



ЦЕНТР ПОДВОДНОГО
АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО
НАСЛЕДИЯ ИА РАН

Гусаров О.С.
Лучников А.Г.
Ольховский С.В.

МАГНИТНАЯ СЪЕМКА В АКВАТОРИИ ФАНАГОРИИ



THE SEA OF ASOV

THE KERCH STRAIT

THE TAMAN BAY

THE BLACK SEA

Таманский полуостров, местоположение Фанагории





В результате трансгрессии Черного моря прибрежная часть Фанагории и ее портовая инфраструктура оказались под водой. Цветной контур: предполагаемые границы города , площадь участка акватории - около 40 га.





Из-за длительной волноприбойной эрозии берегового обрыва все затопленные археологические объекты перекрыты песком и незаметны на поверхности дна.





Цель магнитного обследования акватории Фанагории:
определить возможности этого метода для выявления слабых
магнитных аномалий неметаллического происхождения –
потенциальных археологических объектов (молы, причалы, стены,
скопления каменного судового балласта и керамики).



Методология морской магнитной съемки

- исследования выполняются только серийной, метрологически поверенной аппаратурой на лицензионном программном обеспечении;
- субметровая погрешность съемочных галсов и навигационной привязки измерений;
- соблюдение методических требований к съемке в заданном масштабе;
- сведение результатов на единой координатной подоснове (ГИС);
- расчет параметрических моделей известных археологических объектов;
- локализованные магнитные аномалии рассматриваются как потенциальные ОАН и подлежат идентификации;
- результаты идентификации магнитных аномалий учитываются при дальнейшем анализе и интерпретации результатов съемки.





Навигационное обеспечение:

- базовая станция GNSS Trimble R7, транслирующая RTK поправки по радиоканалу и через GSM-модем;
- ровер-курсоуказатель Trimble SPS 461.





чувствительность датчика 0,01 nT
чувствительность счетчика 0,001 nT
разрешение 0.001 nT
допустимый градиент до 10,000 nT/м
диапазон от 18,000 до 120,000 nT
абсолютная точность ± 0.1 nT
мертвая зона – НЕТ
курсовая ошибка – НЕТ
температурный дрейф – НЕТ

Буксируемый магнитометр SeaSPY-2 (MarineMagnetics Corp.).

Рабочий диапазон глубин – от 1 м.



Магнитометр-градиентометр GSM-19 WG (GEM Systems Inc.)

- разрешение 0.01 nT,
- допустимый градиент до 10,000 nT/м,
- диапазон от 18,000 до 120,000 nT,
- абсолютная точность ± 0.2 nT



- разрешение 0.001 nT
- допустимый градиент до 10,000 nT/м
- диапазон от 18,000 до 120,000 nT
- абсолютная точность ± 0.2 nT



Магнитовариационная станция SENTINEL (MarineMagnetics Corp.)



- галсы позиционированы под 45° к берегу, длина галсов 840-1140 м;
- междугалсовый интервал 4 м, шаг измерений по профилю 0,3 м;
- контроль и увязка секущими вкрест галсами через 40 м;
- среднеквадратическая погрешность съемки: $\pm 0,3$ нТ.



**Морская магнитная съемка масштаба 1:500 на площади 69,8 Га.
Рабочий диапазон глубины: от 1 м.**





Морская магнитная пешеходная съемка масштаба 1:200 на площади 21,21 Га.

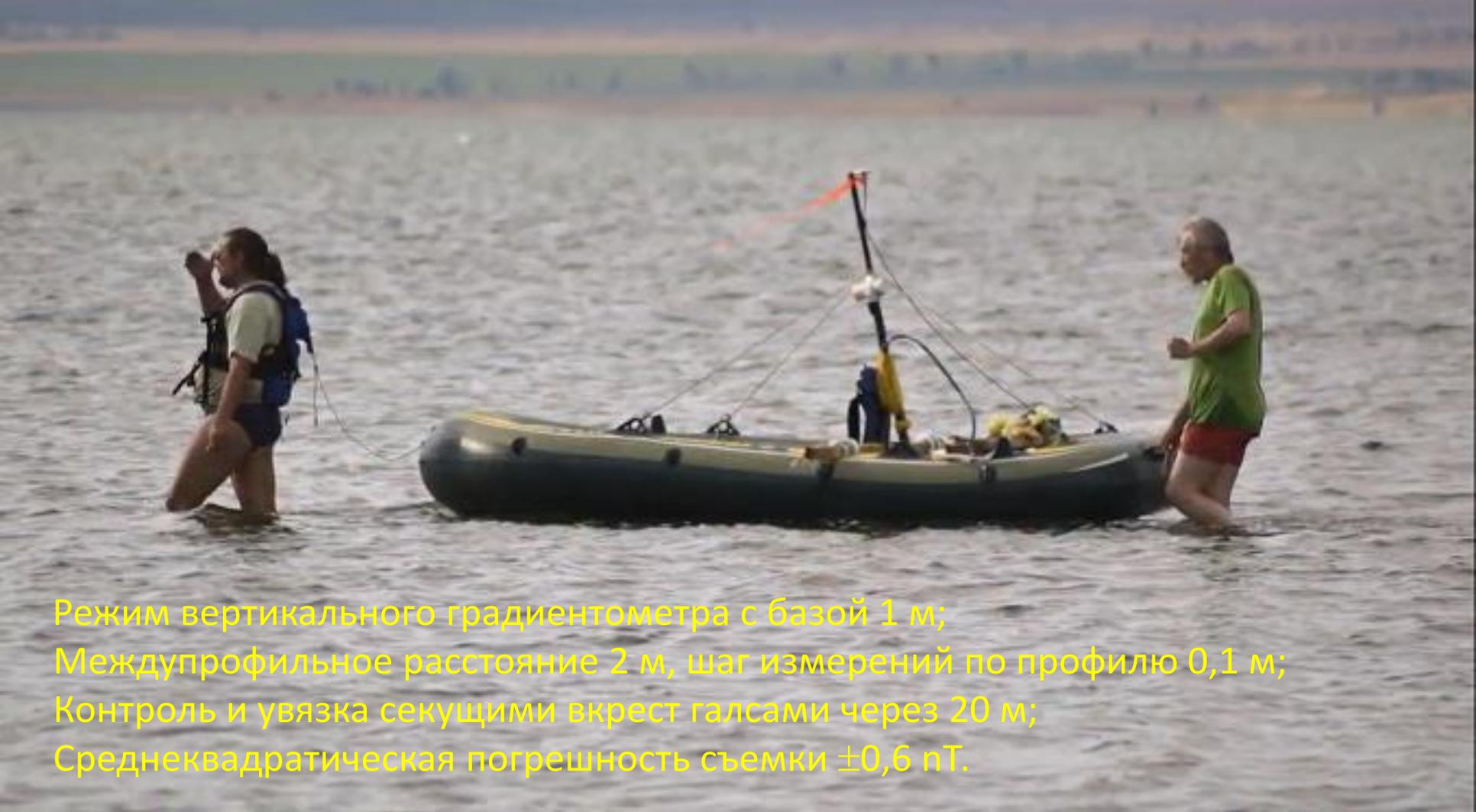
Рабочий диапазон глубин: 0 - 0.8 м.

