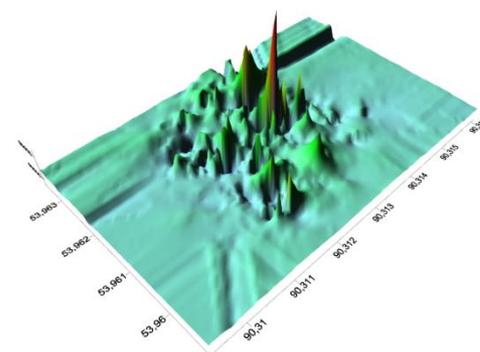
3D карта магнитного поля Ербинского некка (U-TR)



Протонный магнитометр (стандартная наземная съемка)

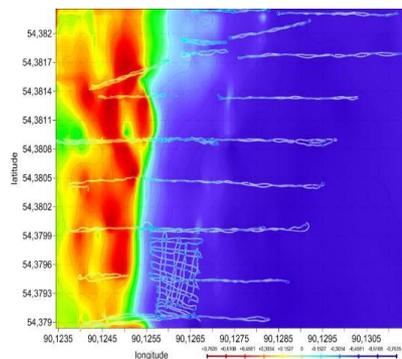


Высокочастотный феррозондовый магнитометр на БПЛА (низковисотная съемка на БПЛА)



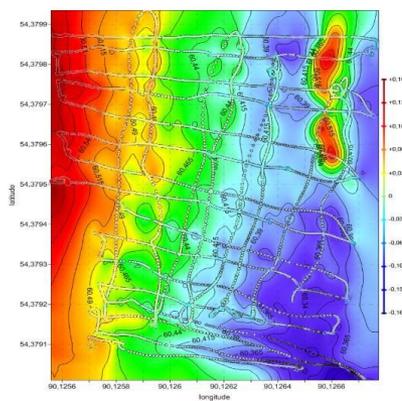
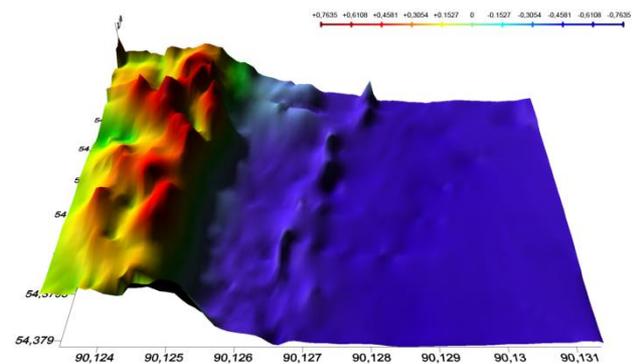
Республика Хакасия

Карта индукции магнитного поля Алексеевского
Cu-Mo месторождения (стандартная обработка)

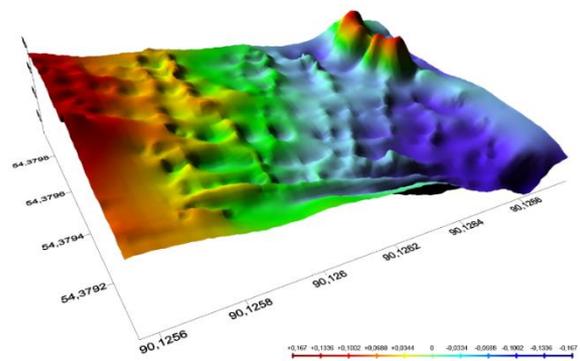


**Всё
месторождение**

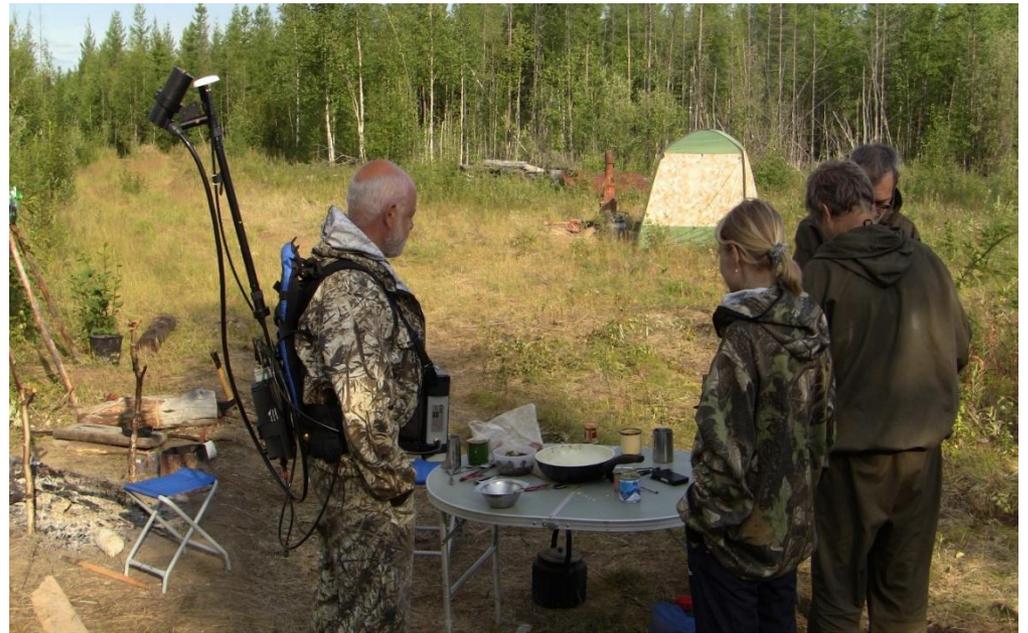
3D карта индукции магнитного поля



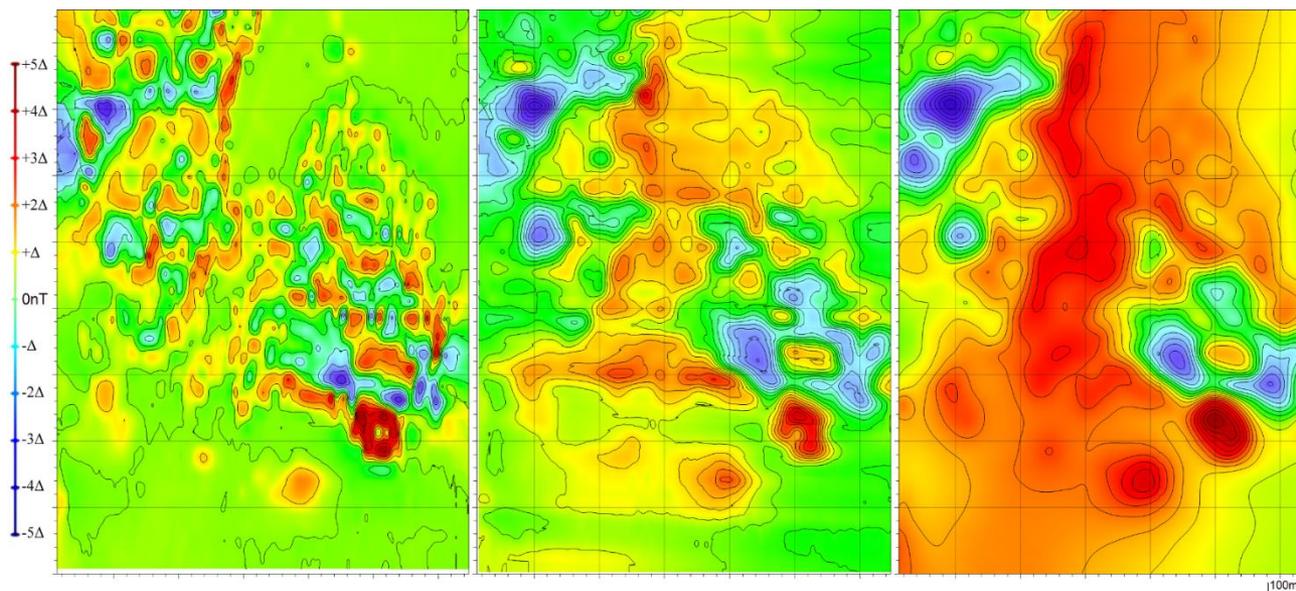
**Детальный
участок**



Республика Якутия, ПАО «АЛРОСА»



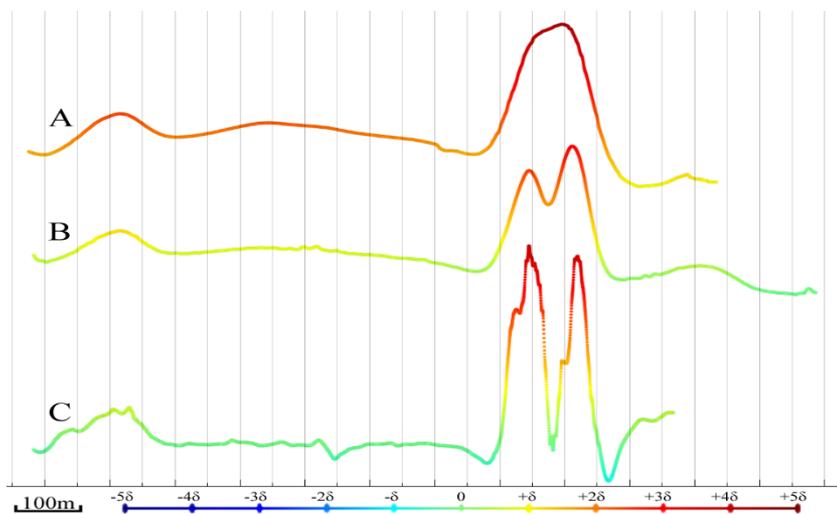
Полигон ПАО «АЛРОСА», 2015 год



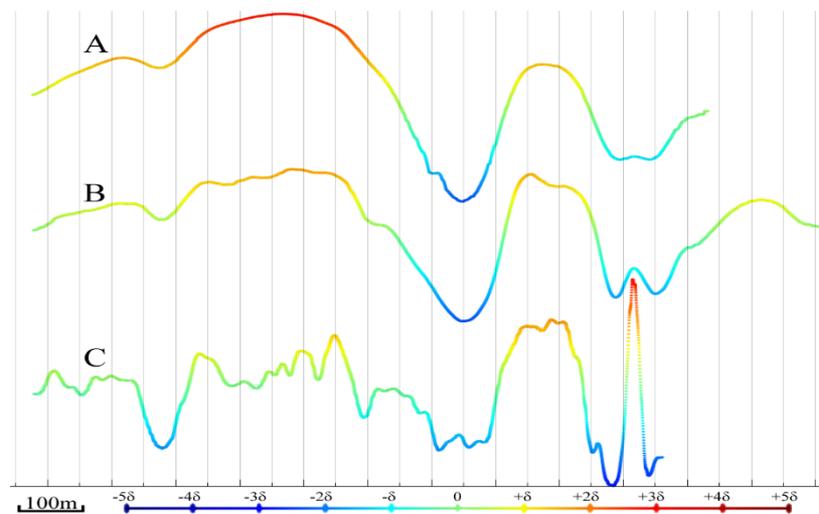
Сравнение аномальной индукции магнитного поля, полученного разными способами: наземная съёмка (слева), съёмка на БПЛА (центр), аэросъёмка (справа)

Аномальная магнитная индукция, АПРОСА 2015

профиль 9



профиль 14



А – наземная съёмка, В – съёмка с БПЛА, С – аэросъёмка

Низковысотная съёмка хорошо отображает геологические структуры и позволяет выявлять артефакты (крайняя правая аномалия ПР14).

Республика Бурятия, ПАО «Бурятзолото»



Месторождение Au «Гранитное», В. Саян, 2017 год

Работы проводились в условиях резко-расчлененного высокогорного рельефа на территории практически однородной по магнитной индукции. В результате в поле однородных высокометаморфизованных пород, выделены зоны окolorудного метасоматоза северо-западного простирания с аномалиями от 0,5 до 1,5 нТл. Выявлена новая рудная зона, подтвержденная методами электротомографии и бурением. Определены глубины залегания верхней кромки слепых тел, их мощность и элементы залегания. Работы подобного типа не могли быть проведены ни с помощью наземных методов, из-за сложности рельефа, ни с помощью стандартной аэромагнитной съёмки из-за очень слабых малоконтрастных аномальных полей.

1:1000
(1:5000)

Масштаб съёмки

~ 300

пог. км.

Объем работ

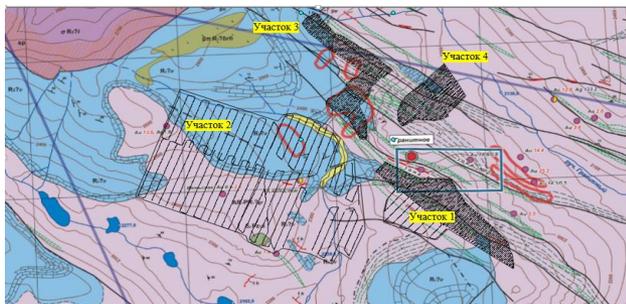
3

Число
уровней

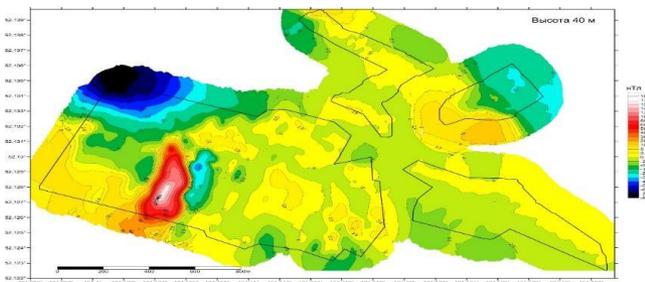
30-40-60 м

Высота съёмки

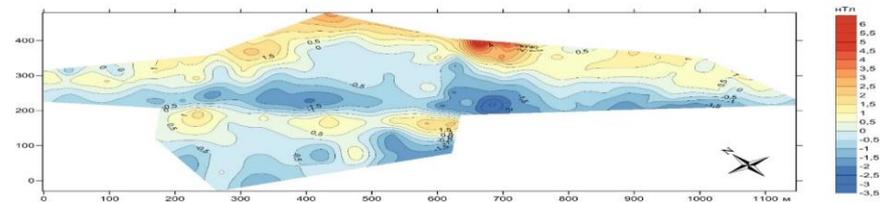
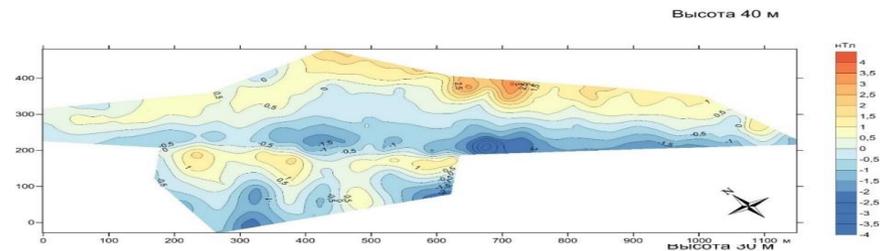
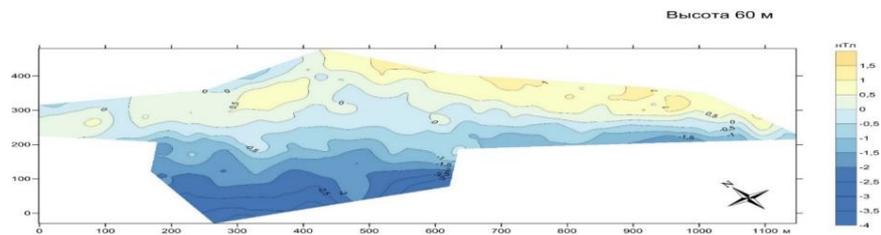
Республика Бурятия, ПАО «Бурятзолото»



Геологическая карта Левосамартинского золоторудного поля м-ба 1:10000, с нанесенными контурами участков аэромагнитной съёмки и профилями полетов



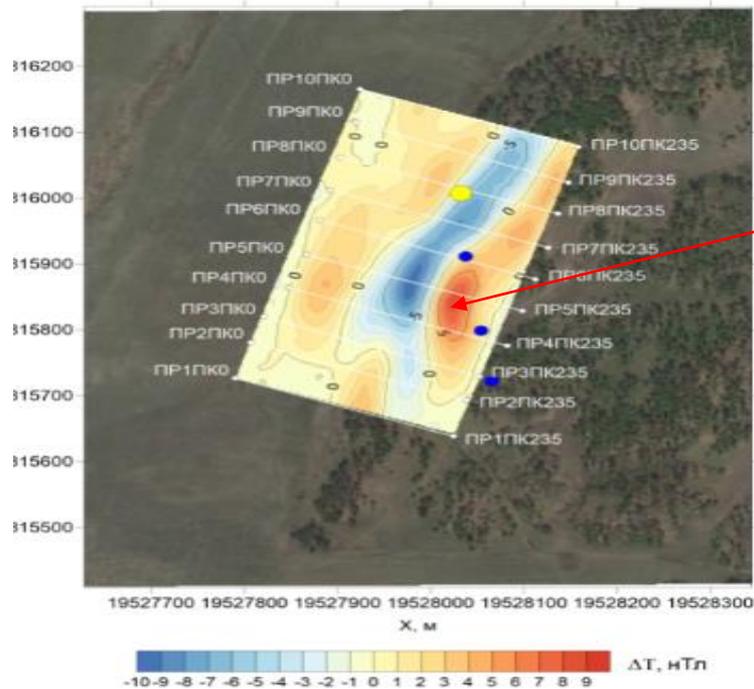
Карта аномальной магнитной индукции масштаба 1:10000, с нанесенными контурами участков аэромагнитной съёмки



