

Татьяна Смекалова  
Олферт Восс  
Аркадий Мельников

# МАГНИТНАЯ РАЗВЕДКА В АРХЕОЛОГИИ

12 ЛЕТ  
ПРИМЕНЕНИЯ  
ОВЕРХАУЗЕРОВСКОГО  
ГРАДИЕНТОМЕТРА  
GSM-19WG



ББК 63.4 : 63.3

V 93

**Т.Н. Смекалова, О. Восс, А.В. Мельников. Магнитная разведка в археологии. 12 лет применения Оверхаузеровского градиентометра GSM-19WG.**

В книге собраны результаты магнитной разведки археологических памятников. В основном рассматриваются практические аспекты применения магнитометрии для изучения различных археологических памятников, находящихся в разных географических и геологических условиях.

Научный редактор: Б.В. Беван

Перевод на русский язык: А.В. Чудин, Т.Н. Смекалова

Дизайн: Ольга Ручка, Светлана Николаева

Контактные адреса:

Olfert Voss

Grøndalsvej 47

Frederiksberg 2000

Denmark

rohr.voss@get2net.dk

Т.Н. Смекалова

Кафедра квантовых магнитных явлений

Физического факультета

Санкт-Петербургского государственного университета

Ульяновская 1

Петродворец, С.-Петербург 198504

Россия

tnsmek@mail.ru

**ISBN 978-87-89531-29-8**

© Смекалова Т.Н., 2007

Восс О. , 2007

Мельников А.В., 2007

# Часть 1 Принципы магнитной развед-

## **Предисловие**

*В этой книге мы попытались собрать информацию о магнитной разведке в археологии, которая может быть полезна для тех, кто решил применить этот метод для исследования археологических объектов. Мы опирались главным образом на наш опыт работы с магнитометром-градиентометром GSM-19WG канадской фирмы Gem Systems, в котором использован эффект Оверхаузера. Мы не задавались целью дать полное объяснение физических принципов метода или магнитометров; вместо этого мы собрали ссылки на книги и статьи, где заинтересованный читатель может найти более детальную информацию. В основном мы уделяли внимание практическим аспектам магнитной разведки для исследования различных археологических памятников, расположенных в разных географических и геологических условиях. Поэтому мы приводим возможно большее количество примеров из опыта нашей полевой работы.*



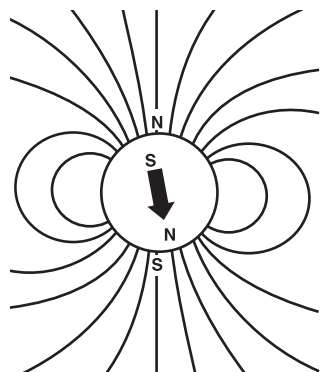
# ВВЕДЕНИЕ

Геофизические методы исследования подземных неоднородностей первоначально были разработаны для изучения геологических структур, но в последние годы они все чаще применяются для археологической разведки. Начиная с работ Аткинсона по измерению электрического удельного сопротивления на археологическом памятнике в 1946 г., археологи все больше и больше используют классические геофизические методы для проведения исследований погребенных объектов культурного наследия (Weymouth, 1986). Усовершенствованные геофизические инструменты и методы вместе с новыми приемами компьютерной обработки и интерпретации данных позволяют во многих случаях обнаруживать и всесторонне изучать различные следы деятельности древнего человека с большой скоростью и без каких-либо повреждений. Поэтому можно сказать, что геофизические методы служат для неразрушающей идентификации погребенных археологических объектов. Использование протонного магнитометра в начале 1950-х г. обычно считают первым применением магниторазведки в археологии (Heimmer, De Vore, 1995, p. 3). Этот метод, пожалуй, является одним из самых эффективных и универсальных среди других геофизических методов, применяемых в археологии, потому что многие археологические объекты имеют индивидуальные магнитные свойства, которые позволяют выявлять их на поверхности памятника по специфическим магнитным аномалиям.

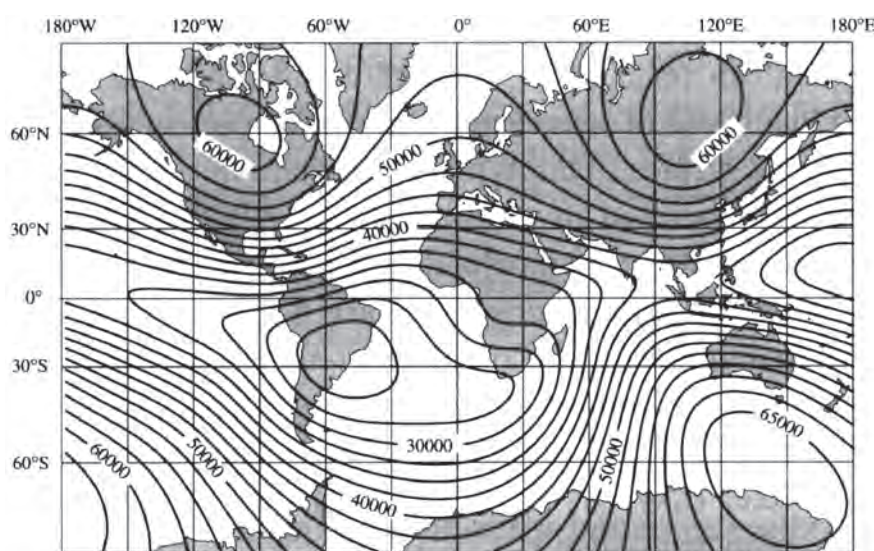


Мартин Эйткин, использующий опытный образец протонного магнитометра. На заднем плане виден датчик на треноге.  
(По: Clark, 1990, стр. 17)