Режим вертикального градиентометра
с базой 1 м;

междупрофильное расстояние 2 м,
шаг измерений по профилю 0,1 м;

- контроль и увязка секущими вкрест галсами через 20 м;
- среднеквадратическая погрешность съемки $\pm 0,4$ нТ;
- реальная точность съемки позволяет проводить изолинии магнитного поля через 0,5 нТ и его локальных составляющих через 0,1 нТ.





Режим вертикального градиентометра с базой 1 м;
Междупрофильное расстояние 2 м, шаг измерений по профилю 0,1 м;
Контроль и увязка секущими вкрест галсами через 20 м;
Среднеквадратическая погрешность съемки $\pm 0,6$ нТ.

Морская магнитная съемка масштаба 1:200 на площади 5,59 Га.

Рабочий диапазон глубин 0.8-1.2 м.



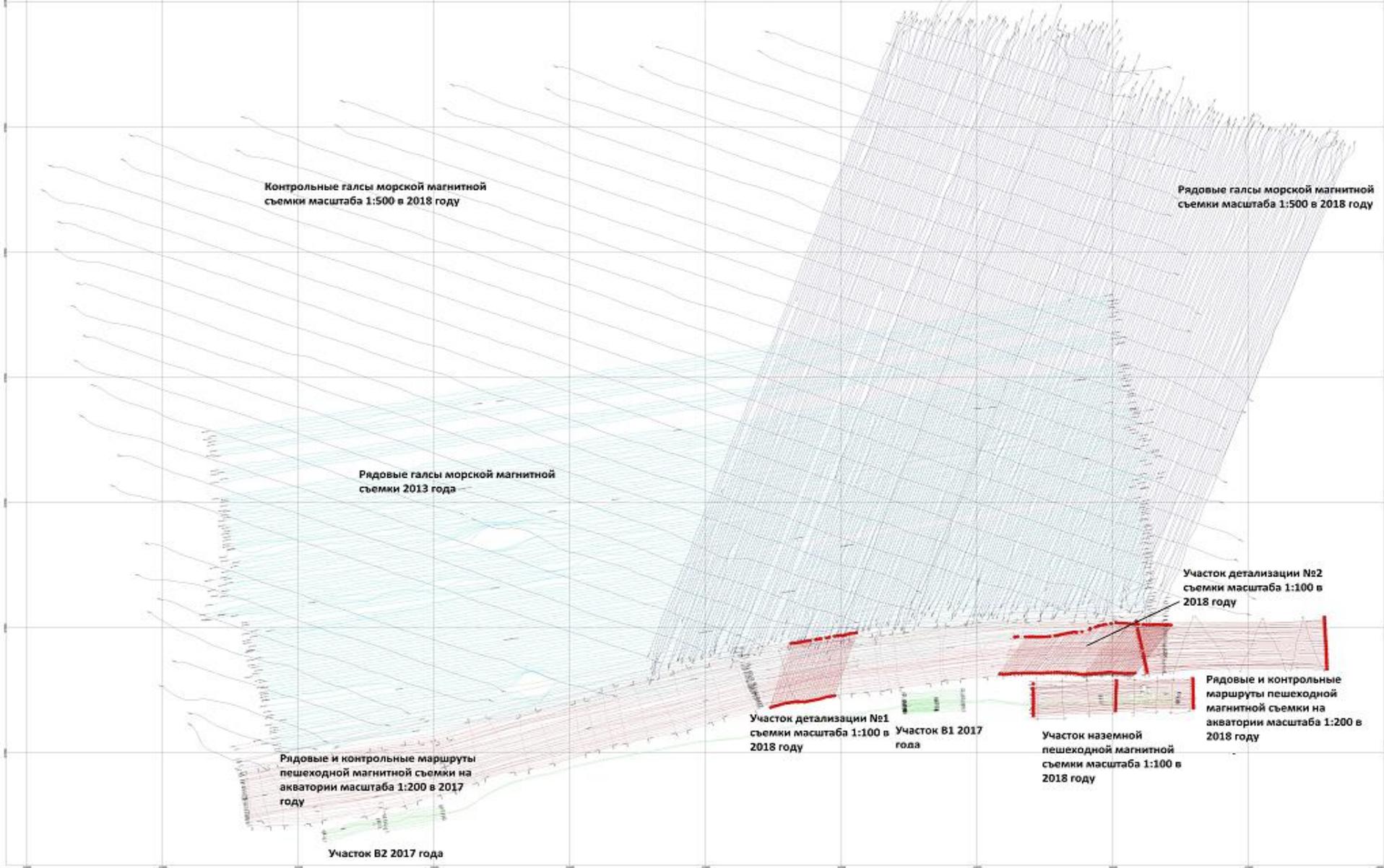


Морская магнитная пешеходная детальная съемка масштаба 1:100 на площади 2,48 Га.