Карты магнитной индукции на участке № 1 на трёх уровнях съёмки. На уровнях съёмки +40м и +30м выделяется слабо магнитная малоамплитудная аномалия, связанная с «новой» слепой зоной милонитизации и расщелчевания

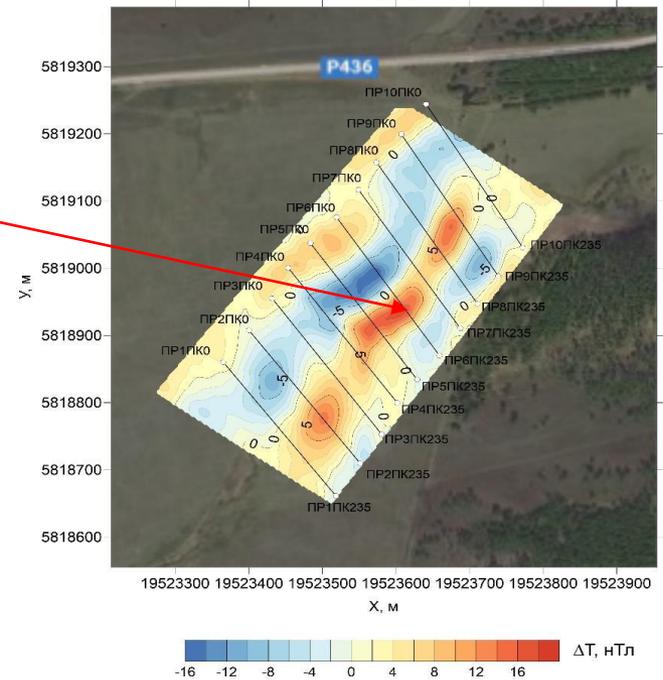
Поиск россыпных месторождений Au, Бурятия

Иренга



Au-носные пески

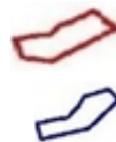
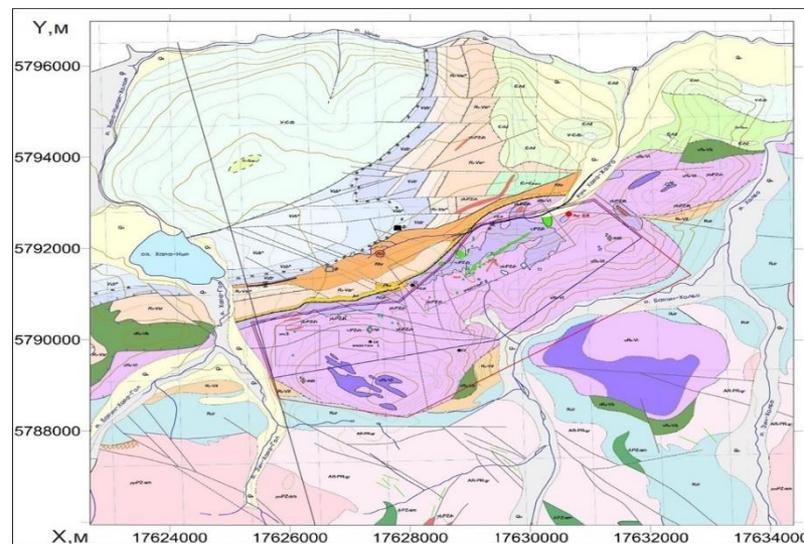
Урудол



Офиолитовый массив. Поиск нефритов. В Саян

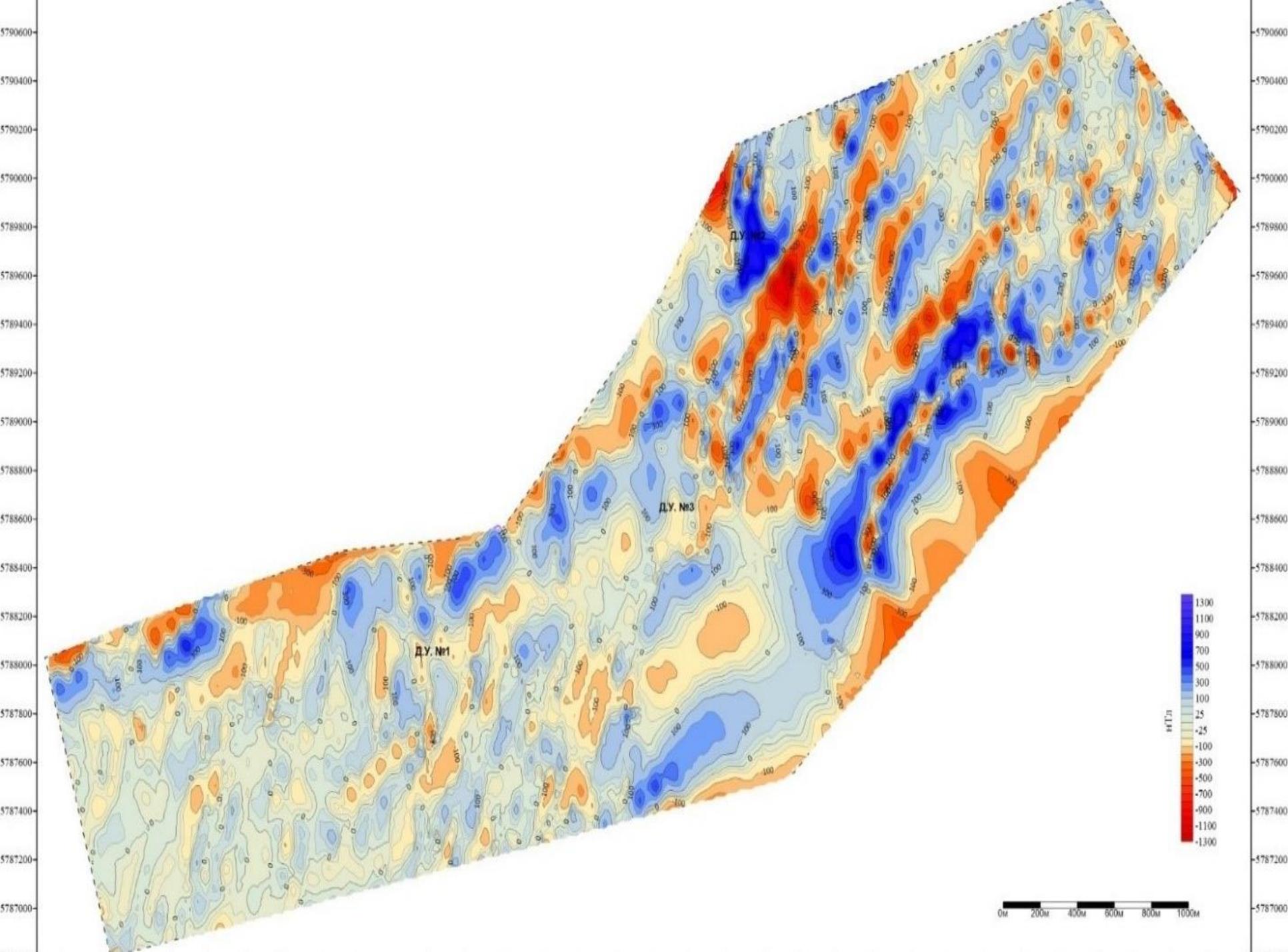
Фрагмент геологической карты междуречья Урик-Холбо
(масштаб 1:25 000)

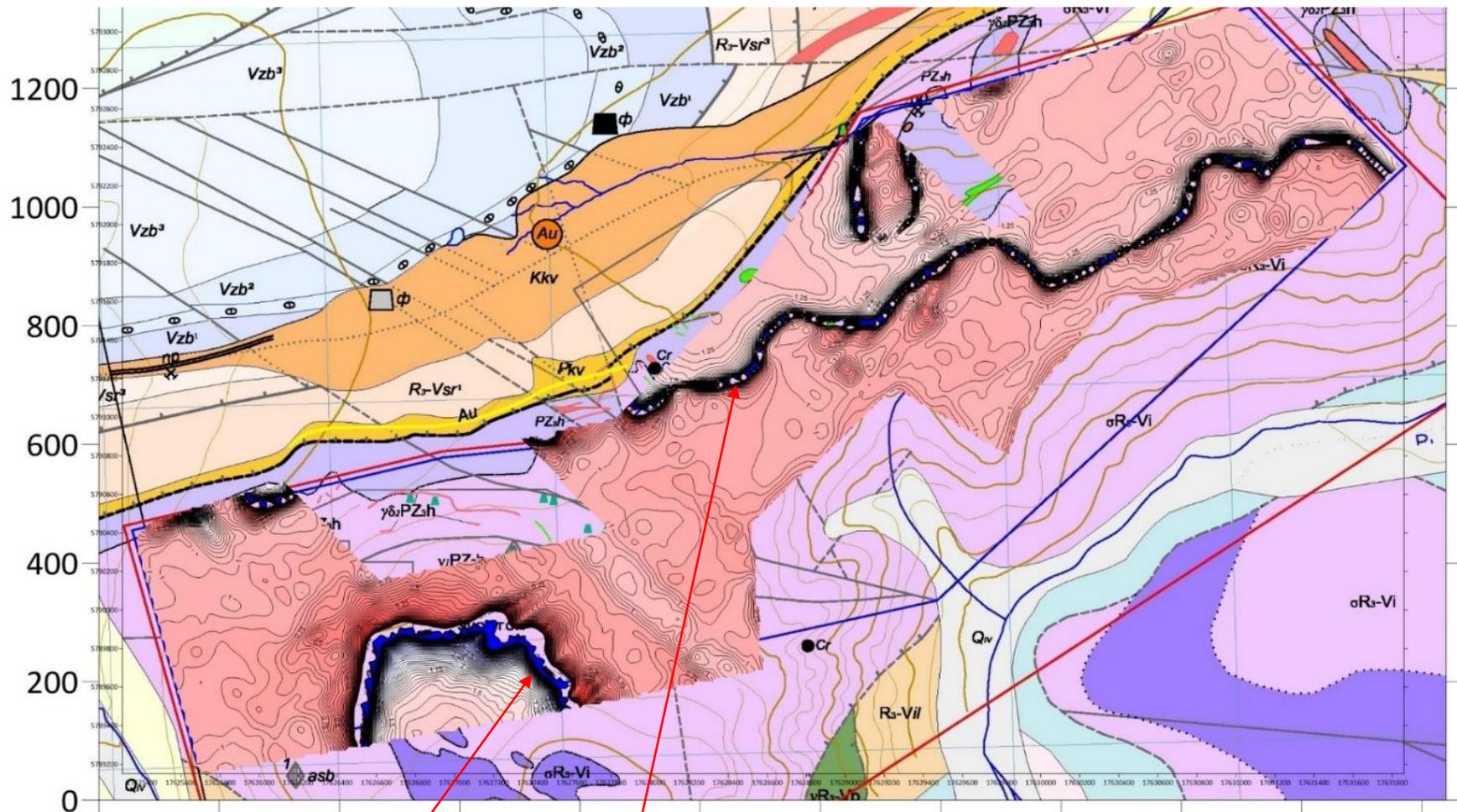
Геологические объекты



Контур лицензии УДЭ 01721 ТР

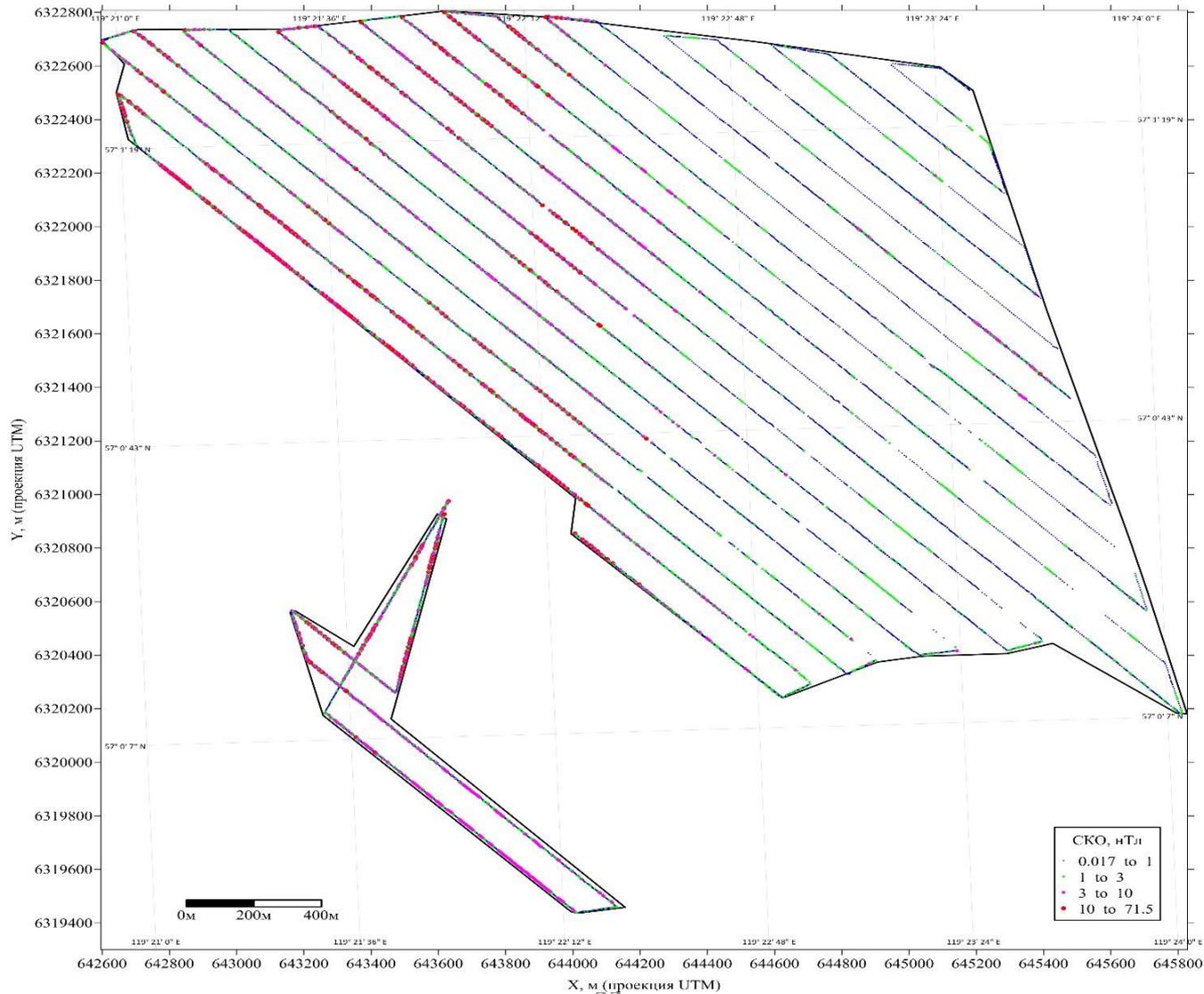
Участок проведения аэрогеофизических работ (М1:10 000)