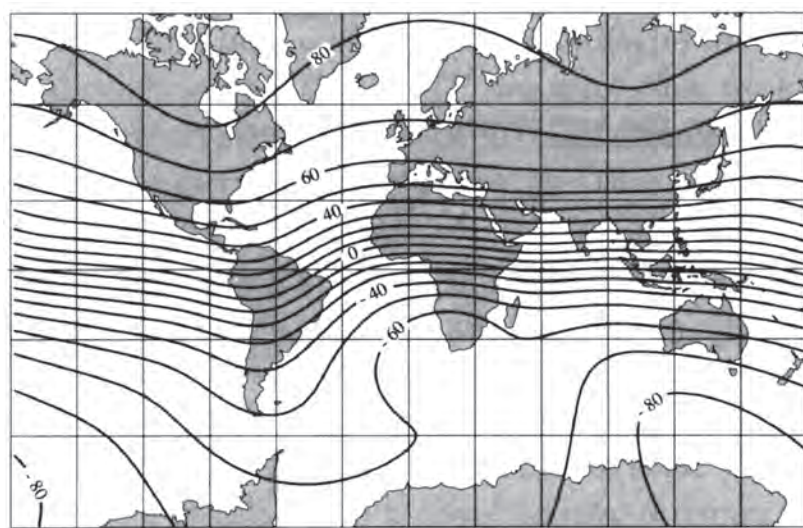
# Метод МАГНИТНОЙ РАЗВЕДКИ



**Магнитное поле Земли** Магнитное поле существует вокруг нас. Мы не видим и не чувствуем его, но мы можем измерять его с помощью специальных инструментов, которые называются магнитометрами. Земное магнитное поле можно в первом приближении представить полем намагниченного стержня, находящегося в центре Земли, ориентированного положительным полюсом на Северный полюс и отклоненного на  $10^\circ$  от оси вращения Земли. Магнитные силовые линии поля Земли направлены вертикально на полюсах и горизонтально в экваториальных областях, в других частях Земного шара они занимают промежуточное положение. Величина магнитного поля на полюсах равняется примерно 70.000 нТл, в районе экватора – около 35.000 нТл. (Breiner, 1973). На всей остальной территории параметры глобального магнитного поля находятся между этими значениями.

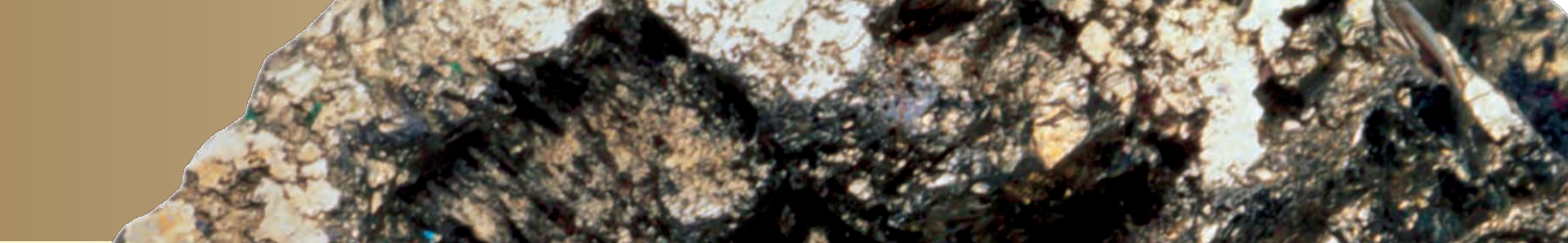


*Интенсивность полного магнитного поля*



*Геомагнитное склонение в градусах от горизонтали*

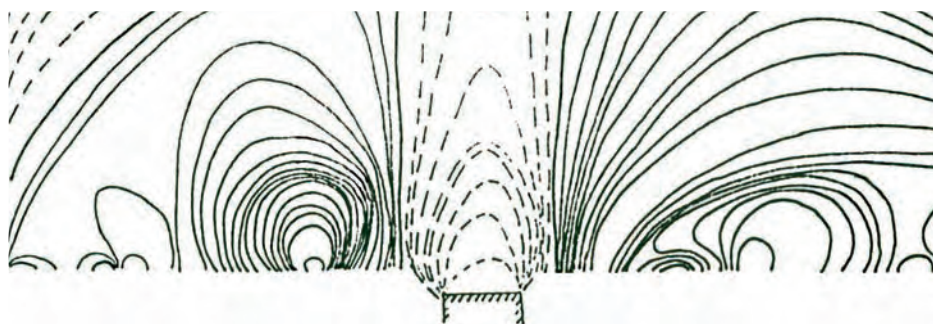
Принцип магниторазведки для поиска погребенных исторических памятников заключается в измерении естественного магнитного поля Земли с очень маленьким шагом и при минимальной высоте расположения датчика. При таких условиях съемки начинает работать необыкновенно чувствительный механизм, а именно, сказывается присутствие в погребенных объектах различного количества магнитных окислов железа. Железо является прекрасным и наиболее чутким индикатором практически любого вида человеческой деятельности. В природе, в естественном состоянии, железо распределено в земной коре в количестве 5-7 %, и присутствует в почвах и глинах в виде немагнитных гидроокислов. Но повседневная и преобразовательская активность людей по обеспечению обогрева жилища, приготовления пищи, строительства домов из дерева, камня, кирпича, и, наконец, производственная деятельность человека, связанная с применением огня – все это на невидимом микроуровне приводило к превращениям немагнитных гидроокислов железа в магнитные и сильномагнитные окислы. Подобные же превращения происходили в почве также и в результате другого экзогенного процесса (т.е. с испусканием энергии) – гниения органических остатков. Еще один природный механизм увеличения магнитной восприимчивости верхнего микрослоя почвы – итог многократных смен теплого сухого и влажного холодного времен года. Частицы верхнего почвенного слоя с годами сносятся ветром и водой в искусственные и природные углубления (ямы, канавы, рвы, колодцы и т.п.), накапливаются там и вызывают, таким образом, повышенную намагниченность их заполнения. Необходимо также учитывать деятельность магнитных бактерий.