Рабочий диапазон глубин 0 - 1.2 м.

- режим горизонтального градиентометра с базой 1 м;
- профили направлены на северо-восток под 45° к берегу;
- длина около 100-150 м; междупрофильное расстояние 2 м, шаг по профилю 0,1 м;
- контроль и увязка секущими вкрест галсами через 15-20 м;
- среднеквадратическая погрешность съемки $\pm 0,31$ нТл.





Сводная схема полигонов магнитной съемки в акватории и на побережье Фанагории, 2013-2018 гг.

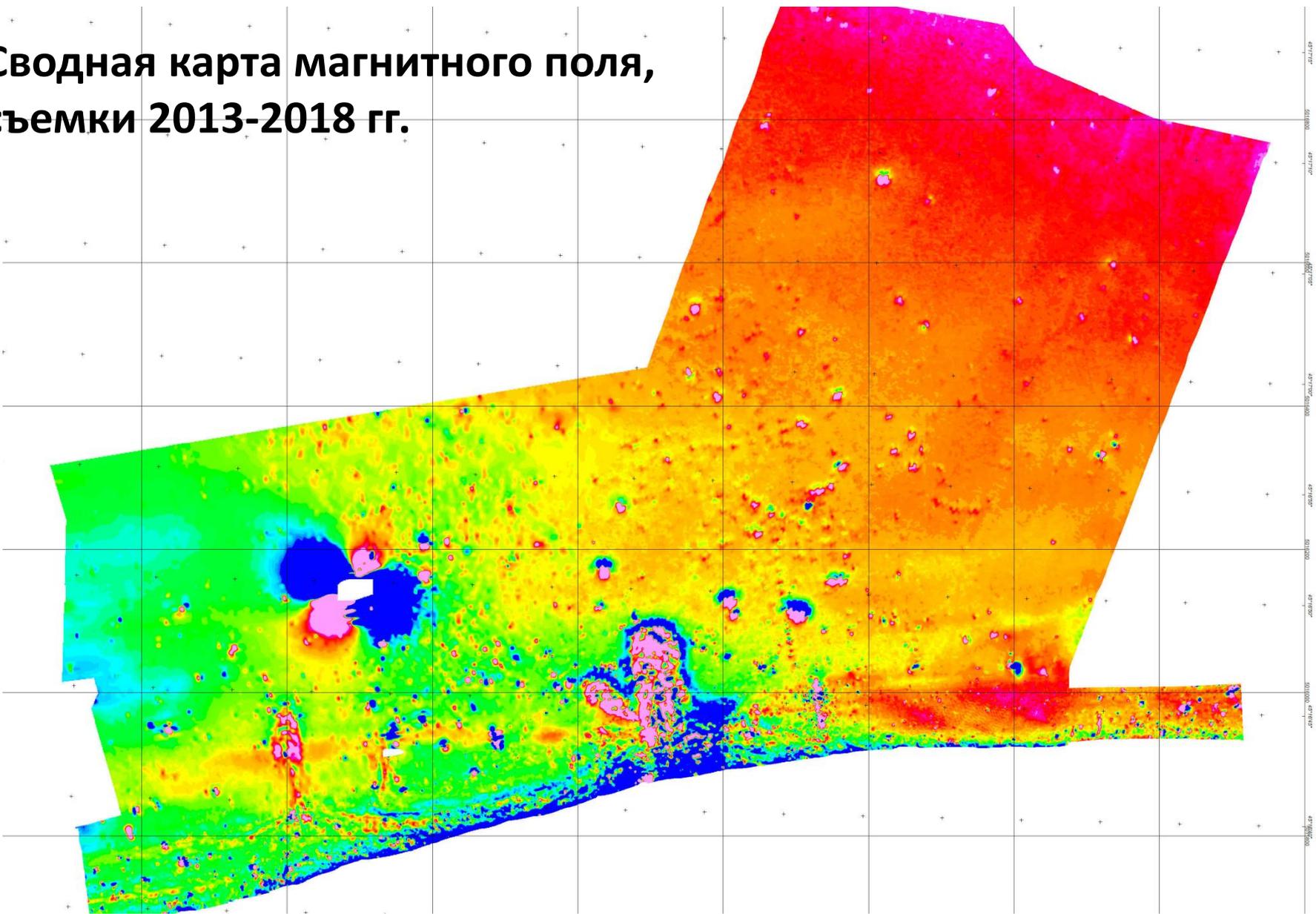


Первичная оценка качества и обработка данных осуществлялась после каждого дня работ и включала:

- ввод информации магнитометра и вариационной станции в полевой обрабатывающий комплекс;
- проверка качества материалов съемки;
- введение информации в базы данных пакета программ «GEO SOFT» с целью оценки качества полевых материалов и предварительной обработки данных;
- коррекцию навигационных данных;
- обработка материалов съемки и построение пополняемых карт траекторий маршрутов и физических полей для текущего контроля;
- создание пополняемого полевого архива, включающего как первичные данные, так и данные промежуточных этапов обработки.
- Окончательная обработка, интерпретация, оценка погрешности и точности проводилась в камеральный период и включала:
- Обработка магнитных вариаций;
- Обработка данных магнитометрии; **сглаживание к данным не применялось.**
- Обработка навигационных данных;
- Регуляризация наблюдений;
- Построение сетей (гридов) данных и трансформации;
- Интерпретация данных и выделение локальных аномалий;
- Оценка точности;
- Построение сводной карты магнитометрических съемок 2013-2018 гг.