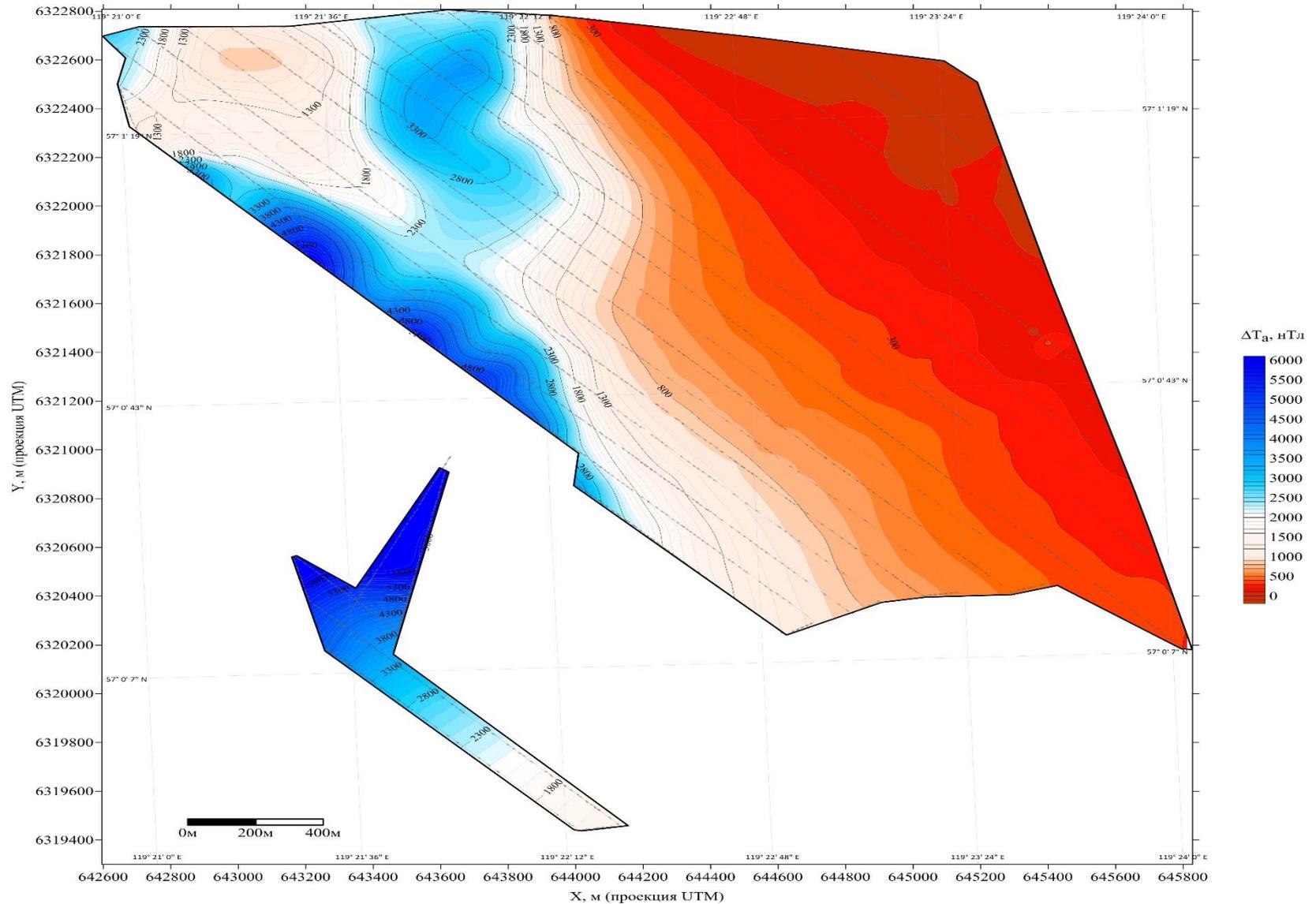


Нефритоносные зоны, отмеченные высоким градиентом магнитной индукции

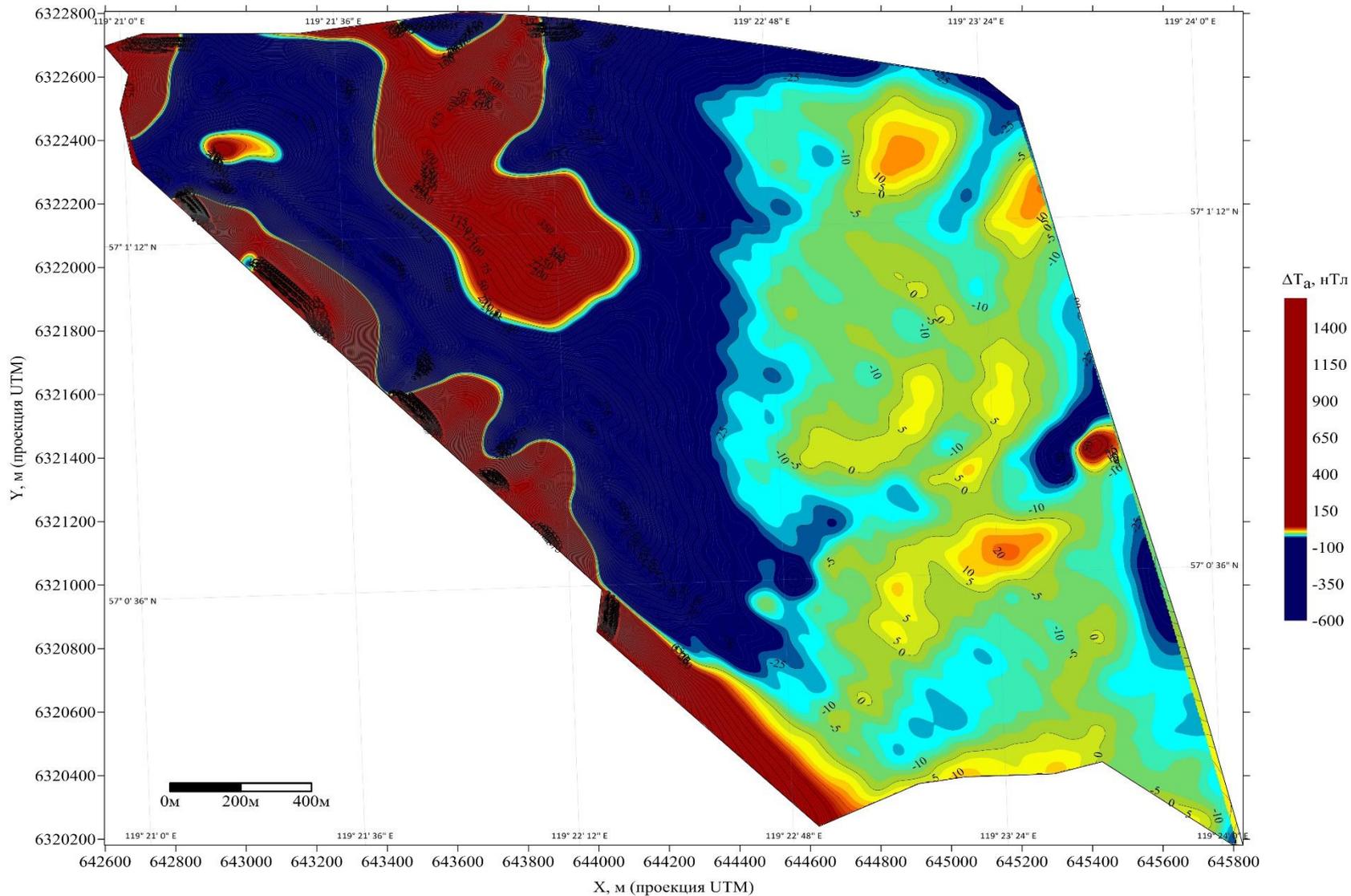
Карта полетов: СКО магнитной индукции (восток)



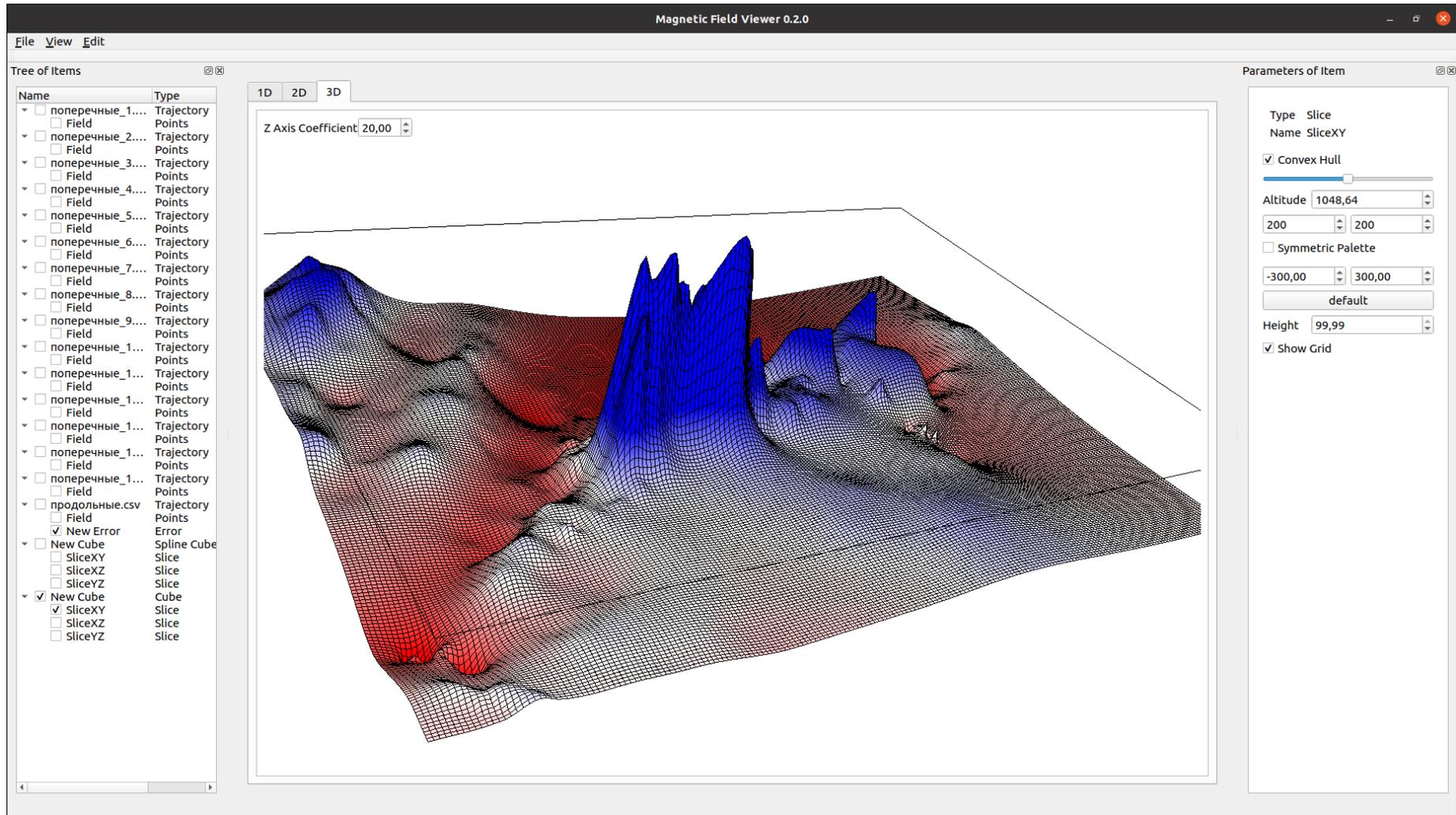
Карта магнитной индукции (восток)



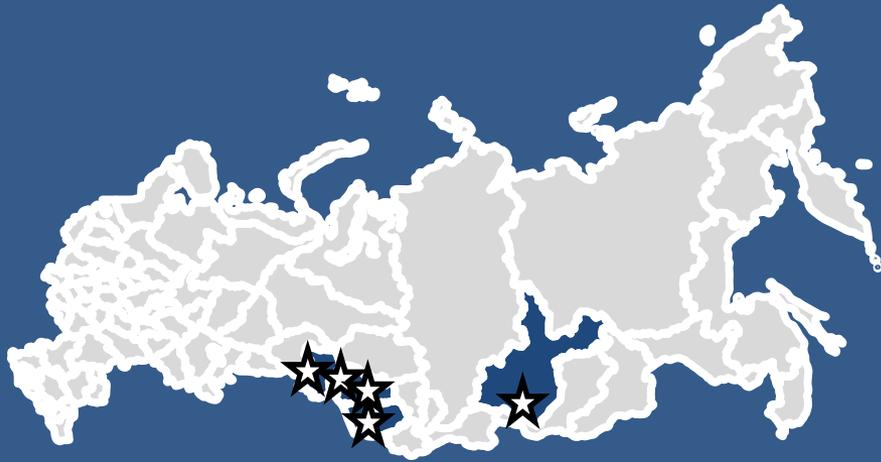
Карта магнитной индукции (восток), детализированный масштаб



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ (3.5 МЛН. ИЗМЕРЕНИЙ)



Археологические исследования



Исследование подповерхностных мелкоразмерных объектов с малой намагниченностью

Многочисленные работы по поискам археологических объектов на территории Алтайского края, Новосибирской и Омской областей показали их высокую эффективность. Карты аномальной магнитной индукции, полученные с помощью высокочастотного высокоточного аэромагнитного комплекса, сравнимы, а в некоторых случаях оказывались и более точными, чем карты, полученные наземными измерениями. Выявлено множество ранее неизвестных археологических объектов. Объектами поисков являлись: следы обожжённой глины, керамика, нарушение (инверсия) почвенного слоя, слепые правильные сооружения из камней, иногда наличие металлических предметов.

Иркутская область



Аэромагнитная съёмка археологических объектов на участке Барун-Хал

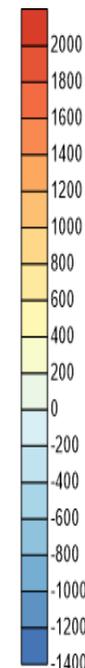
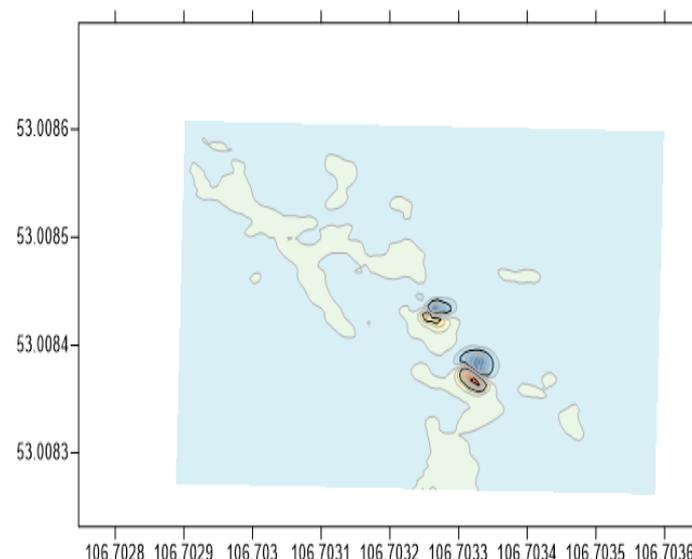
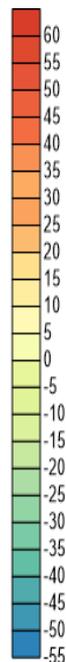
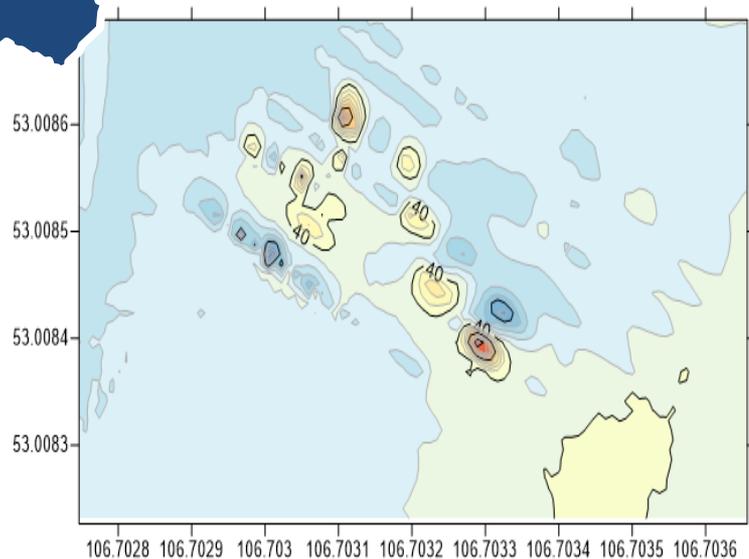


Эталонные археологические объекты:
железновосстановительные горны (без
остатков железа)
I век до нашей эры

Иркутская область



Сравнение карт аномальной магнитной индукции от археологических объектов на участке Барун-Хал



Съемка высокочастотным магнитометром на БПЛА, высота измерений Н = 3м

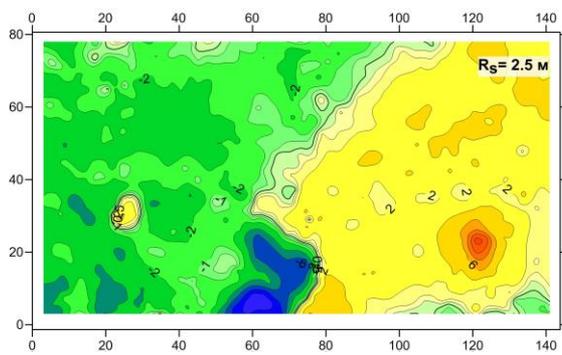
Пешеходная съёмка

Новосибирская область

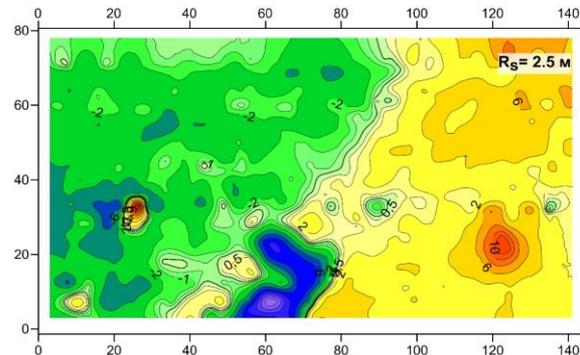


Археологический объект Пичуги

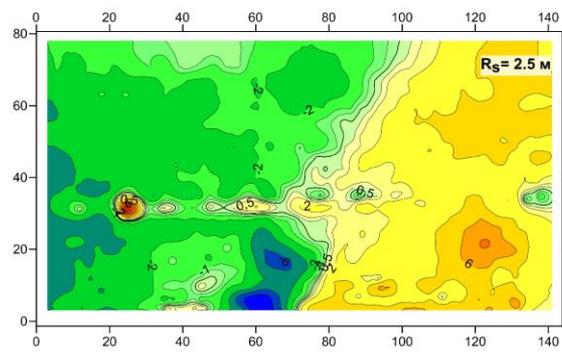
В результате работ выявлены две аномалии: западная вызвана подповерхностным железным предметом и является современным артефактом от грабительских раскопок, восточная аномалия вызвана объектом из обожжённой глины и является остатком невыраженного в рельефе распаханного кургана. В центре участка цепочка слабомагнитных аномалий трассирует заброшенную дорогу, не выраженную на поверхности.