## Магнитные аномалии

Если бы Земля состояла из однородного материала, магнитные силовые линии были бы равномерно распределены между полюсами, и в пределах небольшой области они были бы параллельны. Однако, поскольку под земной поверхностью могут находиться объекты, имеющие отличные от окружающей среды магнитные свойства, силовые линии земного магнитного поля искажаются. Локальные возмущения глобального магнитного называют магнитными аномалиями (Breiner, 1973).

Аномалии от археологических объектов или горных пород и минералов обуславливаются в основном за счет присутствия самого часто встречающегося магнитного материала, магнетита,  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , или связанных с ним минералов. Обычно горные породы содержат некоторое количество магнетита: от долей процента до нескольких процентов.



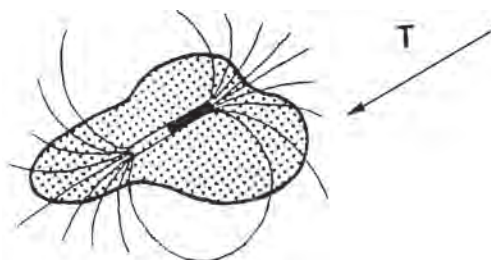
Измеренное распределение магнитных силовых линий в вертикальной плоскости на эллинистическом поселении Генеральское, в восточном Крыму

	Магнитная восприимчивость, ед. СИ								
	0,000001	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100
Железо									железо
Окиси железа			гематит	шлак	магнетит				
Вулканические породы			базальт						
			керамика						
			гранит						
			горелая почва						
			габбро						
			диорит						
Метаморфические породы			кварцит						
			песчаник						
			почва						
			подпочва						
Осадочные породы		мрамор							
	мел								
	известняк								
	песок								

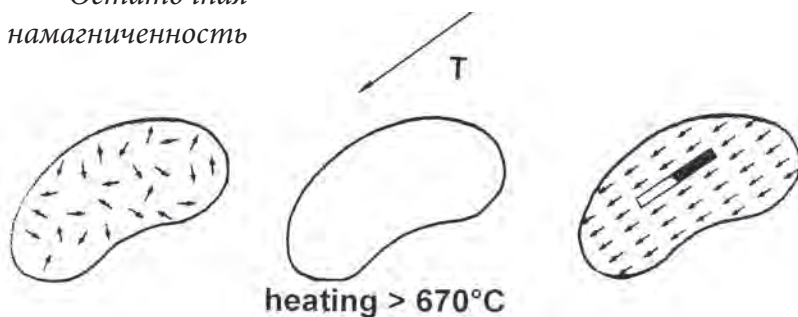
# Метод МАГНИТНОЙ РАЗВЕДКИ

Аномалии магнитного поля Земли вызываются индуцированной или остаточной намагниченностью. Индуцированная намагниченность означает, что объект в магнитном поле Земли становится намагниченным из-за воздействия на него Земного магнитного поля.

Индуцированная  
намагниченность



Остаточная  
намагниченность



Во время нагрева, особенно при высоких температурах, небольшие области, называемые доменами, переориентируются и при охлаждении имеют тенденцию располагаться более или менее по направлению современного магнитного поля Земли. Таким образом, они выстраиваются параллельно друг другу и создают намагниченность, жестко привязанную к объекту (Heimner, De Vore, 1995, p. 12).

Оба вида магнетизма играют важную роль при археологических исследованиях. Индуцированная намагниченность прямо пропорциональна интенсивности окружающего поля. Способность материала увеличивать локальное поле называется магнитной восприимчивостью, а магнитная восприимчивость – это мера, выражающая насколько легко вещество намагничивается Земным магнитным полем (Heimner, De Vore, 1995, p. 12).

Разница в магнитной восприимчивости между верхним слоем почвы, подпочвой и материковыми слоями (верхний слой почвы обычно более магнитен, чем подпочва) позволяют обнаруживать канавы, ямы, колодцы, которые были выкопаны в древнее время и затем заносились частичками верхнего слоя почвы ветром или водой. Они создают положительные магнитные аномалии. Наоборот, кладки из менее магнитного материала, находящиеся в слабомагнитной почве, например известняковые стены, могут быть найдены по отрицательным магнитным сигналам за счет вычитающего эффекта.

Термоостаточная намагниченность возникает при нагревании: либо при естественном, как в случае вулканических пород, либо при искусственном, как в случае глинобитных печей, керамической посуды, кирпичей, черепицы и других объектов, часто находимых на археологических памятниках. Остаточная намагниченность может быть в 10 и более раз больше, чем индуцированная намагниченность. Поэтому такие объекты, как глинобитные обжигательные печи, металлургические горны, крупные керамические сосуды создают очень сильные магнитные аномалии. Если эти объекты не смещались со времени остывания после последнего обжига, то их можно датировать по измеренным значениям направления и величины остаточной намагниченности, соответствующим параметрам древнего магнитного поля (археомангнитная датировка). Эти параметры можно также получить путем анализа магнитных аномалий над объектами.