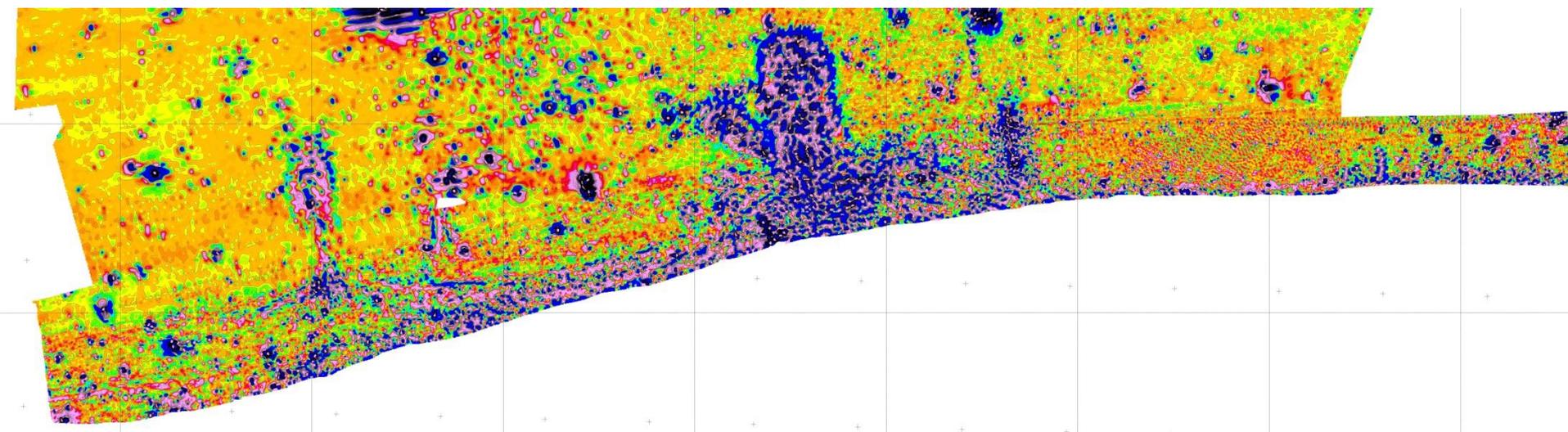
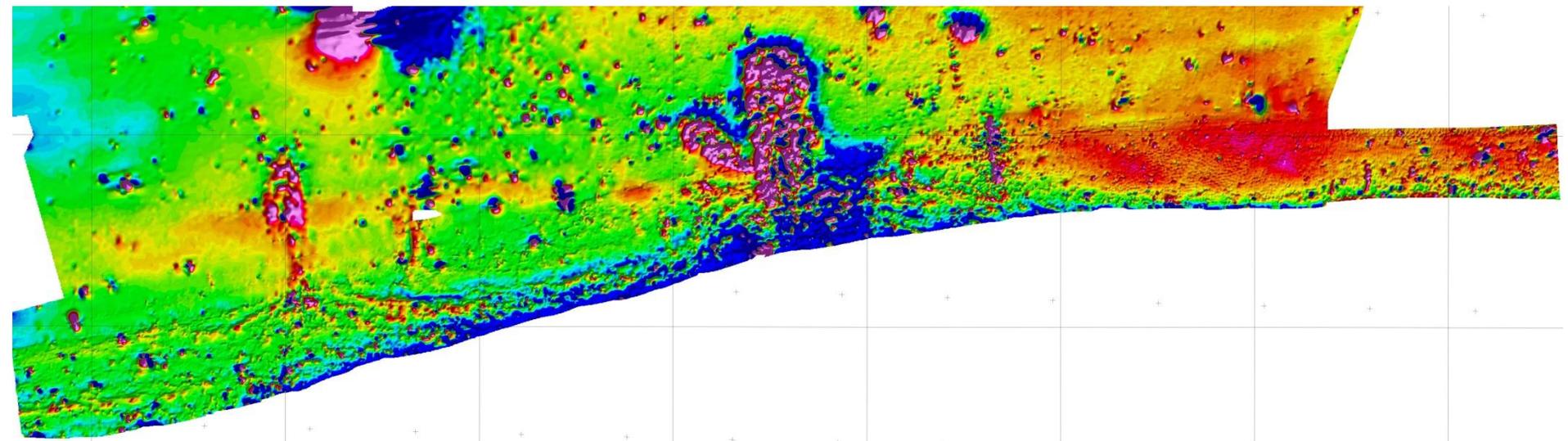


Сводная карта магнитного поля, съёмки 2013-2018 гг.