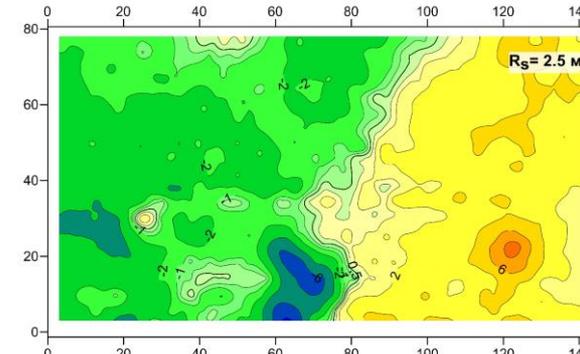
Высота съёмки 2 м



Высота съёмки 3 м



Высота съёмки 4 м



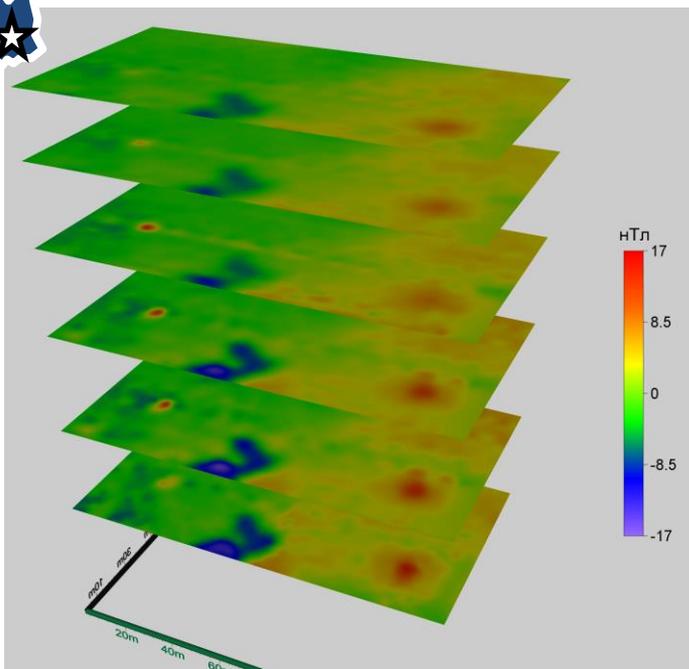
Высота съёмки 5 м



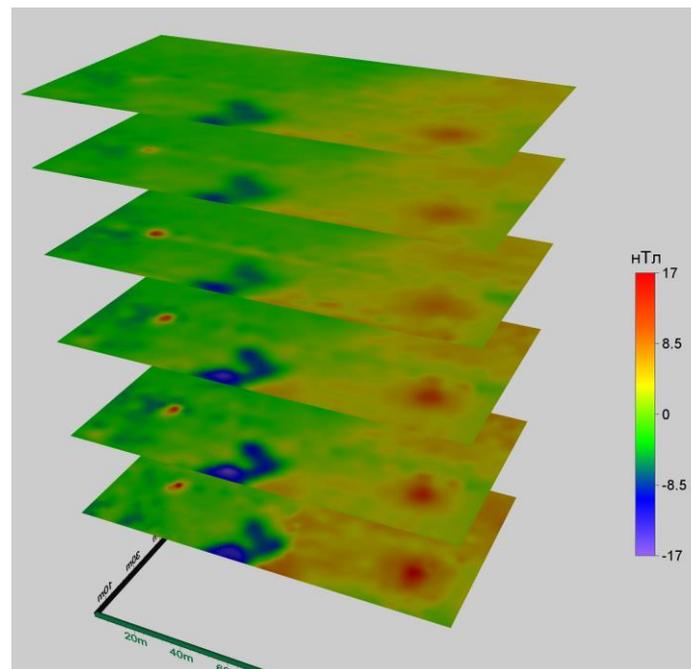
Новосибирская область



Археологический объект Пичуги



Верхнее полупространство интерполяция



Верхнее полупространство томографическая коррекция

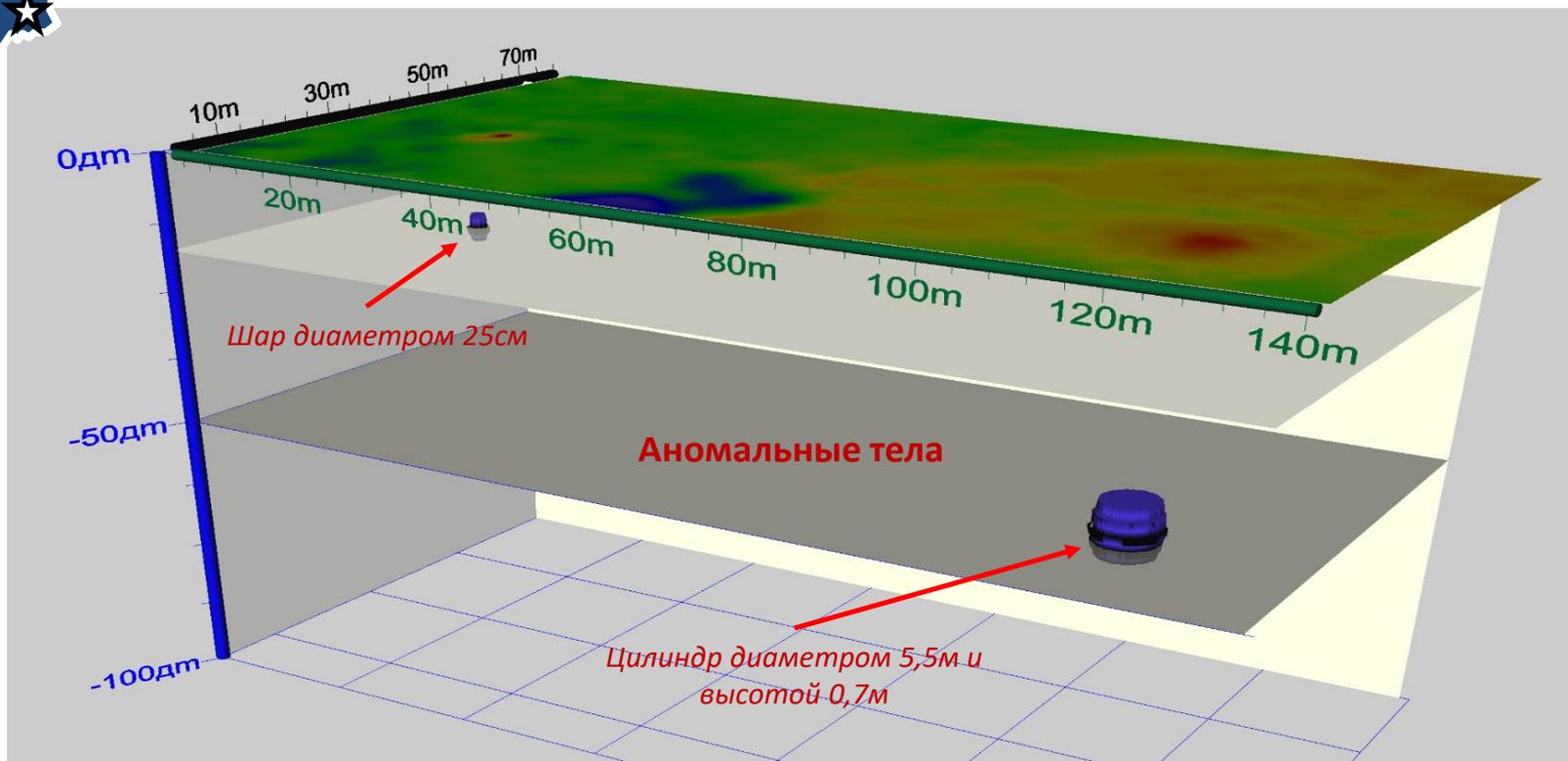
Новосибирская область

Новопичуги-2, нижнее полупространство



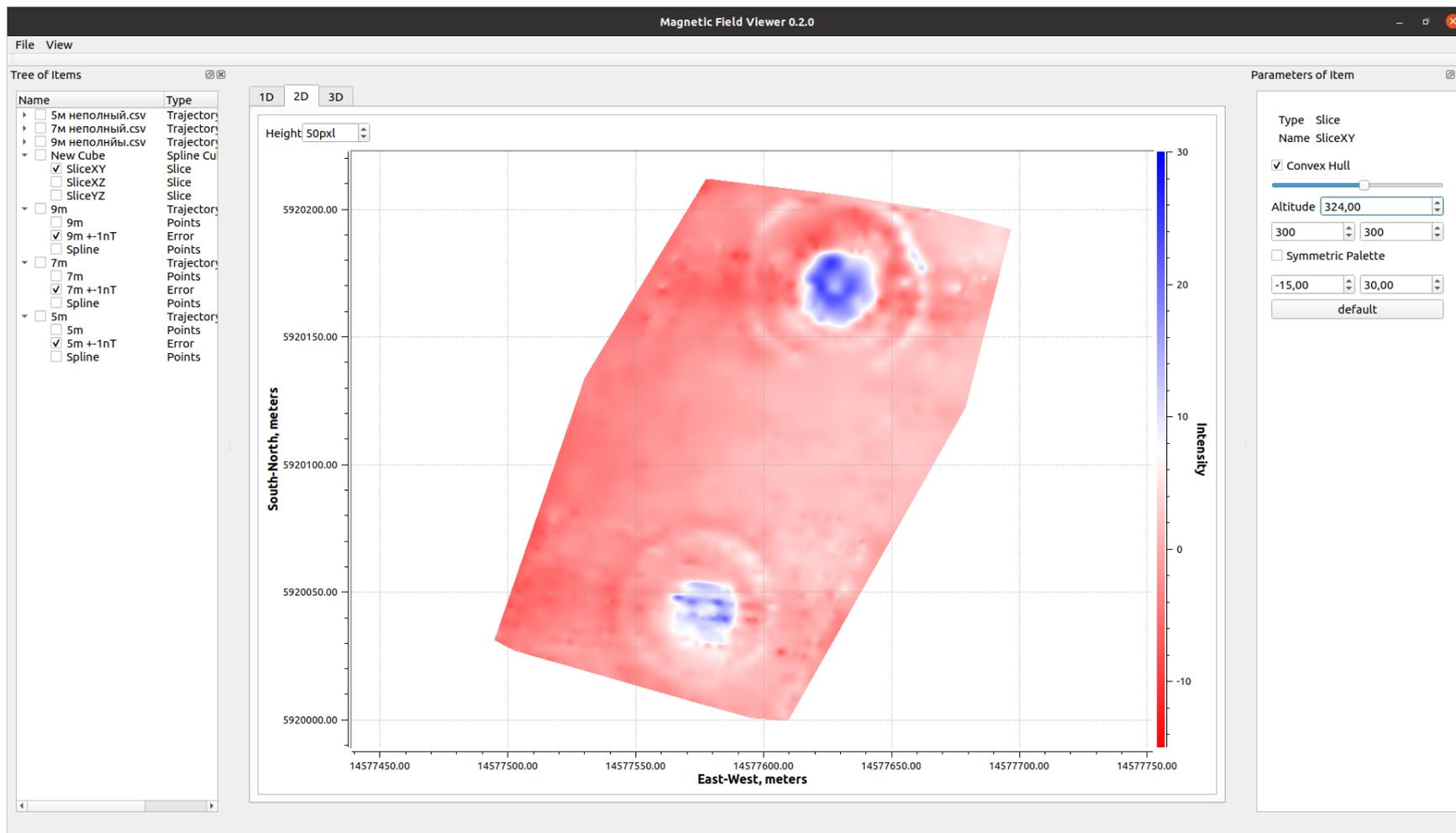
ЭКСПРЕСС ГЕОМАГНИТНАЯ ТОМОГРАФИЯ

НИЖНЕЕ ПОЛУПРОСТРАНСТВО

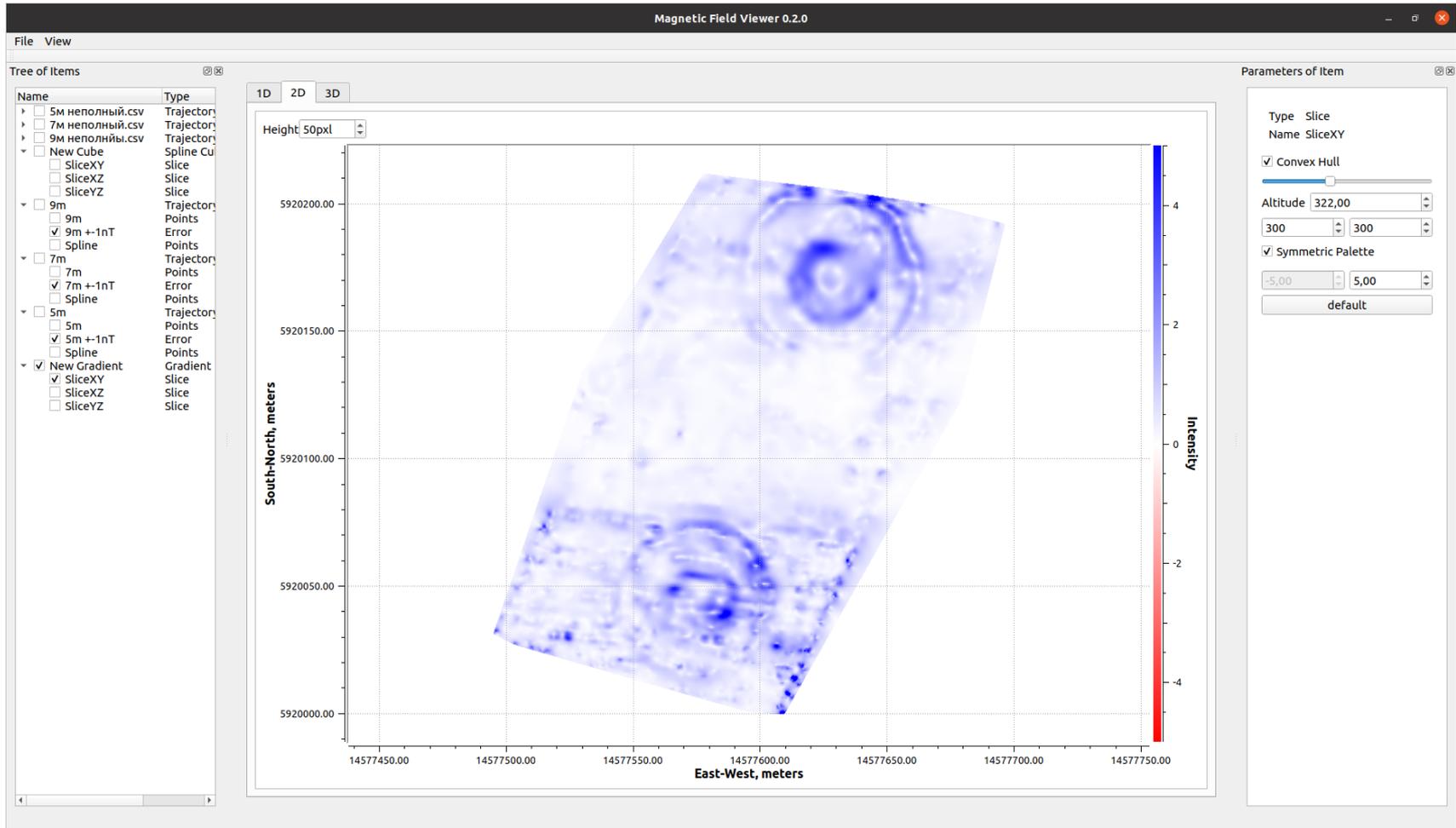


Магнитная индукция ($\pm 1\text{нТ}$)