Термоостаточная намагниченность приобретает глиной при нагревании и «заморажива-

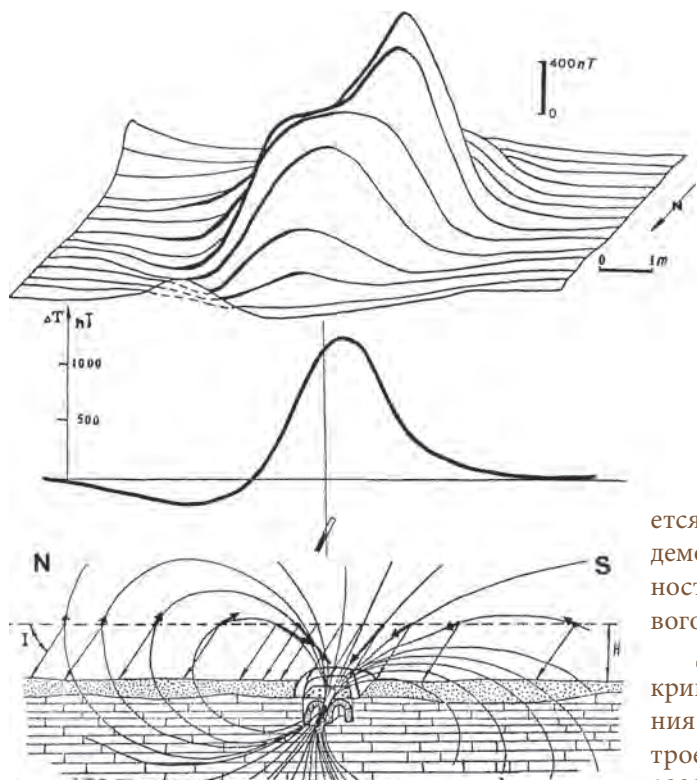


Измерение магнитной восприимчивости отложений мела и заполнения неолитических кремневых шахт в Хоу в Северной Ютландии в Дании с использованием малогабаритного измерителя ПИМВ1-М (С.-Петербург)

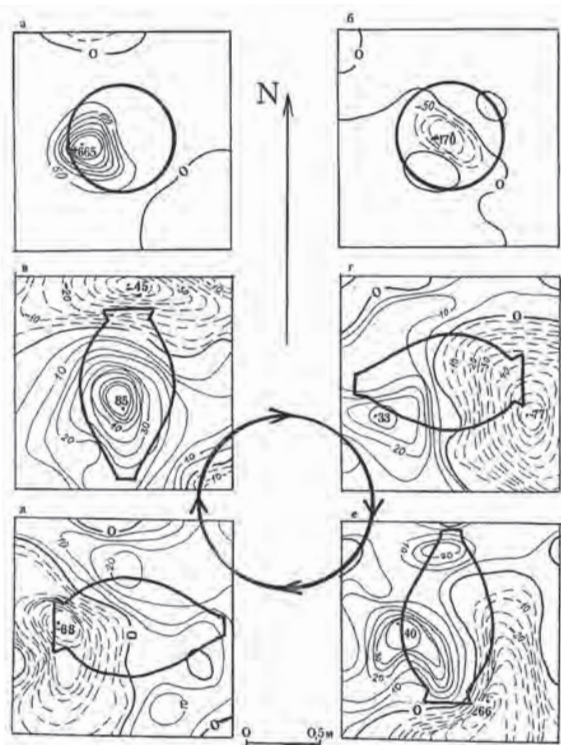
Остаточная намагниченность – это намагниченность, которая существует в объекте даже при отсутствии внешнего магнитного поля



*Печь для выпечки хлеба.  
Оазис Дахла,  
Египет*



*Схема формирования магнитной аномалии от печи*



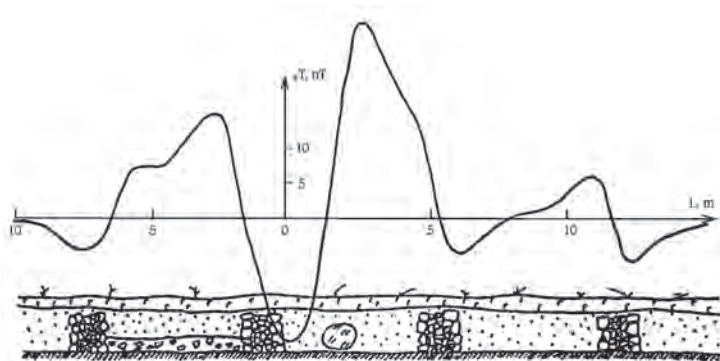
*Магнитное поле от большого средневекового пифоса в различном его положении:*

- вверху слева – пифос стоит на горлышке;*
- вверху справа – на дне;*
- четыре карты ниже – пифос лежит на боку, горлом направлен по разным сторонам света*

ется» в ней при остывании. Рисунок слева внизу демонстрирует термоостаточную намагниченность большого глиняного сосуда – средневекового пифоса.

Для археомангнитной датировки важно знать кривую вековых вариаций наклонения и склонения Земного магнитного поля. Такая кривая построена для Великобритании (Clark, Tarling, Noël, 1988), Италии, Болгарии (Kovacheva, 1969), Балкан (Kovacheva, Vejovich, 1977), России (Бурлацкая, 1982); Юго-Западной и Северной Америки (Watanabe, DuBois, 1965), Арканзаса (Wolfman, 1979), Украины (Загний, Русаков, 1982). Н. Абрахамсен был сделан пересчет кривой, построенной для Британии, в кривую для Дании (Abrahamsen, 1996).