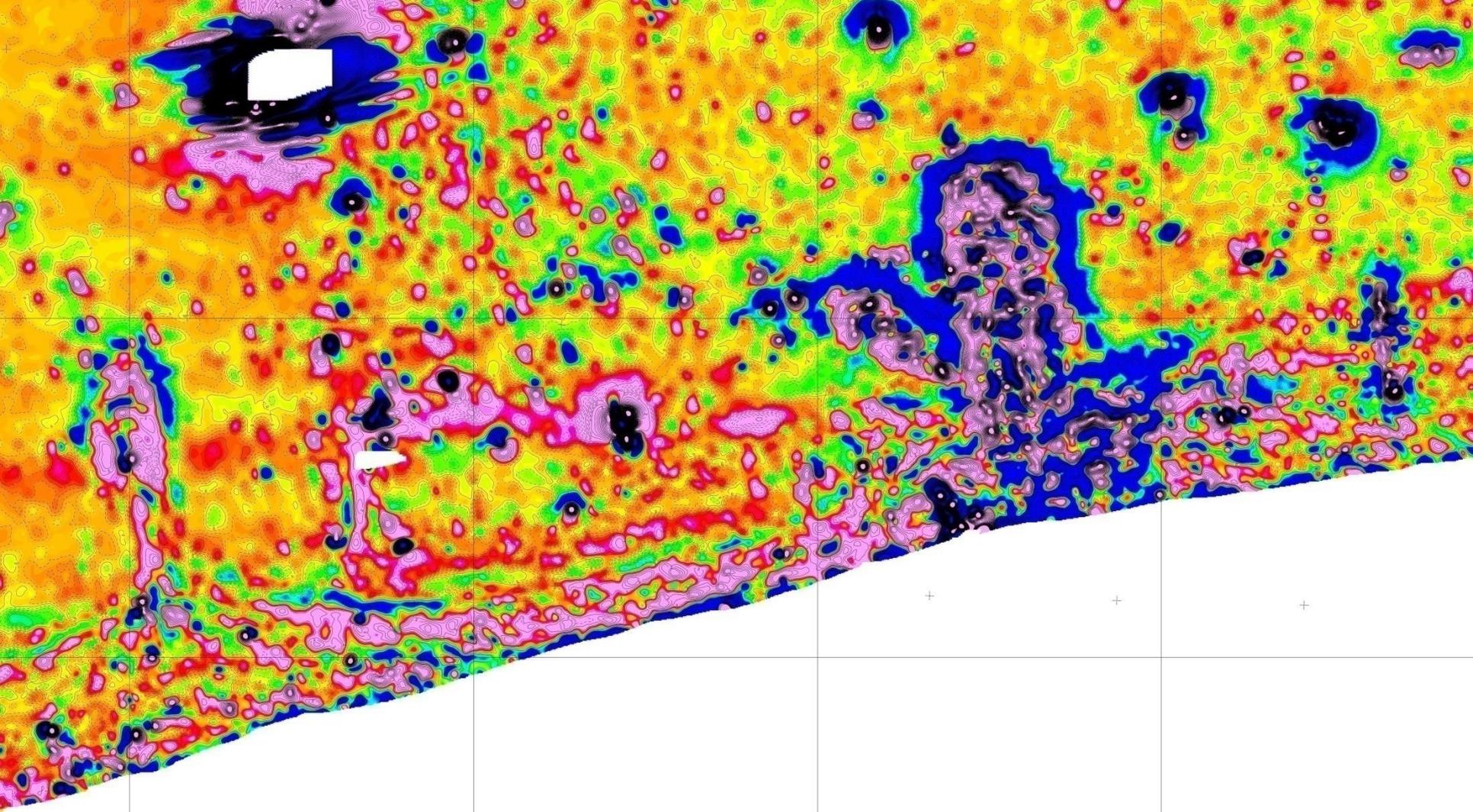
Породы, слагающие голоценовые отложения Таманского полуострова, имеют очень слабые магнитные свойства. Это позволяет фиксировать локальные магнитные аномалии от 5 нТл и выше.





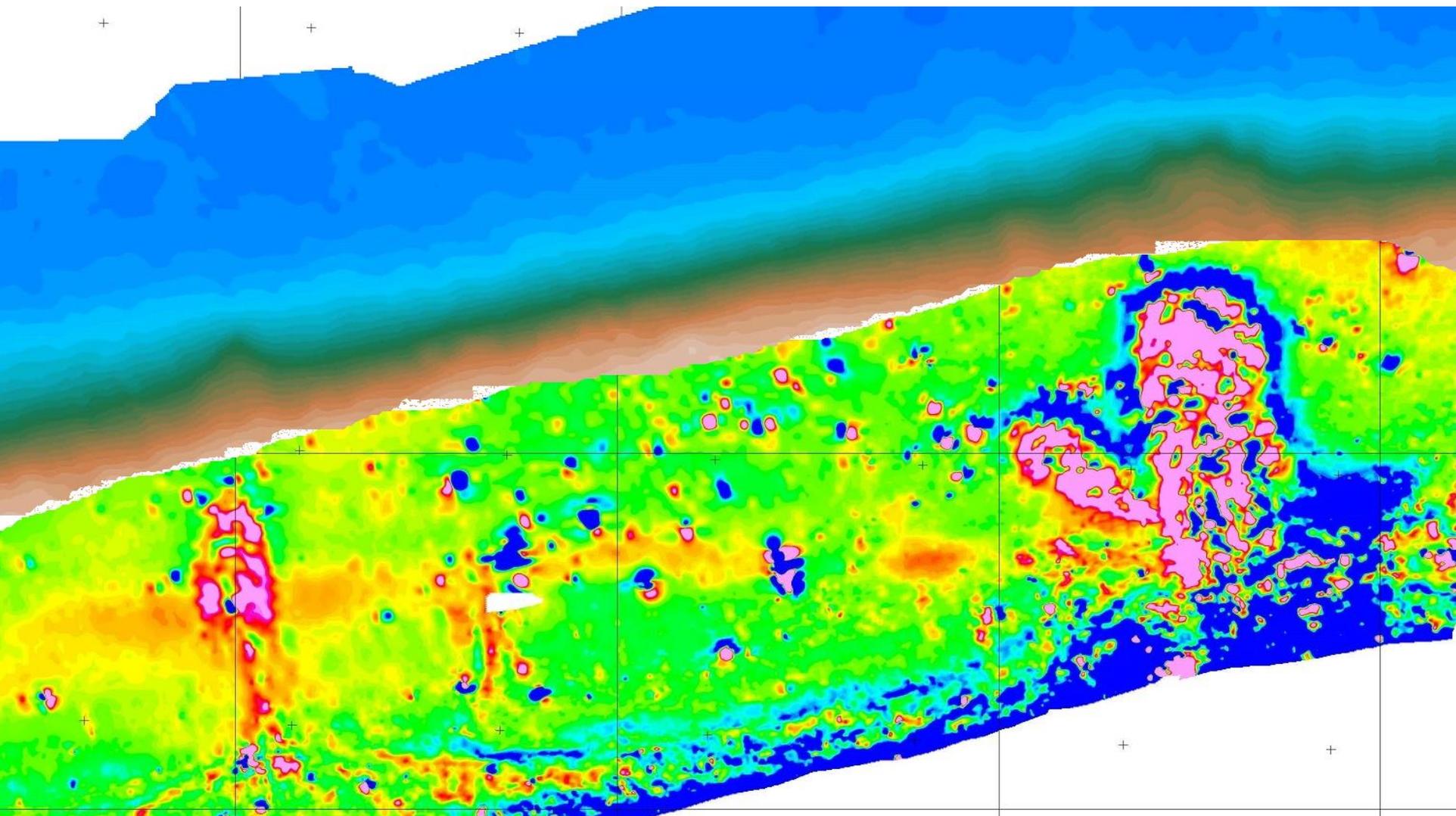
Визуализация данных по магнитным свойствам объектов
в наблюдаемом и трансформированном полях