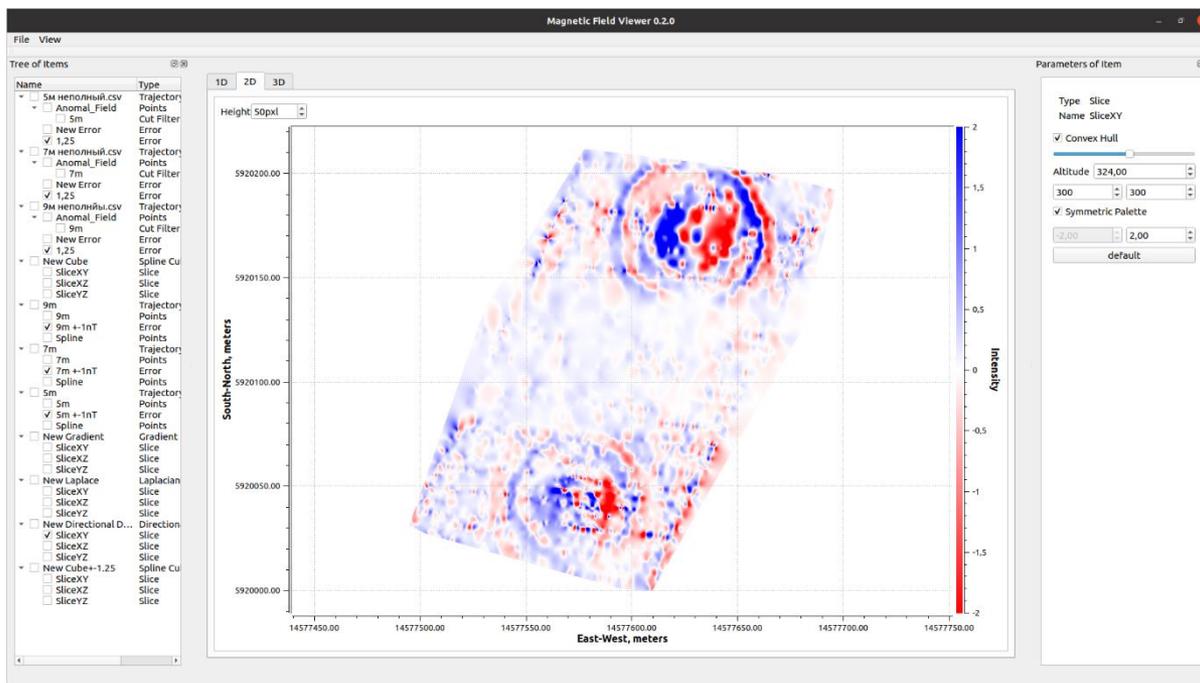
высота 7 м



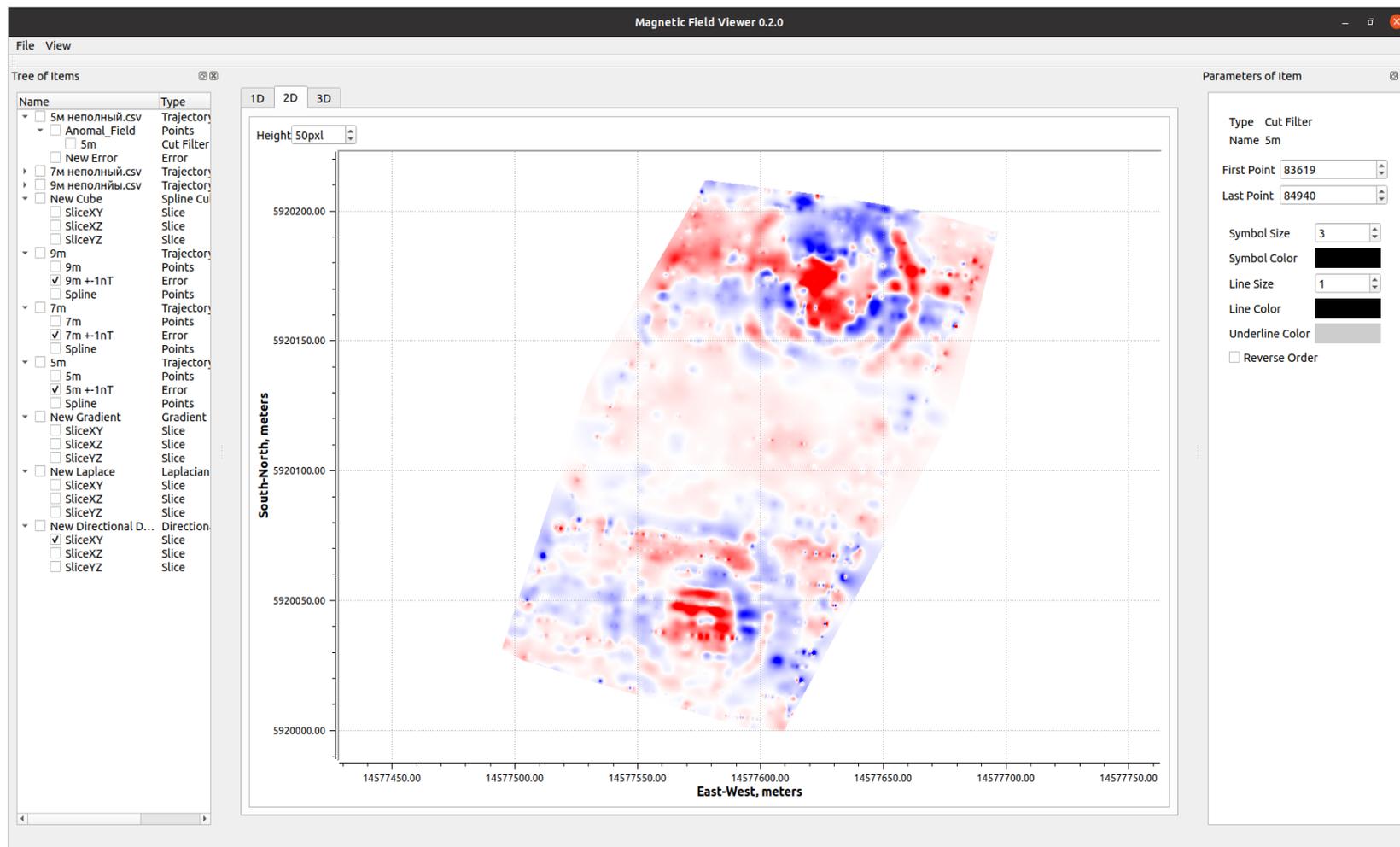
Норма градиента магнитной индукции (± 1 нТл/м), высота 5 м



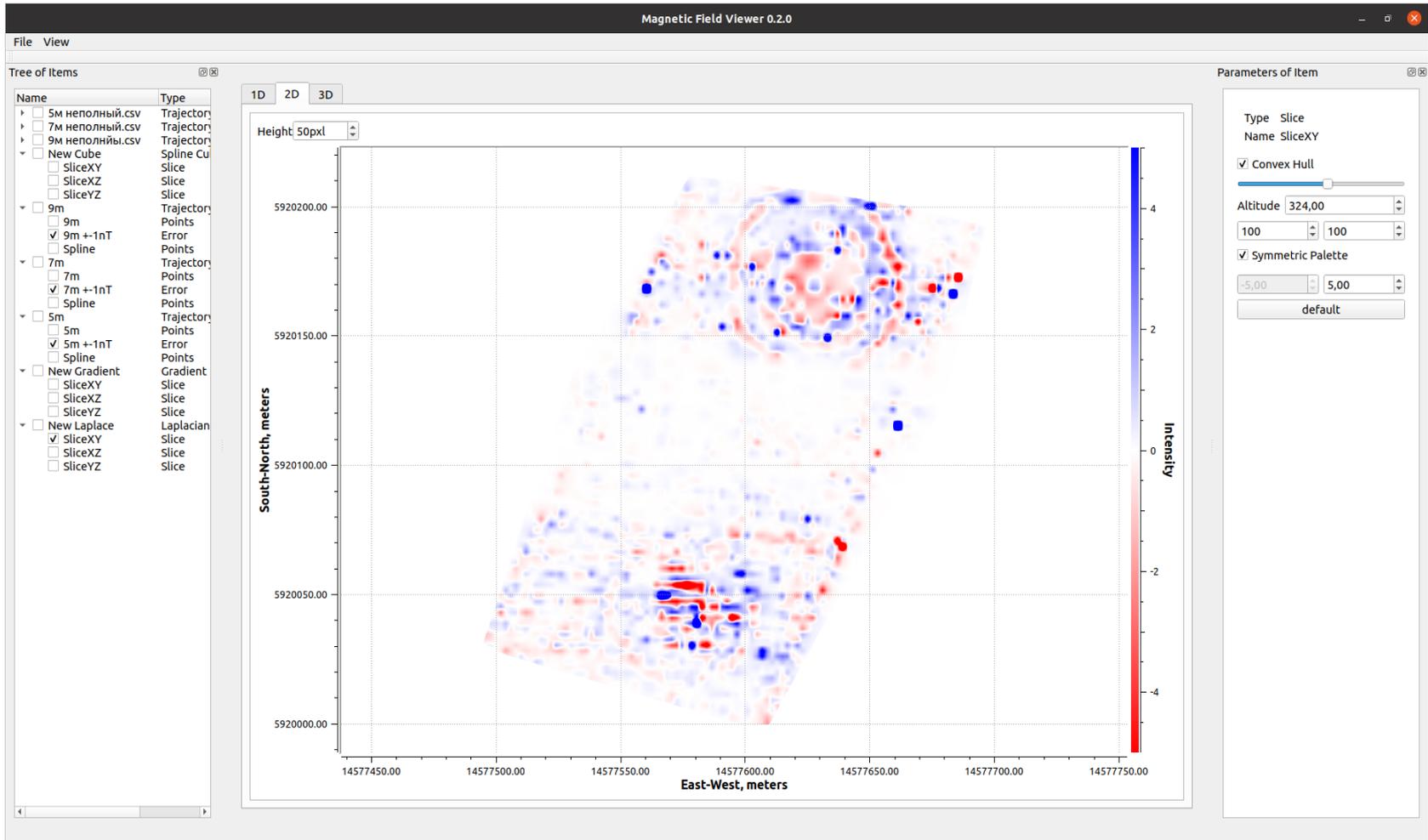
Производная магнитной индукции по x (± 1 нТл/м), высота 7 м



Производная магнитной индукции по z (± 1 нТл/м), высота 9 м

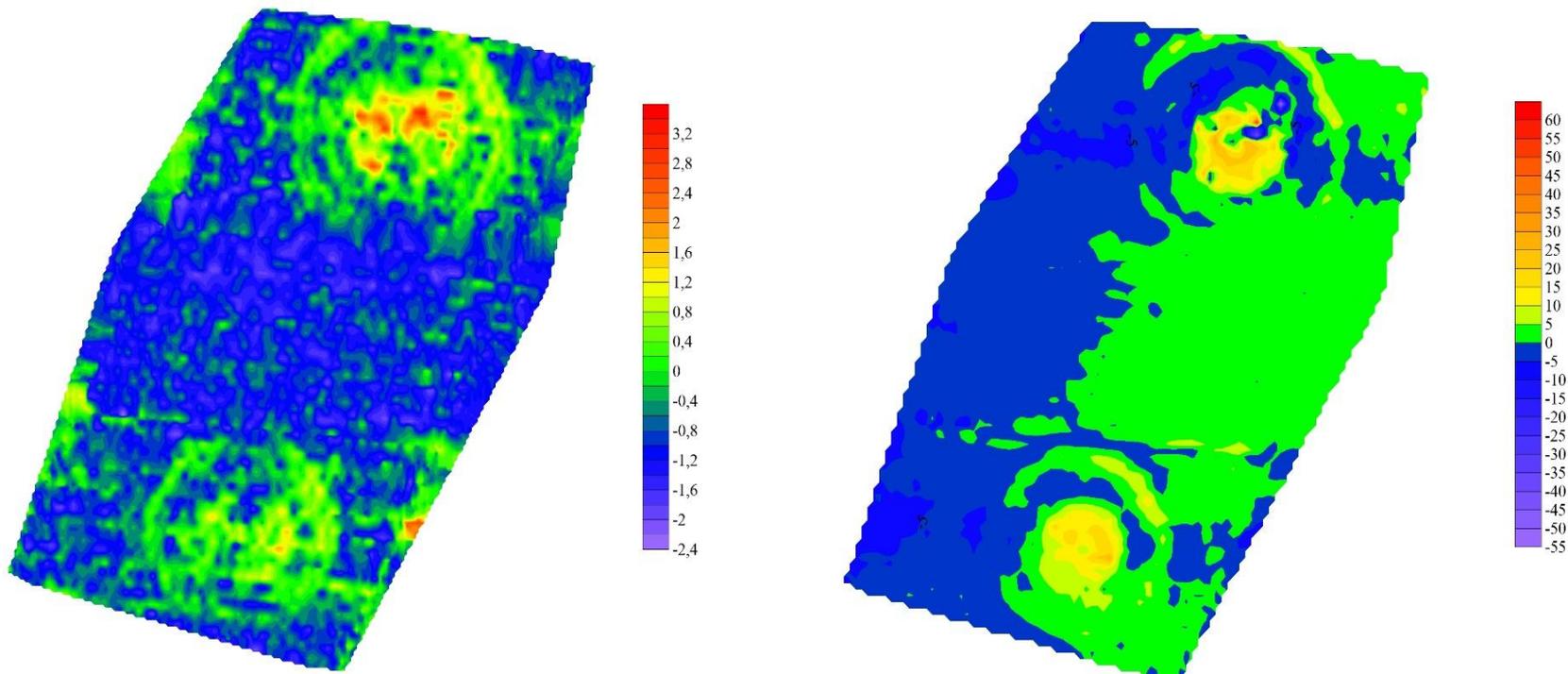


Лапласиан магнитной индукции ($\pm 1 \text{ нТл}/(\text{м} \cdot \text{м})$), высота 7 м



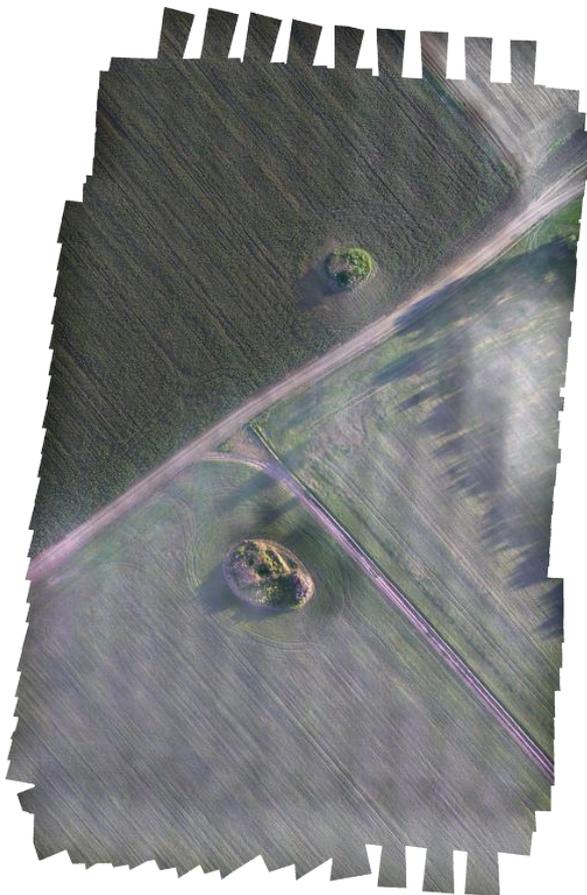
Алтайский край

**Сравнение двух прогнозных геофизических параметров:
десятичного логарифма дисперсий магнитного поля (слева) поля
и аномального магнитного поля (справа) на примере курганов
ивановского поля могильников**