Таким образом, на археологическом памятнике обычно наблюдается достаточно сложная картина магнитного поля, состоящая из сильных и слабых отрицательных и положительных магнитных аномалий от различных археологических структур. Рвы, колодцы, ямы, создают локальные магнитные аномалии в диапазоне до 20 нТл. Более редкие, обожженные структуры – 10-1000 нТл. Еще более редкие железные археологические предметы, а также шлаки от выплавки железа – создают аномалии величинами от 20 до 2000 нТл.



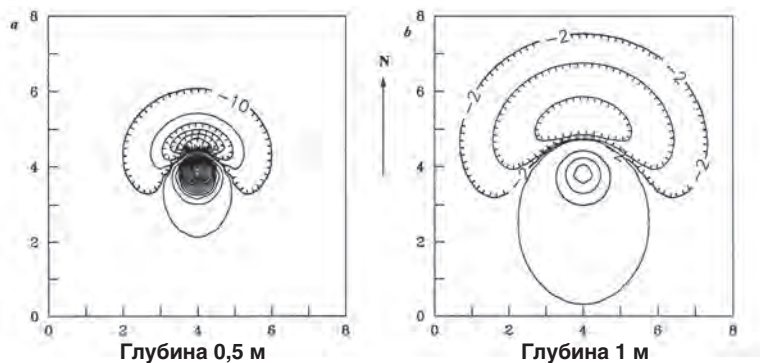
*Типичные магнитные аномалии на археологическом памятнике*

# Метод МАГНИТНОЙ РАЗВЕДКИ

Необходимо кратко остановиться хотя бы на двух свойствах аномалий от археологических объектов, которые важны при проведении полевых работ. Во-первых, это асимметричность аномалий – следствие обычно наклонного направления Земного магнитного поля. Это означает, что аномалия от одного и того же диполя имеет различную форму в разных областях Земли: на полюсах, в средних широтах, на экваторе (см. верхний рисунок). Еще одно свойство магнитных аномалий – их изменение с увеличением глубины залегания источников: чем глубже объект, тем аномалия от него получается более широкой и менее интенсивной (см. нижний рисунок).



Различная форма аномалии от диполя в разных областях Земли



Зависимость ширины и интенсивности аномалии от глубины залегания источника

## Полевая методика магнитной разведки

В начальной стадии исследования проводится разведка так называемым методом «свободного поиска» для определения границ участка, местоположения групп и некоторых отдельных намагниченных объектов. На этом этапе оператор измеряет магнитное поле с помощью протонного или использующего эффект Оверхаузера магнитометра, без координатной сетки по произвольным маршрутам с

шагом 1-1,5 м, и помечает небольшими флажками аномалии. Метод «свободного поиска» характеризуется высокой скоростью (можно исследовать до 3-4 га в день).

Метод детального магнитного картирования археологических объектов состоит в измерении Земного магнитного поля от точки к точке с малым шагом (не более полуметра), близко к поверхности, и представлении измерений на магнитной карте.

На участке создается координатная сетка для сбора данных. Обычно, если нет препятствий, участки делаются размерами 50 м x 50 м или 40 м x 40 м, чтобы охватить всю исследуемую область. По двум противоположным сторонам участка прокладываются две пластиковых рулетки и между ними натягиваются 50- или 40- метровые веревки с метровыми метками.

Основные инструменты, которые мы используем в поле – два канадских магнитометра-градиентометра, использующих эффект Оверхаузера, GSM-19WG, производства фирмы Gem Systems, г. Онтарио. Измерения делаются вдоль прямых параллельных линий (веревки с метровыми метками); расстояние между линиями – 0,5 м. Магнитометр используется в так называемом «походном» (“walking”) режиме, при котором измерения происходят автоматически через каждые 0,2 секунды, и таким образом расстояние между измерениями вдоль линий оказывается не более 0,2 – 0,3 метра. Высота датчика над поверхностью обычно около 0,2 – 0,4 метра. Измерения могут проводить один или два оператора одновременно, используя два магнитометра.

Если площадь археологического памятника велика, необходимо непрерывно наблюдать дневные вариации Земного магнитного поля. Еще один, третий, магнитометр используется для контроля временных изменений магнитного поля. Мы для этих целей используем протонный магнитометр ММПГ-1М производства С.-Петербургского завода «Геологоразведка». Его датчик устанавливается на контрольной точке, находящейся в зоне более или менее «нормального» магнитного поля. Два других (рабочих) магнитометра GSM-19WG используются для измерения по площади участка. Сигналы от рабочих и контрольного датчиков используются для удаления дневных (временных) вариаций Земного магнитного поля с

использованием специальной компьютерной программы.

Все измеренные данные хранятся в памяти магнитометра; после проведения полевых измерений они выгружаются в компьютер. После вычитания дневных вариаций Земного поля, данные представляются в виде магнитных карт. С помощью используемой нами лицензионной программы Surfer (Colorado, Golden) можно осуществлять различные представления данных, из которых наиболее часто используемые - карты изолиний с цветной заливкой и полутоновые черно-белые карты. Иногда полезными оказываются также представления в виде трехмерных графиков. На картах изолиний положительные аномалии изображаются синим цветом различной интенсивности, отрицательные – красным. На полутональных картах положительные аномалии отмечены темным цветом, отрицательные – светлым.