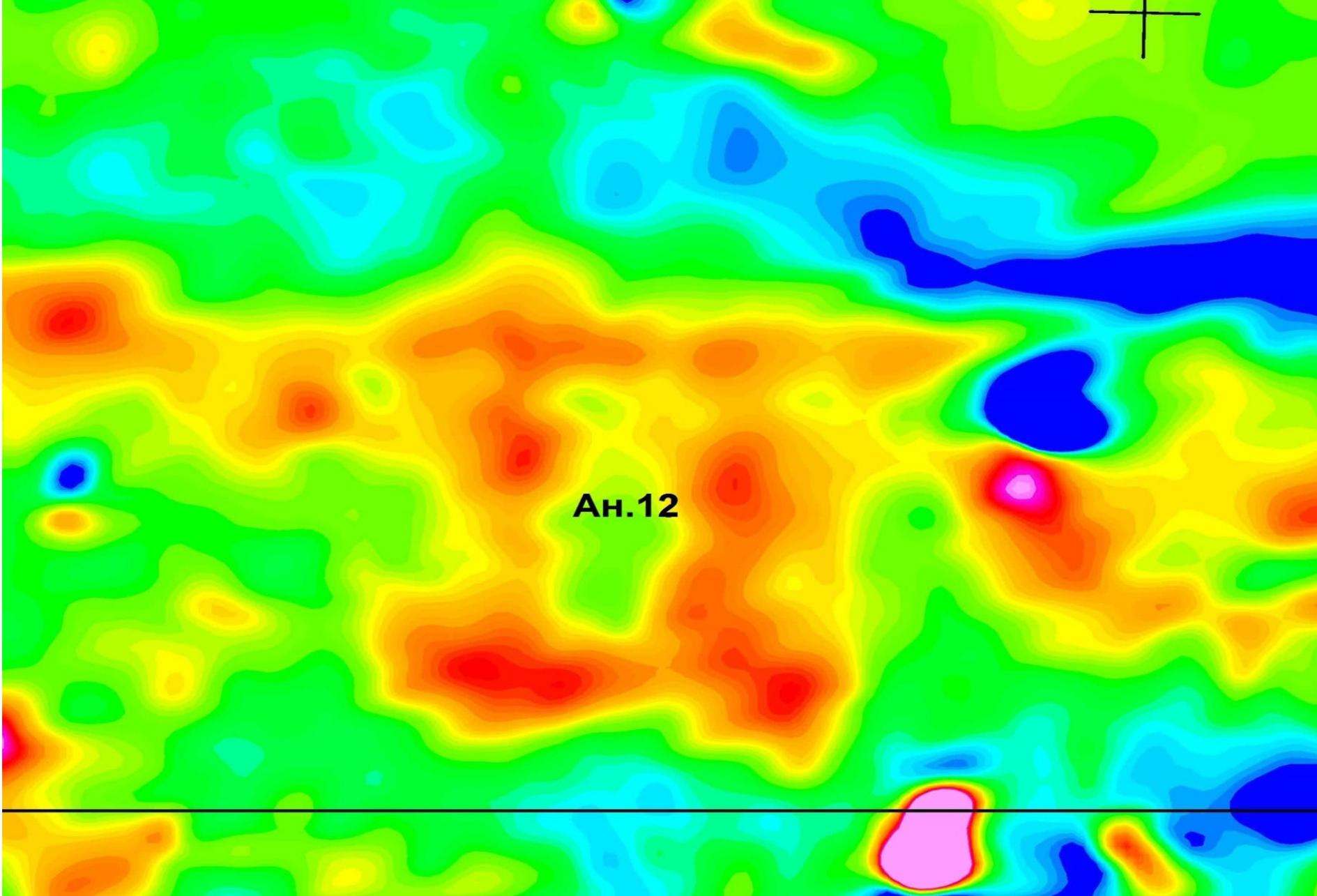
Прибрежная акватория Фанагории в локальном магнитном поле: развалы трех молов/причалов, состоящие из камней разного генезиса; металлические корпуса судов и судовые якоря.





Совпадение объектов на батиметрической и магнитной картах:
северные оконечности каменных насыпей
(развалы причалов или молов).