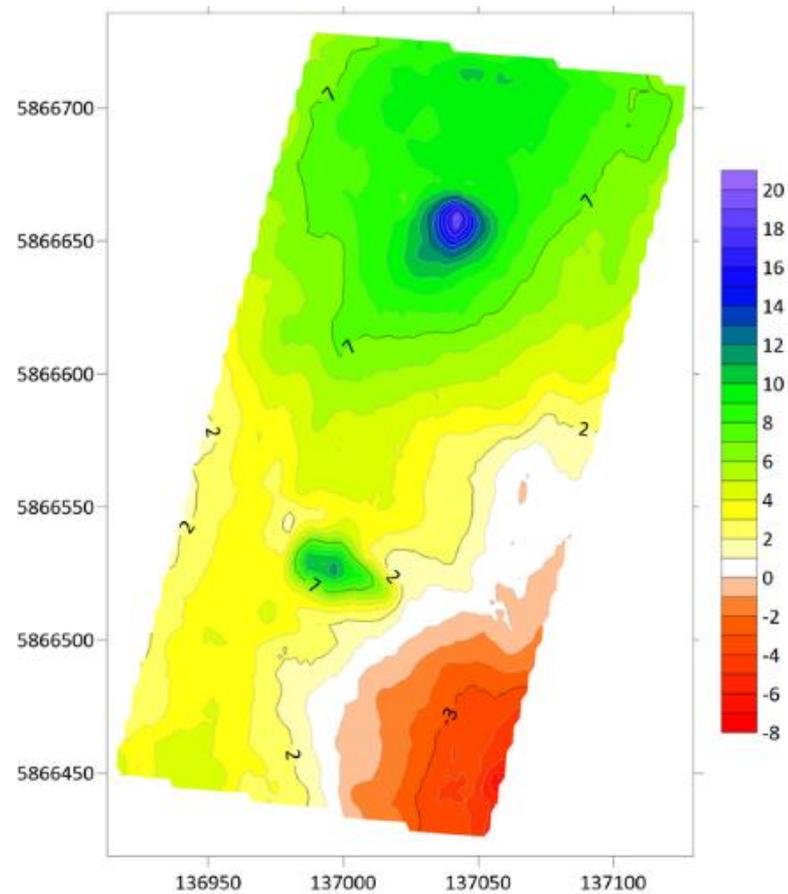


Объект работ: Курган-1

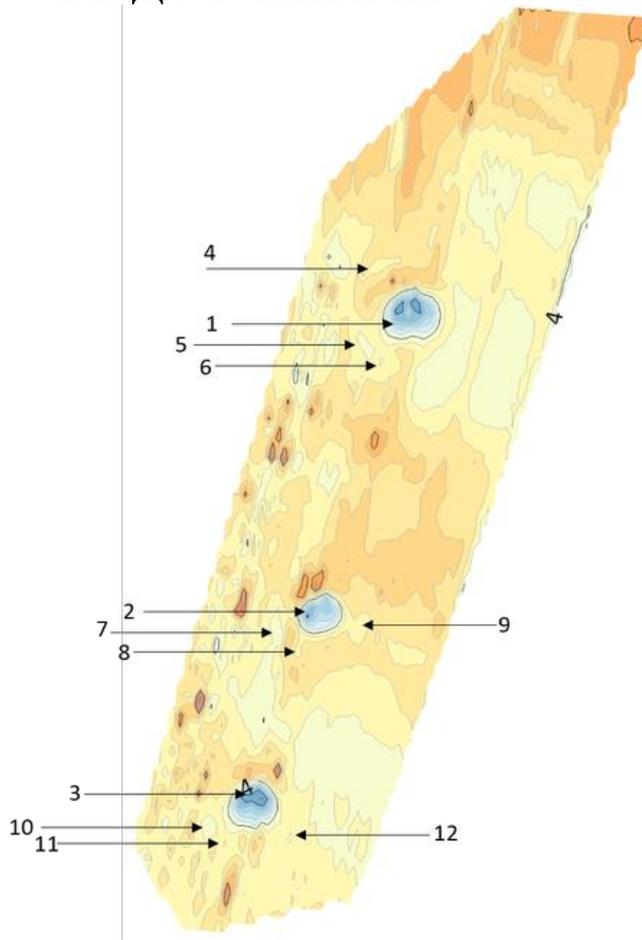
Ортофотоплан



Карта магнитного поля



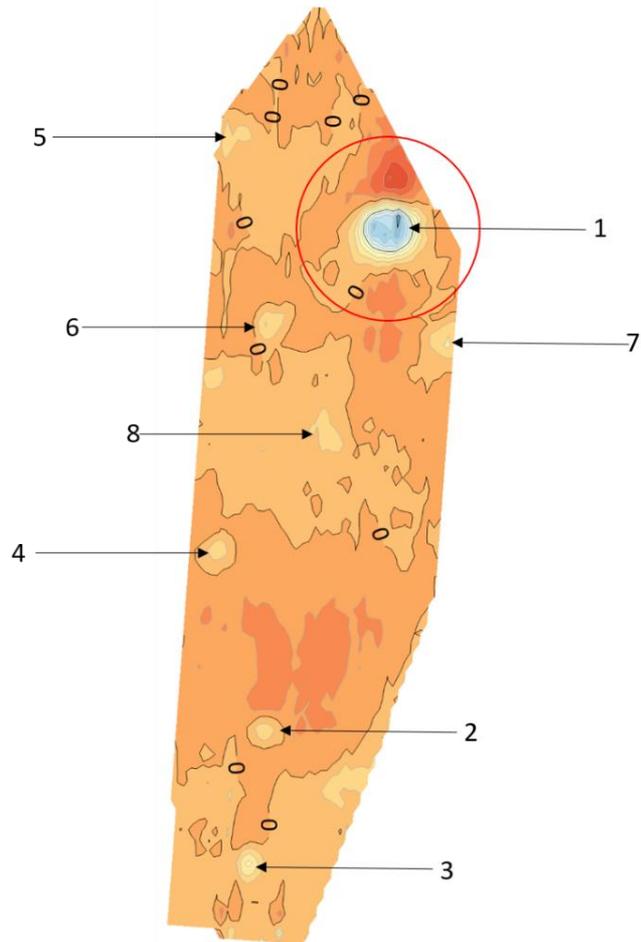
Карта магнитного поля с выделенными аномалиями, Юг



На южной части объекта Курган-II выявлены низкоамплитудные аномалии (1-3), которые по геофизическим данным можно отнести к археологическим объектам и которые совпадают с визуально наблюдаемыми курганами. Также, наблюдаются небольшие аномалии (4-12) неизвестного генезиса, которые, по геофизическим данным, также могут вызвать археологический интерес.

На северной части объекта выявлена лишь одна низкоамплитудная аномалия, совпадающая с визуально наблюдаемым курганом. Других низкоамплитудных аномалий обнаружено не было.

Первомайское 1



На территории объекта Первомайское-I выявлены низкоамплитудные аномалии (1, 2 и 3), которые по геофизическим данным можно отнести к археологическим объектам, и которые по координатам совпадают с визуально наблюдаемыми курганами; низкоамплитудная аномалия (4) совпадающая по координатам с повышением в рельефе и, предположительно, являющаяся распаханым курганом; низкоамплитудные аномалии (5-8) неизвестного генезиса также могут вызвать археологический интерес. Красным выделены низкоамплитудные аномалии, предположительно указывающие на распаханый, ранее закопанный ров находившийся вокруг кургана.



БПЛА – ключ к созданию геомагнитной томографии

1. Возможность получения данных о структуре магнитной индукции с любой плотностью данных в верхнем полупространстве позволяет его описать с любой детальностью.
2. «Полное» описание поля в верхнем полупространстве и знание о физических свойствах пород в нижнем полупространстве позволяет более полно, чем это было возможно ранее, решать обратную задачу.
3. Описание поля в нижнем и верхнем полупространствах даёт томографическую картину магнитной индукции и позволяет более уверенно делать предположения о составе и строении пород на исследуемой территории.

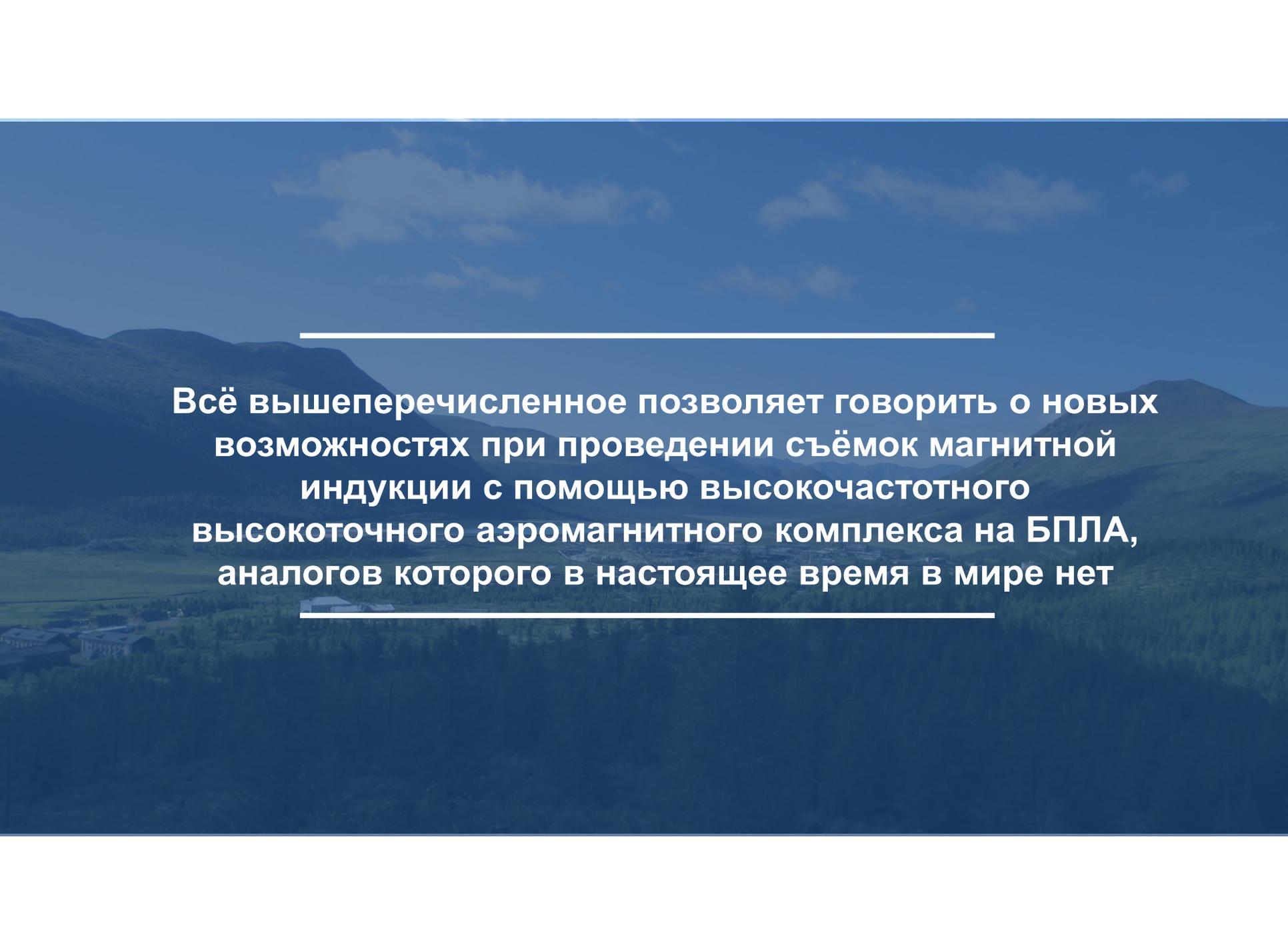
Полученные результаты работ - это «ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ» в исследовании Земли, сравнимая с внедрением томографии вместо рентгенографии в медицине. Стоимость такой «томограммы» будет сравнима с «флюорограммой».

Технология глобальна и будет востребована геологическими и горными компаниями, археологическими экспедициями, МЧС и другими организациями, частными лицами.



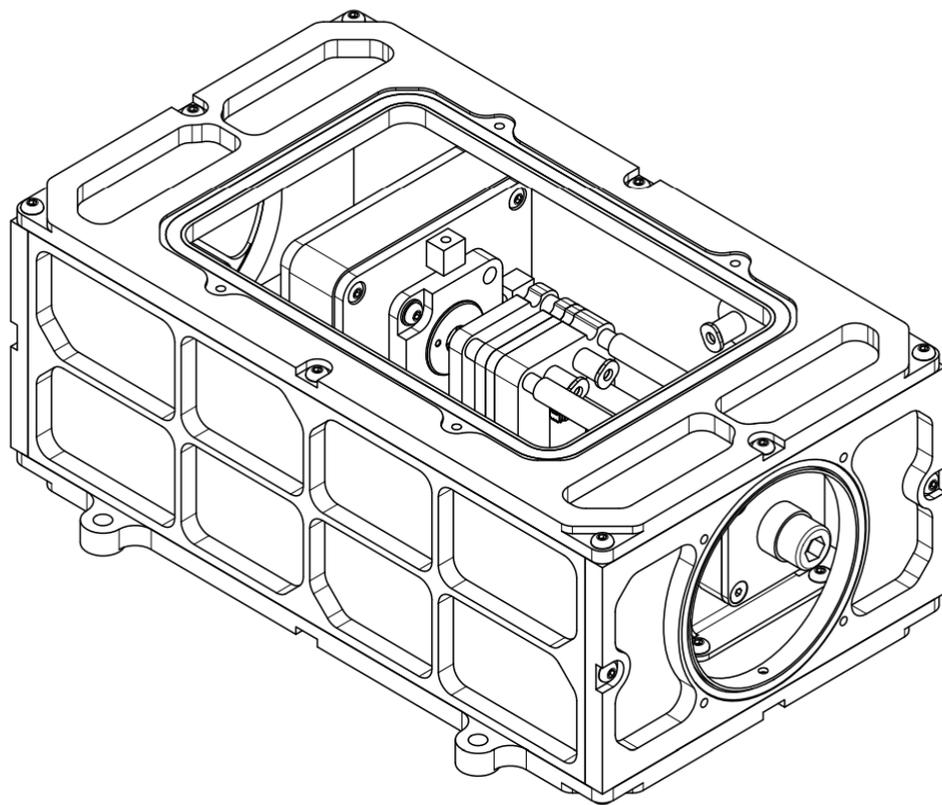
Результат
работ

Перспективы
развития

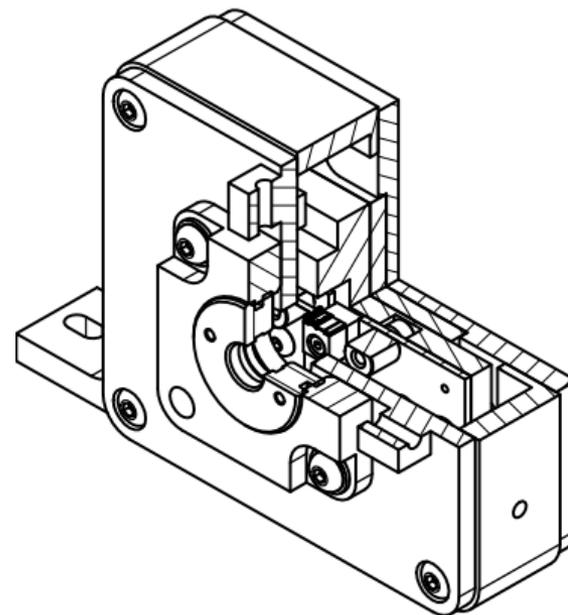


**Всё вышперечисленное позволяет говорить о новых
возможностях при проведении съёмок магнитной
индукции с помощью высокочастотного
высокоточного аэромагнитного комплекса на БПЛА,
аналогов которого в настоящее время в мире нет**

ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР УГЛЕВОДОРОДОВ на БВС

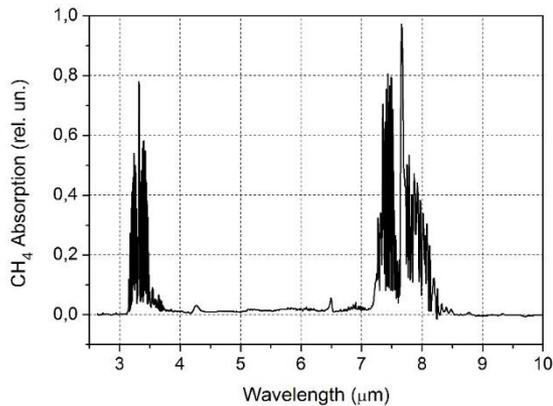


Мобильный газоанализатор на основе
квантово-каскадного лазера



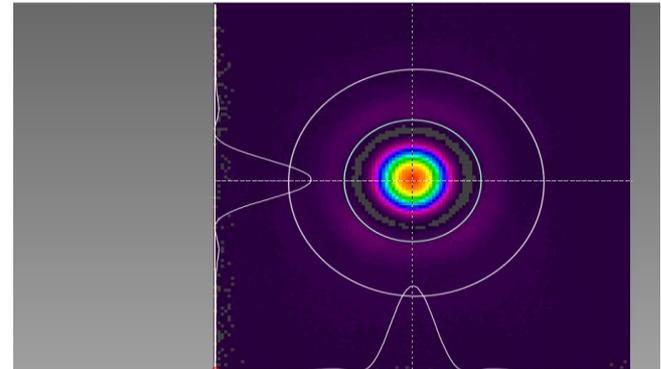
Блок термостабилизации
квантово-каскадного лазера

ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР



Спектр поглощения метана в среднем ИК-диапазоне

Frame ID 320 3.10.2020 14:08:49.715
~AdvancedBeamMaker 1W TEM00 with Gauss fit setup



Профиль пучка выходного излучения через асферическую линзу C028TME-F (фокусное расстояние 5.95 мм, на расстоянии 90 мм от источника при силе тока 150 мА и температуре 25 градусов).

Газовый анализатор

1. Созданный прибор позволяет обнаруживать углеводороды по связи C-H.
2. Чувствительность превышает все мировые аналоги и составляет первые части на миллион.
3. Чувствительность датчика выше кларкового содержания метана в атмосфере.
4. Разработанное оборудование может применяться для поисков углеводородов, разломов, утечек на объектах газового хозяйства на самых ранних стадиях, при экологических исследованиях, поисков других источников углеводородов.

Аэро-гаммаспектрометрическая съемка с использованием Беспилотного Воздушного Судна (БВС), работа 2020г.

Для проведения гамма-спектрометрических работ с использованием БВС был разработан специализированный высокоэффективный гамма-спектрометр (ГС) на базе кристаллов ортогерманата висмута (BGO).