*Предварительное наблюдение магнитной карты в поле. Юго-западная Ютландия*

## Стадии магниторазведки



*Метод «свободного поиска». Хольстед, Ютландия, Дания*



*Соединение магнитных карт больших территорий*



*Детальная съемка по координатной сетке. Неолитические шахты по добыче кремня в Хоу, на севере Ютландии в Дании*



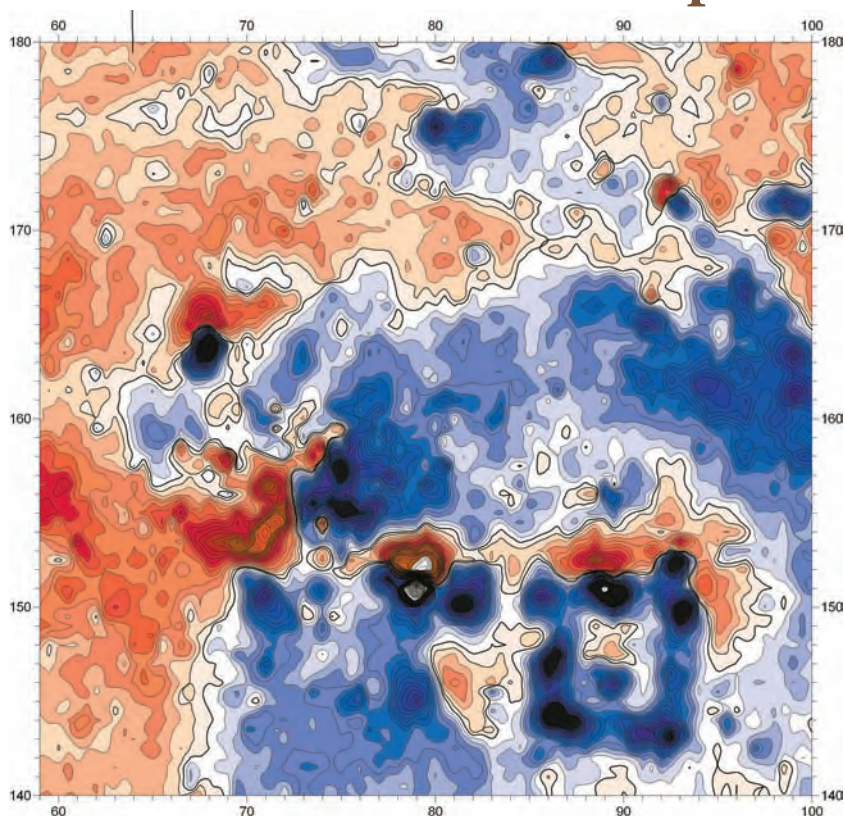
*Проверка магнитных аномалий раскопками. Неолитические шахты в Хоу*