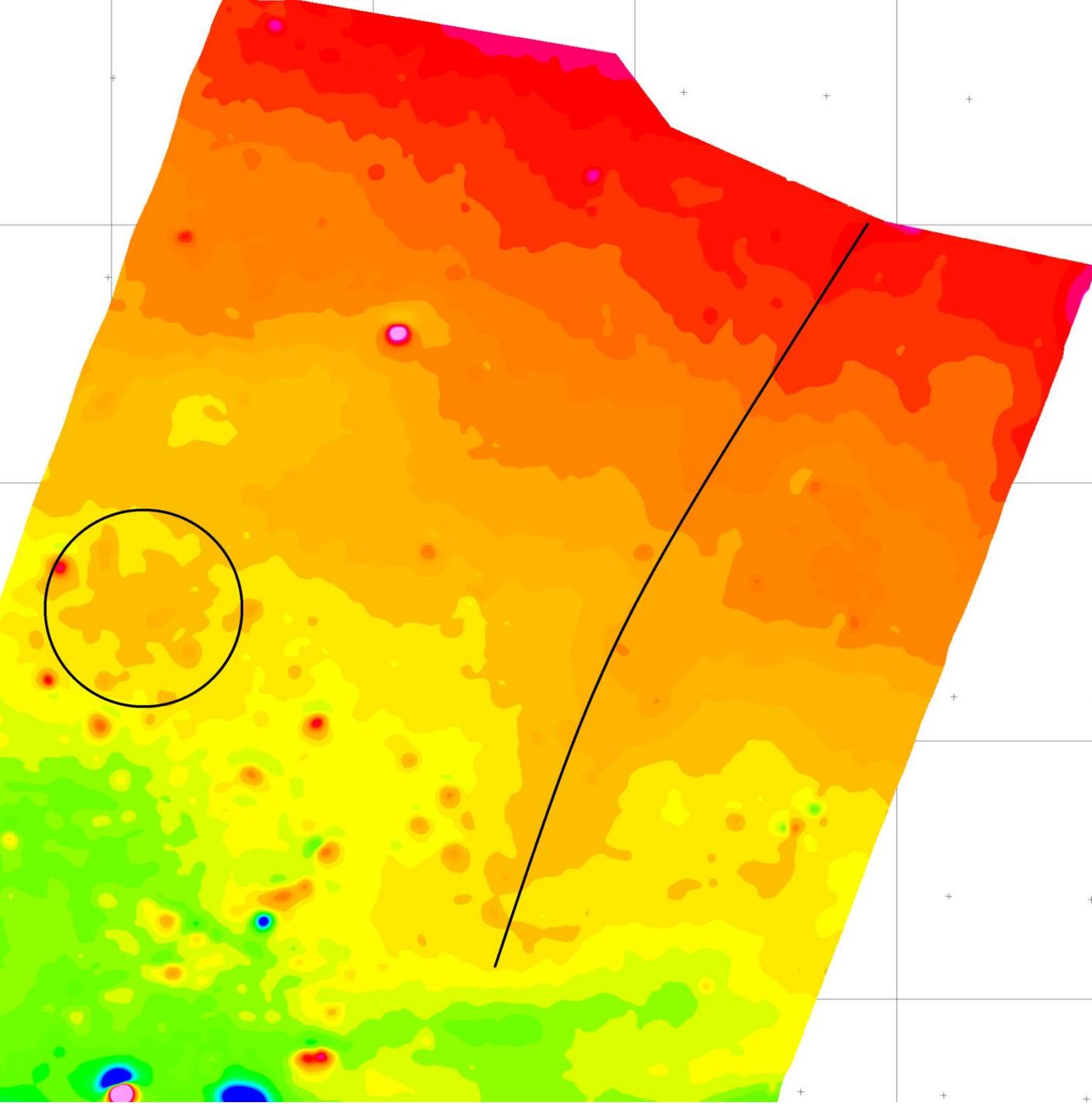




Ан.12

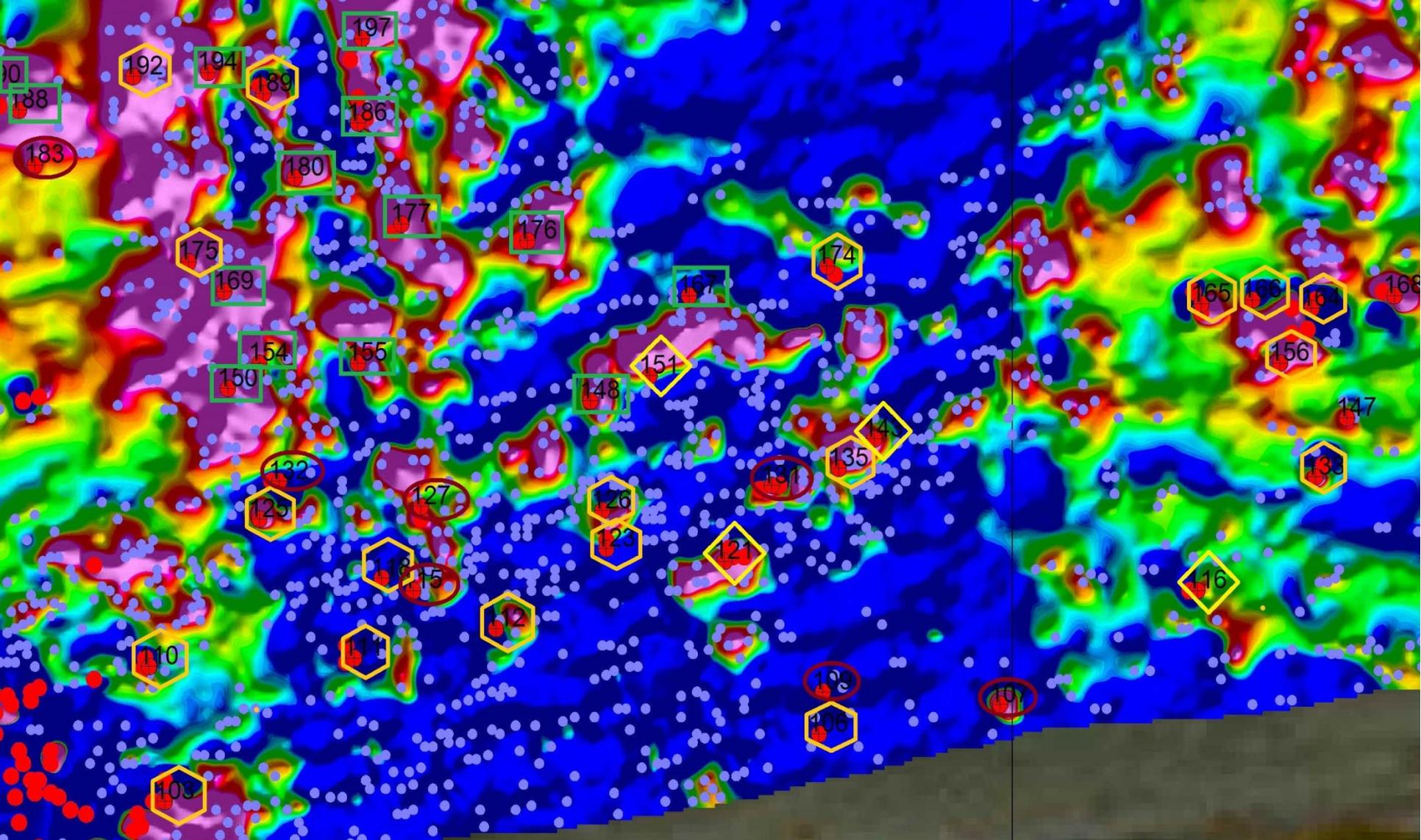
Положительная магнитная аномалия (фундамент постройки?)