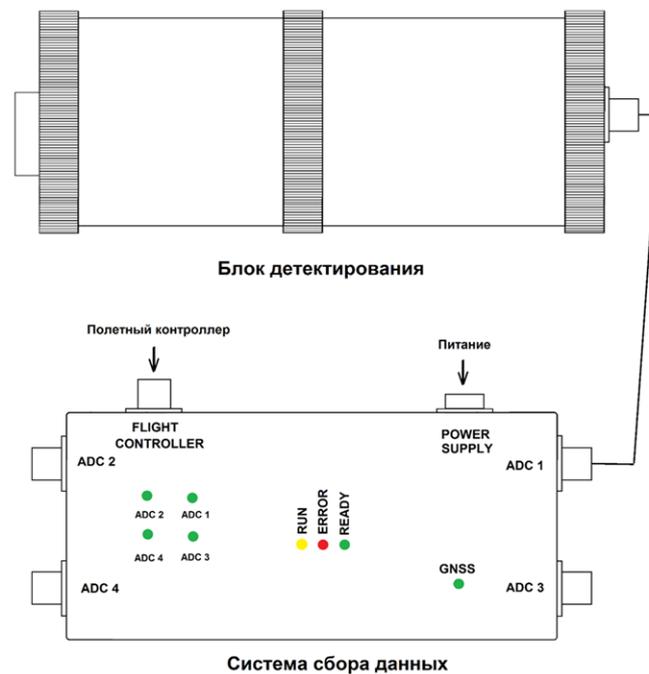
- Применение BGO позволило уменьшить объем и вес кристалла по сравнению с традиционным NaI при сохранении эффективности регистрации гамма-квантов.*
- ГС имеет блочную схему: к одной Системе Сбора Данных подключается от 1 до 4 Блоков Детектирования, что позволяет в различных условиях гамма-съемки (скорость и высота полета БВС, уровень содержания радионуклидов на обследуемой территории) подобрать оптимальную конфигурацию ГС.*
- ГС адаптирован к системе навигации БВС, работающей с базовой станцией RTC, что позволяет фиксировать местоположение прибора с точностью до 5 см.*
- Программное обеспечение прибора позволяет рассчитать содержание радионуклидов по каналам урана, тория и калия и по интегральному каналу.*

Внешний вид гамма-спектрометра для БВС

На жестком подвесе и в транспортировочном положении

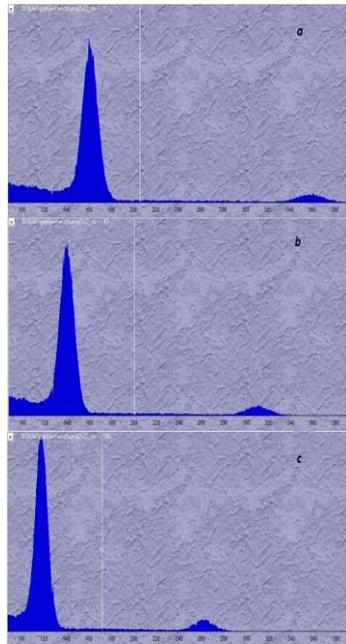


Функциональные блоки гамма-спектрометра

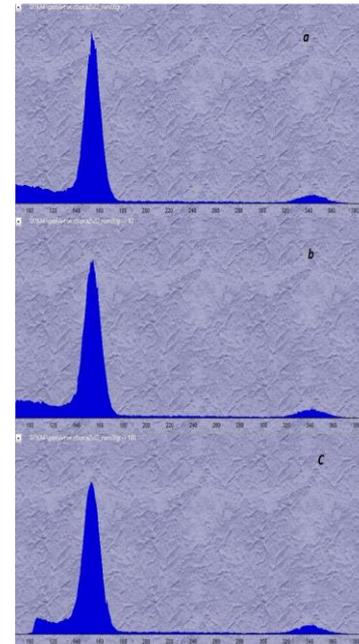


ГАММА-СПЕКТРОМЕТР

Разработка алгоритмов решения программных задач.
Коррекция температурной зависимости



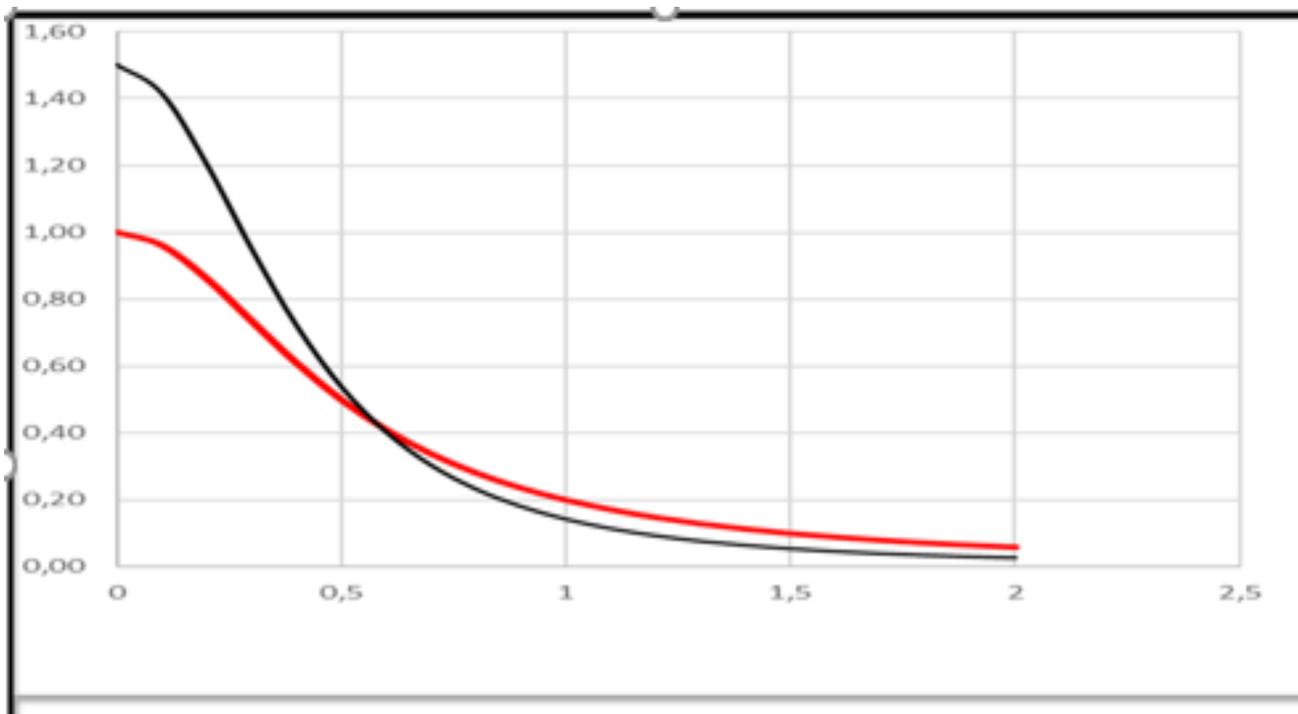
Положение и форма пиков линий цезия (662 кэВ) и калия (1460 кэВ) при температуре детектора спектрометра $-9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*a*), $+9.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*b*) и $+22.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*c*) в исходных спектрах без коррекции спектров на температуру. Ось абсцисс – номер канала спектрометра.



Положение и форма пиков линий цезия (662 кэВ) и калия (1460 кэВ) при температуре детектора спектрометра $-9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*a*), $+9.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*b*) и $+22.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*c*) с коррекцией спектров на температуру к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ось абсцисс – номер канала спектрометра.

Гамма-спектрометр

Эффект коллимации регистрации гамма квантов в разработанном гамма-спектрометре (черная линия) по сравнению со стандартными кристаллами (красная линия). По оси ординат – эффективность регистрации гамма квантов, по оси абсцисс – расстояние от источника в метрах.



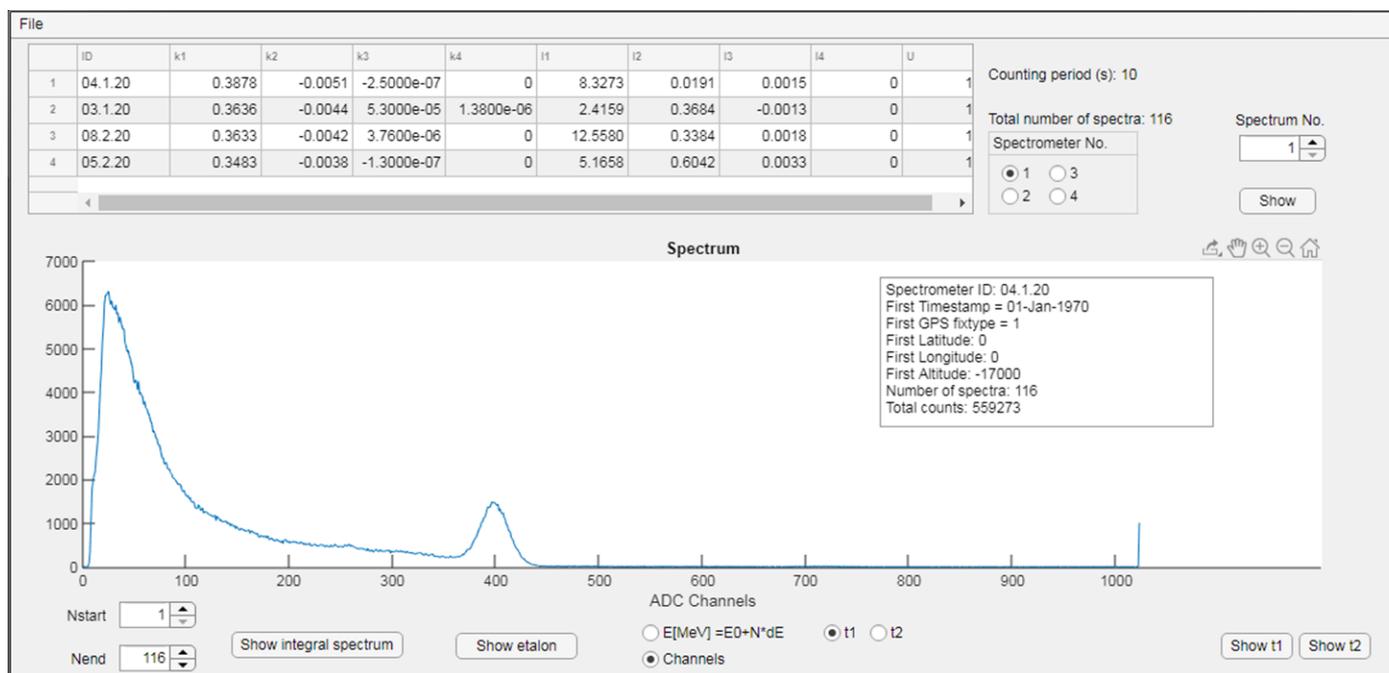
Гамма-спектрометр для БВС. Испытание в полетных условиях



Технические характеристики прибора

№	Наименование	Значение
1	Число каналов гамма-спектрометрического тракта	1024
2	Количество Блоков Детектирования	1 - 4
3	Объем кристалла BGO в одном БД, см ³	76
4	Вес прибора с одним БД, кг, не более	1,6
5	Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, МэВ	от 0,05 до 3,00
6	Энергетическое разрешение по линии гамма-излучения 662 кэВ 137Cs, %, не более	10
7	Частота регистрации, Гц	0,1
8	Диапазон рабочих температур, °С	+5÷40
9	Время непрерывной работы, час, не менее	8
10	Время установления рабочего режима, минут, не более	30
11		

Исходный интегральный спектр, записанный в первичном файле на микро-SD карте (ГСО калия, Березовгеология)



Для выполнения работ в полевом сезоне 2021 г:

- *Изготовлены и откалиброваны на полигоне ГСО 9 Блоков Детектирования. В детекторах используются идентичные кристаллы BGO*
- *Изготовлены 4 идентичных блока Системы Сбора Данных.*
- *Изготовлены два варианта системы подвеса.*
- *Закуплены 3 Беспилотных Воздушных Судна.*
- *Предлагается проводить съемку, подвешивая на одно БВС по два БД и один блок ССД. Питание прибора осуществляется от бортовых аккумуляторов БВС, координаты съемки предоставляются от полетного контроллера БВС.*
- *Для проведения наземных работ закуплен гамма-спектрометр МКСП-01 (производство «Радек» СПб, объем кристалла NaI 0,4 л).*

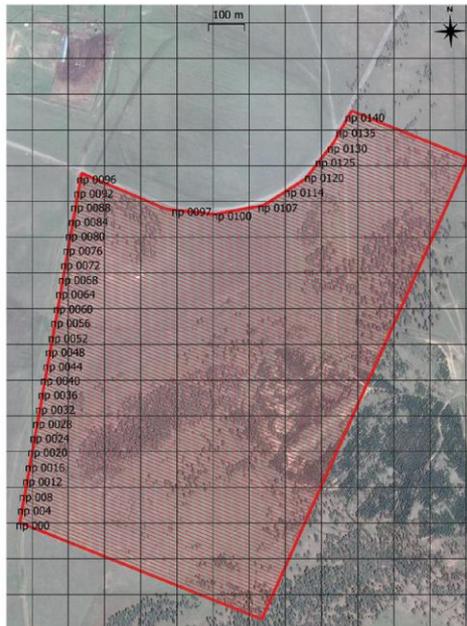
Гамма-спектрометр для БВС. Опытные полевые работы

На полигоне в ходе полевых работ в Хакасии (Ербинский некк) были проведены испытания гамма-спектрометра для БВС:

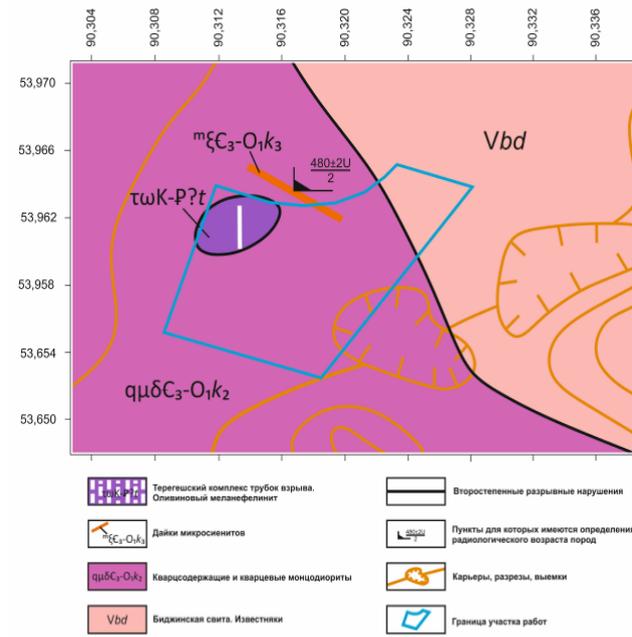
- Проведена съемка поля гамма-излучения естественных радионуклидов на участке площадью 1 кв. км. Расстояние между профилями 10 м.*
- Съемка выполнена в режиме непрерывной записи спектров при скорости перемещения прибора 4 км/час. Время интегрирования 10 сек.*
- Съемка проведена гамма-спектрометрами, состоящими из 2-х и 4-х Блоков Детектирования.*
- Для проверки результатов нами проведена наземная точечная съемка по нескольким профилям с помощью спектрометра МКСП-01 (Радек, СПб) и площадная наземная съемка специалистами Томского Политехнического Университета на всем участке с помощью GS 512 (Чехия).*

Участок опытно-методических работ (Ербинский нект, Хакасия)

Космоснимок участка работ с
нанесенными профилями съемки

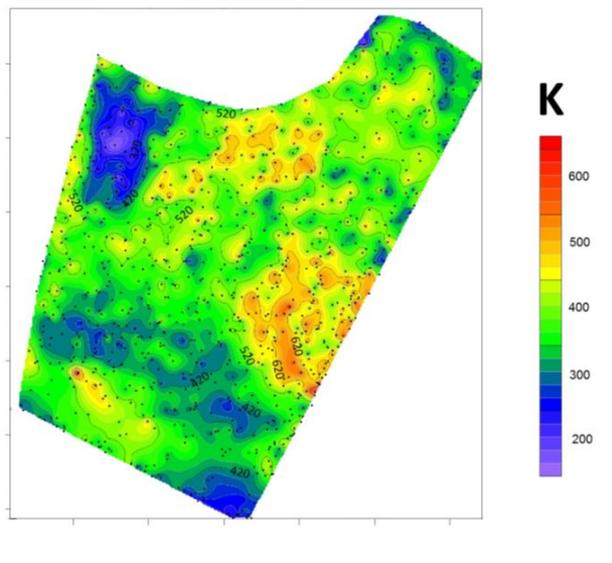


Геологическая схема

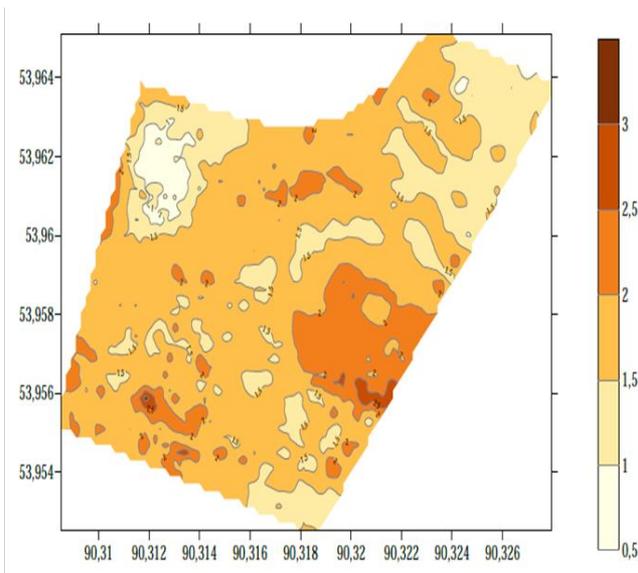


Сравнение данных, полученные нами с помощью разработанного аэрогамма-спектрометра (слева) и ТПУ с использованием стандартного оборудования (справа), Ербинский нект.