# Метод МАГНИТНОЙ РАЗВЕДКИ

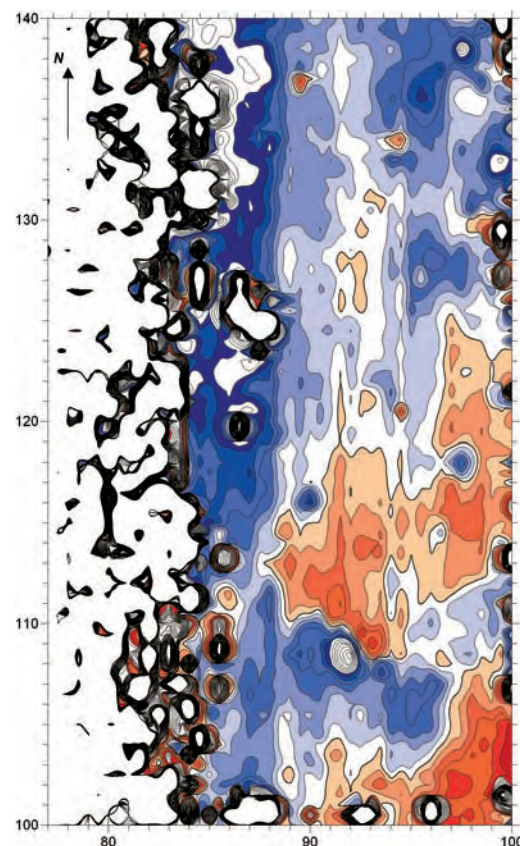
## Ограничения магниторазведки

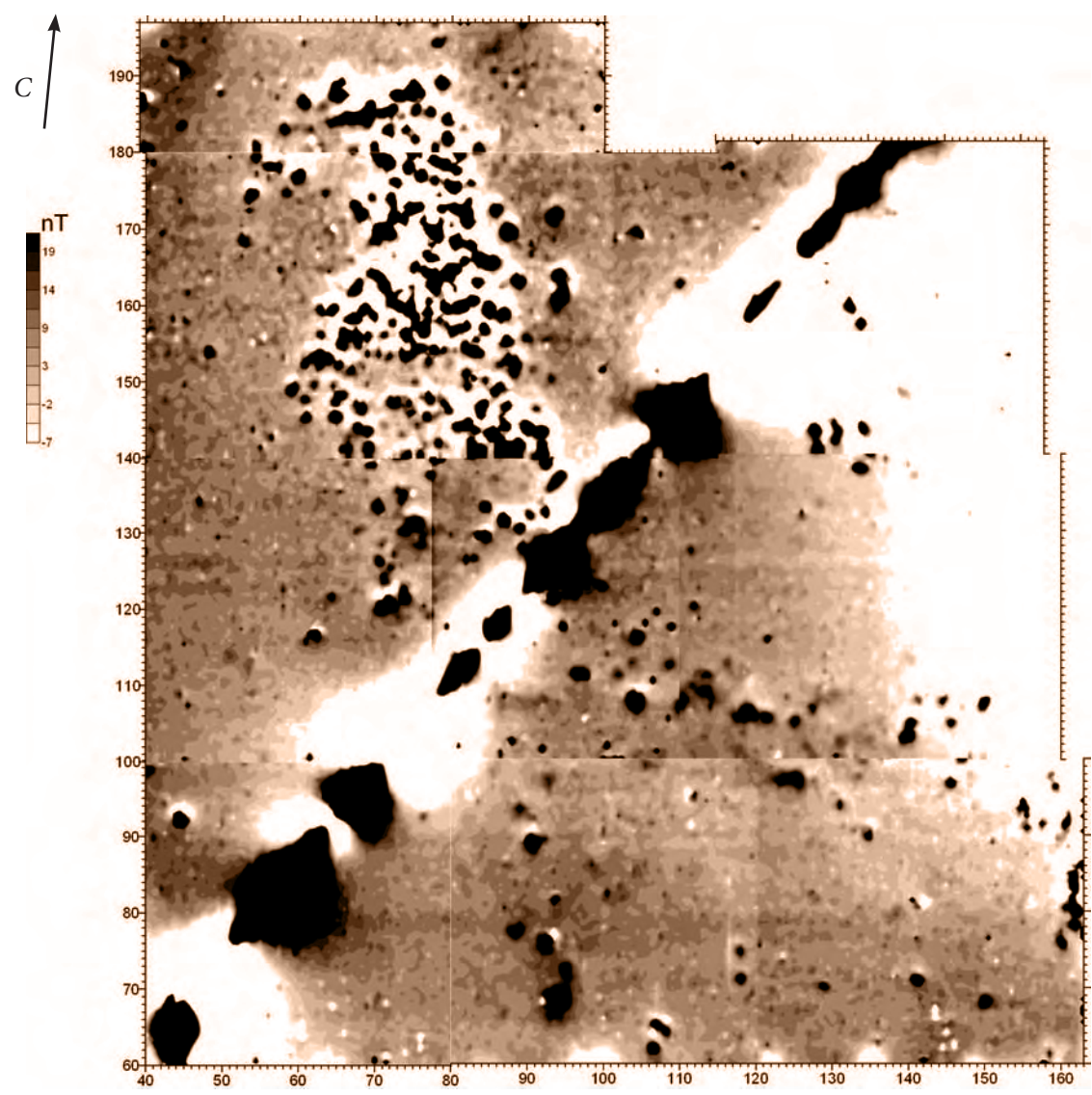
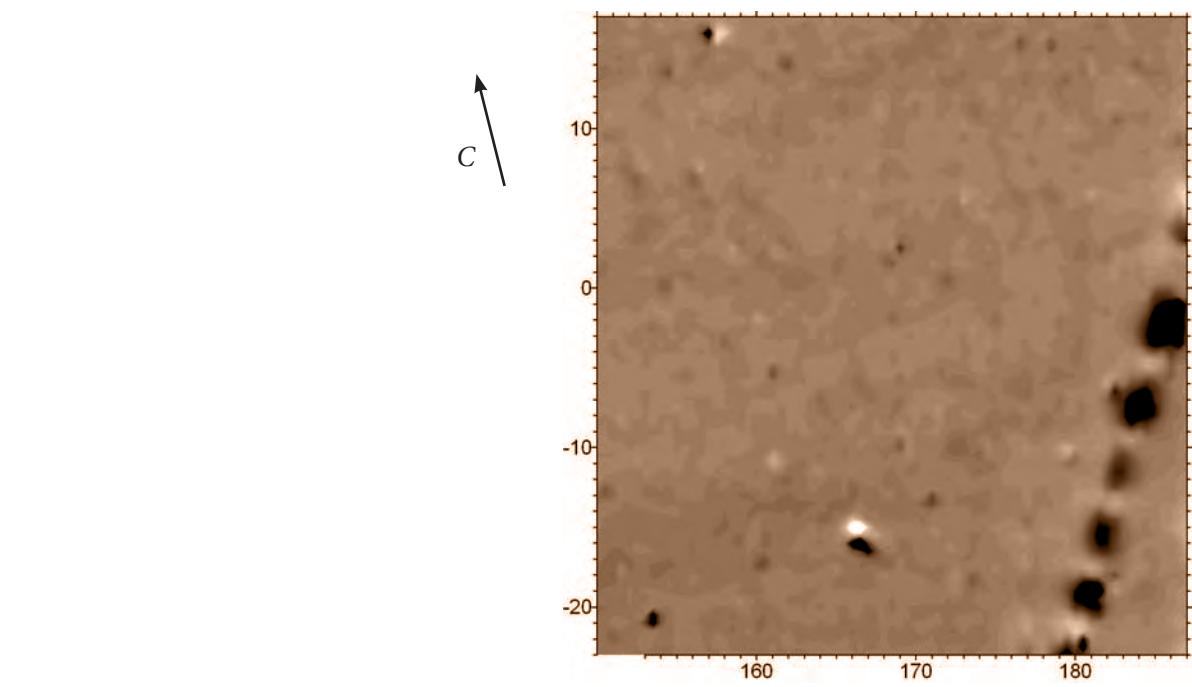
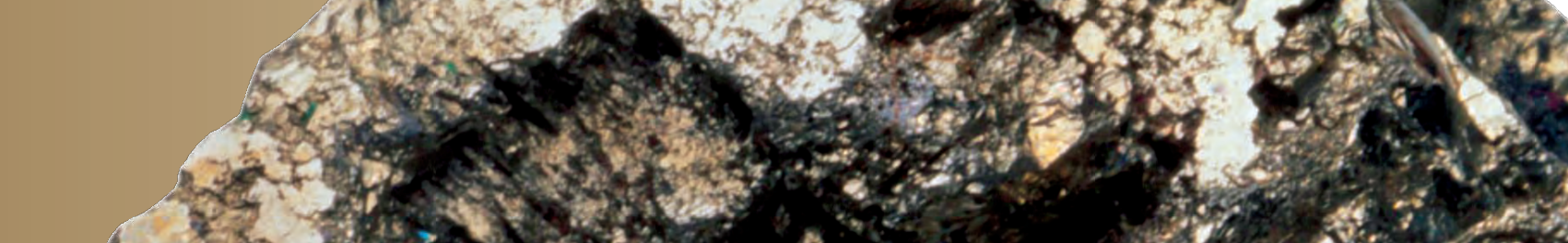
Метод магниторазведки, также как и другие геофизические методы, дает косвенную информацию о погребенных археологических объектах, геофизик может интерпретировать данные лишь в терминах различных аномалий. О конкретных источниках аномалий можно делать предположения, но только раскопки могут выявить характер самого аномалеобразующего объекта.