Линейная и
кольцевая
магнитные
аномалии,
расположенные
мористее
затопленной
прибрежной
террасы
Фанагории





Анализ результатов разбраковки локальных магнитных аномалий:
классификация по типам аномалеобразующих объектов



MAP

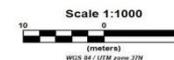
"Comparative Map"

An.608

LEGEND

Center Point Coordinates:
 X=340396.5, Y=5016037
 Grid Window Size = 20*20
 An_sign_608 = 337.2

Map Scale:



Client: Экспедиция ФАЭ ИА РАН

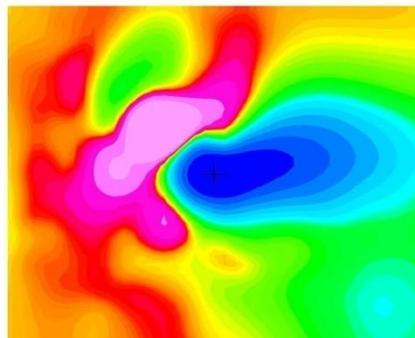
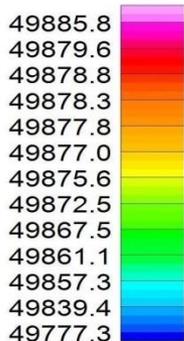
Project: Акватория Фанагория

Contractor: Лучников А Г, Гусаров О С

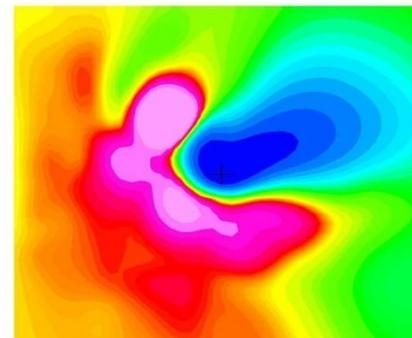
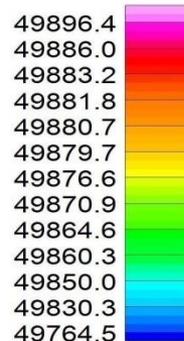
Created by: Verified by:

Date: 2019/04/02 File: MapComp_608

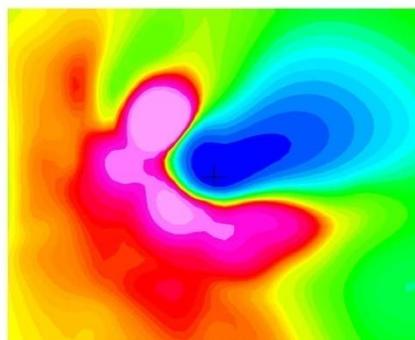
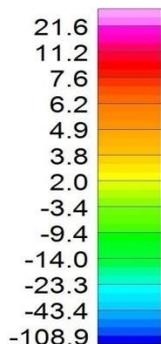
Page number: Approved:



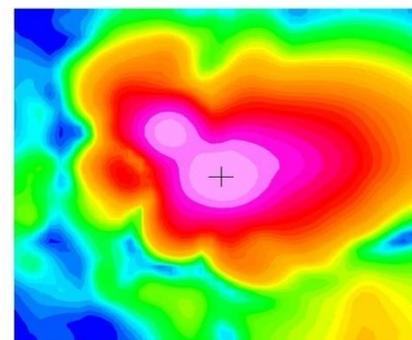
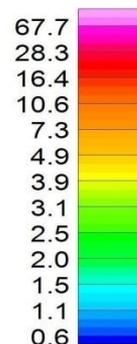
mag_18seam_608.grd



mag_polus_608.grd



locPolusH15_608.grd



An_sig_608.grd

Пример паспорта локальной магнитной аномалии из каталога магнитных аномалий сезона 2018 г.





Измеритель магнитной восприимчивости / удельной электропроводности TerraPlus KT-10 S/C

чувствительность магнитной восприимчивости: 10^{-6} единиц СИ

диапазон измерений магнитной восприимчивости:

от $0,001 \times 10^{-3}$ до $1999,99 \times 10^{-3}$ единиц СИ

чувствительность удельной электропроводности: 1 С/м;

диапазон измерений удельной электропроводности: от 1 до 100 000 С/м





зонд CON 650:

ширина полосы частот 240 Гц

чувствительность <1 нТ рр

8 линейных диапазонов:

от 0–3 нТ до 0–10 000 нТ

водонепроницаемость IP 57

**Феррозондовый вертикальный магнитометр/градиентометр
FEREX® 4.032**





Подводный металлодетектор Minelab EXCALIBUR II

17-ти частотная технология обнаружения (BBS)

частота от 1,5 до 25,5 кГц

последовательная дискриминация по сегментам

катушка DD 10"





Подготовка акватории к детальной магнитной съемке масштаба 1:100 – изъятие ферромагнитных аномалеобразующих объектов.





Локализация и разбраковка локальных магнитных аномалий
феррозондовым магнитометром–градиентометром FEREX® 4.032
и металлоискателем Minelab Excalibur II





Пример локальной магнитной аномалии,
образованной скоплением керамики





Пример локальной магнитной аномалии,
образованной скоплением темноцветных камней





Результаты разбраковки локальных магнитных аномалий

В 2018 г. разбракованы 216
аномалий, в том числе:

- 151 - железо и его сплавы различной степени окисления;
- 19 – объекты в культурном слое, глубже 1 м под поверхностью дна;
- 35 – скопления камней;
- 8 – скопления керамики;
- 1 - аномалия исчезла в процессе разбраковки;
- 2 – не обнаружены (0,93% от разбракованных аномалий)



Спасибо за внимание