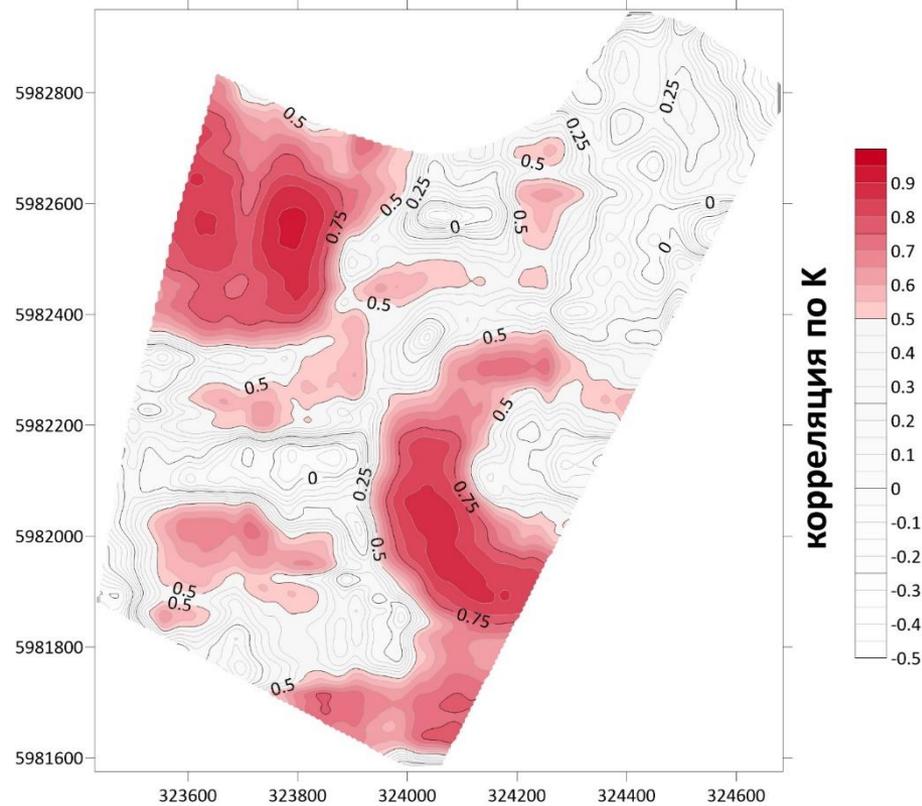
Интенсивность гамма-излучения в канале калия, аэрогамма-спектрометр, имп/100сек



Карта содержаний калия, SK 512, % K

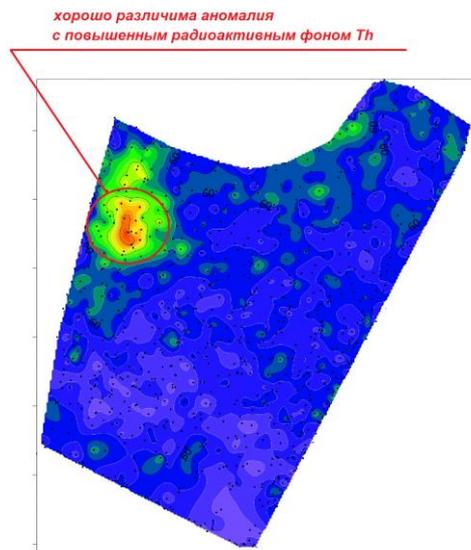


Коэффициент корреляции между данными полученными с помощью разработанного гамма-спектрометра и данными стандартной наземной съёмки

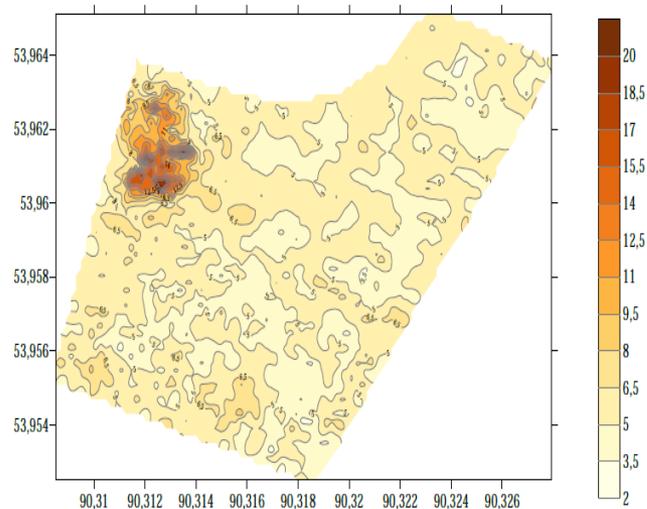


Сравнение данных, полученные нами с помощью разработанного аэрогамма-спектрометра (слева) и ТПУ с использованием стандартного оборудования (справа), Ербинский некк.

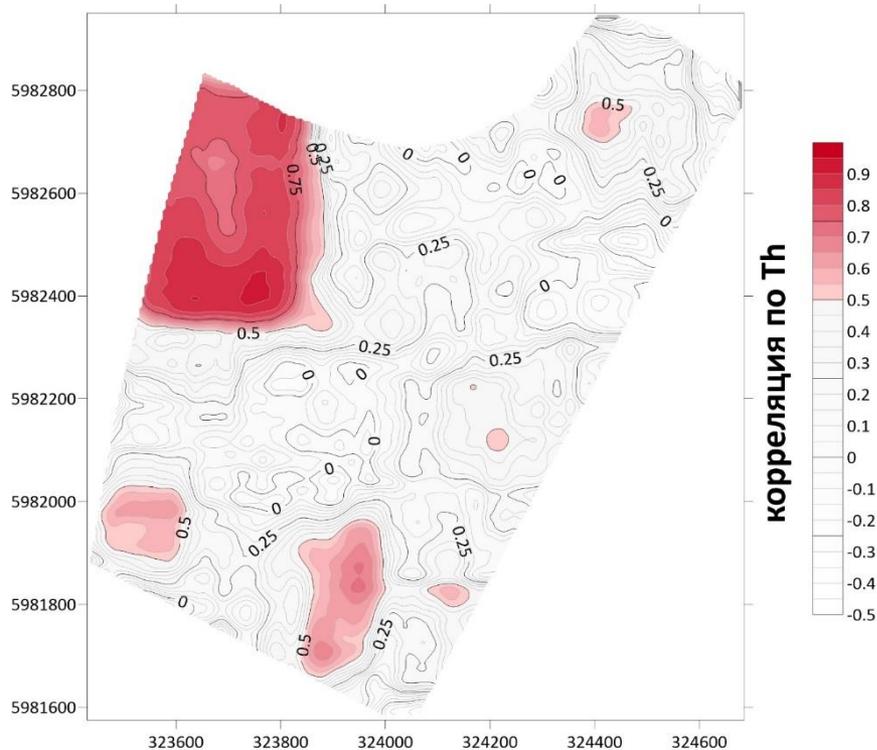
Интенсивность гамма-излучения в канале тория, аэрогамма-спектрометр, имп/100сек



Карта содержаний тория, SK 512



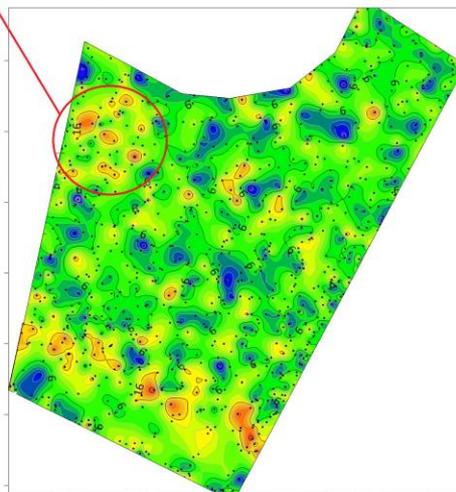
Коэффициент корреляции между данными полученными с помощью разработанного гамма-спектрометра и данными стандартной наземной съёмки



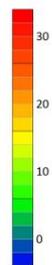
Сравнение данных, полученные нами с помощью разработанного аэрогамма-спектрометра (слева) и ТПУ с использованием стандартного оборудования (справа), Ербинский нект.

Интенсивность гамма-излучения в канале урана аэрогамма-спектрометр, имп/100сек

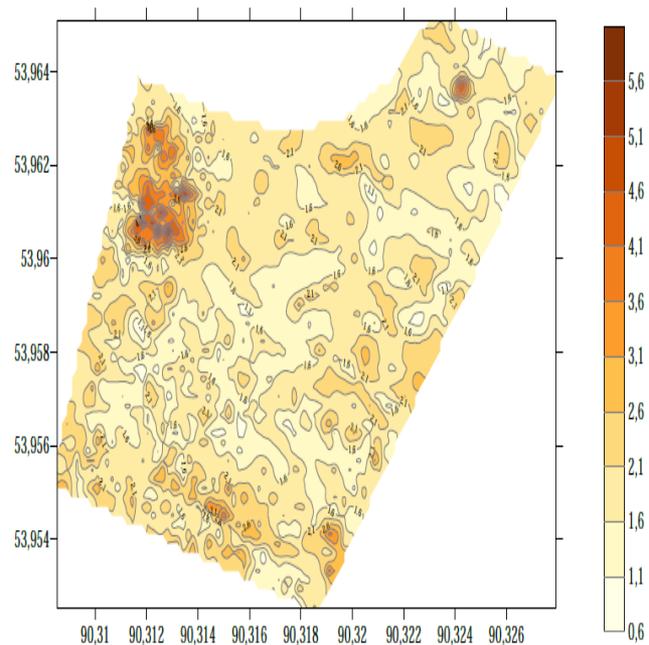
несмотря на слабый сигнал, различима аномалия с повышенным радиоактивным фоном U



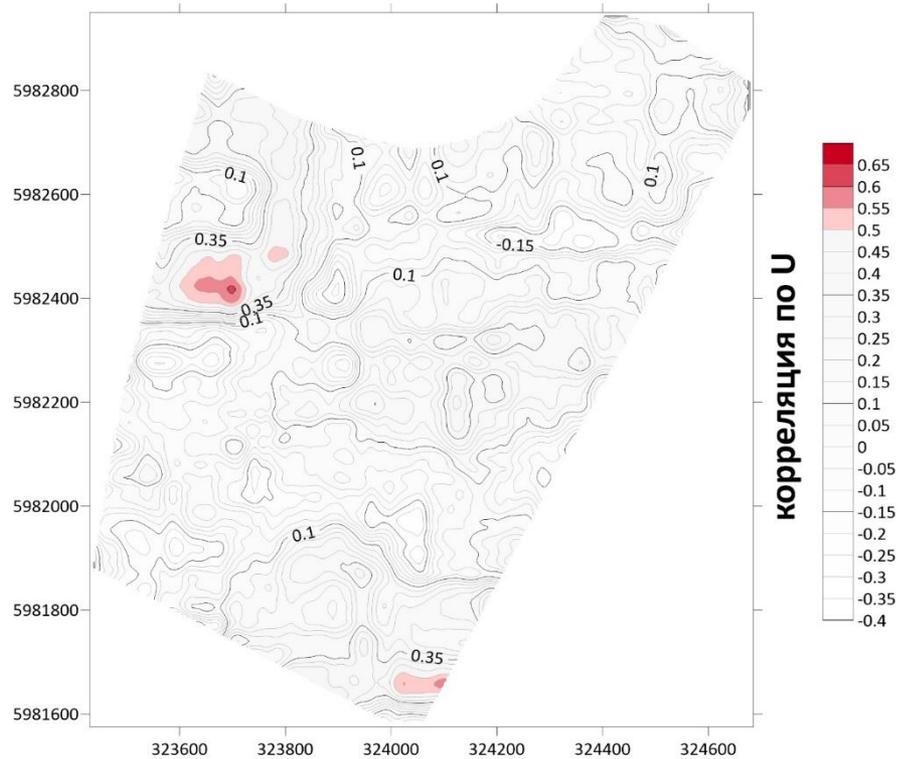
U



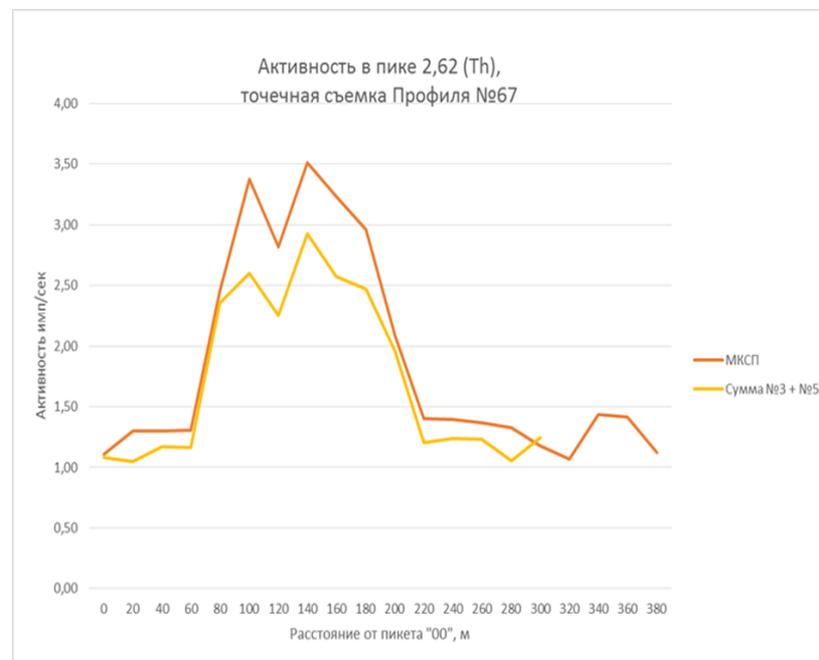
Карта содержаний урана, ppm U



Коэффициент корреляции между данными полученными с помощью разработанного гамма-спектрометра и данными стандартной наземной съёмки



Сравнительная точечная (30сек) наземная съемка по профилю с помощью аэрогамма-спектрометра (объем кристаллов BGO 2x0,076л) и гамма-спектрометра МКСП-01 (объем кристалла NaI 0,4л)



В результате проведенных опытно-методических работ:

- С помощью разработанной оригинальной программы обсчета гамма-спектров и программы «Surfer» построены карты гамма-полей участка и зависимости активности радионуклидов по профилям съемки.*
- Карты содержания радионуклидов построены по результатам калибровочных экспериментов на площадке Государственных Стандартных Образцов.*
- На территории полигонного участка выявлены высококонтрастные аномалии радиоактивного фона в каналах тория и калия, обнаружены, несмотря на незначительное содержание, аномалии в канале урана.*
- Расположение выявленных аномалий хорошо коррелирует со схемой геологического строения участка, полученными другими геофизическими методами.*
- Выявлено, что при меньшем весе кристалла, разработанный спектрометр имеет преимущество в эффективности поглощения перед спектрометрами со стандартным кристаллом NaI.*

Итоги

В результате исследовательских и опытно-конструкторских работ создан уникальный превышающий мировые аналоги аэрогеофизический комплекс на базе легких БВС для:

- **высокочастотного и высокоточного определения вектора магнитной индукции;**
- **разработанное программное обеспечение позволяет описывать поле в томографическом формате. Стоимость аэротомографической съёмки ниже, чем наземной съёмки;**
- **высокоточного определения в режиме реального времени содержания углеводородов;**
- **быстрого и точного определения радионуклидов при минимальных объемах датчика.**

Разработанное бортовое оборудование позволяет определять с высокой точностью параметры полета, в том числе высоту полета с помощью уникального сверхлегкого радиовысотомера.

Испытания комплекса проведены:

- **на объектах разного генезиса: от поиска артефактов, метеоритов и гуманитарного разминирования до поисков коренных, рудных и нерудных, и россыпных месторождений.**
- **в тяжелейших орогенических и природно-климатических условиях;**
- **в условиях аномальных перепадов полей удалось получить точность предельно высокую.**

Области применения

1. Геология (поиск месторождений полезных ископаемых самого разного генезиса).
 2. Экология (поиск скрытых свалок и радиационно опасных участков)
 3. МЧС
 4. Гуманитарное разминирование
 5. Сельское хозяйство
 6. Ядерная безопасность
 7. Археология
 8. Лесное хозяйство
 9. Поиск затерянных сетей и незаконных врезок
 10. Метеорология (подсчет запасов снега)
- и др



**Фирсов Андрей
Петрович**

Отв. исполнитель



**Эпов Михаил
Иванович**

Академик РАН,
научный руководитель



**Злыгостев Игорь
Николаевич**

Генеральный
конструктор