Все геофизические методы подвержены шумам. Шум – это не что иное, как ложные сигналы при проведении геофизических измерений. Ложные сигналы могут быть вызваны современными строениями (здания, заборы, линии электропередач, мелкие железные объекты на поверхности участка, трубопроводы) или природными явлениями (магнитная материнская порода, солнечные бури, молнии). Источники магнитных шумов должны быть определены до проведения полевой съемки, так как можно выбрать методику измерений таким образом, чтобы шумы были устранены или существенно уменьшены (Breiner, 1973).



Ниже, слева: Магнитная разведка на месте руин замка в Эйбю, в Дании. Участок магнитной съемки находился под линией электропередач. Ниже, справа: Значения магнитного поля под электрическими проводами полностью искажены за счет электромагнитной помехи. Выше: магнитная карта участка, который был измерен после отключения электрического тока в линии электропередач. Контуры погребенных прямоугольных помещений видны очень хорошо





Участки магнитной съемки на железодельном центре в Юдерике в юго-западной Ютландии. Выше: магнитная аномалия от подземного электрического кабеля. Ниже: магнитная карта, на которой видна линия газопровода, пересекающая участок в диагональном направлении и большая группа шлаковых блоков в северо-западном углу участка

# МАГНИТОМЕТРЫ

В течение многих лет с 1978 г. археологической разведки мы использовали ряд магнитометров, выпускаемых Санкт-Петербургским заводом «Геологоразведка»:

оптико-механические магнитометры М-27М;  
протонные магнитометры ММР-203 и ММПГ-1;  
цезиевые магнитометры ММ-60, М-33 и ПКМ-1.

В настоящее время нашими главными рабочими инструментами служат два Оверхаузеровских магнитометра-градиентометра GSM-19WG производства GEM systems Inc. (Онтарио, Канада)



Справа налево:  
Брюс Беван с ММР-60,  
Олферт Восс,  
Татьяна  
Смекалова  
с GSM-19WG  
и М-33 на  
железоплавильном  
участке Snogir  
в северо-западной  
Ютландии,  
1996 г.

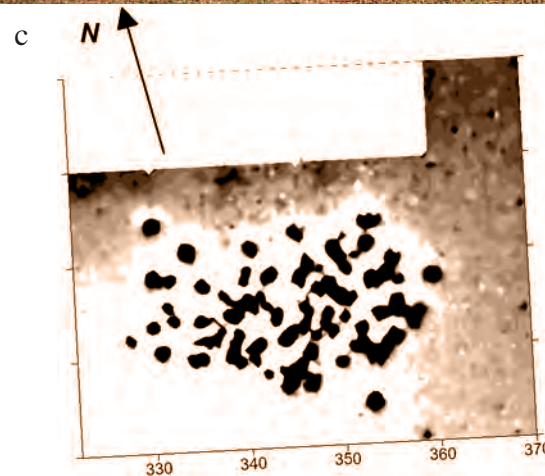
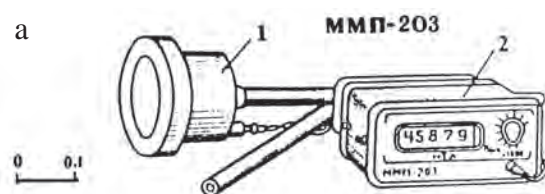
**Протонные магнитометры** свободной прецессии – до сих пор одни из самых часто используемых для археологических целей типов портативных магнитометров.

В магнитометре используется явление свободной магнитной прецессии протонов в образце водород-содержащей жидкости (вода, керосин, спирт и т.д.) для измерения полной интенсивности поля. Вращающиеся протоны, которые ведут себя как маленькие магнитные диполи, временно поляризуются однородным сильным магнитным полем, наведенным током в катушке. Когда сильное поле выключается, вращение протонов заставляет их прецессировать вокруг направления Земного магнитного поля. Прецессирующие протоны в свою очередь генерируют небольшой сигнал в той же катушке, которая их поляризовала, и частота этого сигнала точно пропорциональна полной интенсивности Земного магнитного поля, которая может быть измерена с точностью до 1 нТл.

Принцип действия протонного магнитометра так прост и элегантен, что он до сих пор применяется для производства магнитометров, несмотря на разработки других методов в течение последних десятилетий (Scollar, Tabbagh, Hesse, Herzog, 1990, p. 450-456).

Протонные магнитометры, однако, имеют два серьезных недостатка. Во-первых, допустимый градиент составляет всего 300 нТл/м. Кроме этого, за счет времени поляризации ядер водорода, время, затрачиваемое на одно измерение, около двух-трех секунд, достаточно велико.

В последнее время протонные инструменты были в значительной степени заменены новыми, намного более быстрыми. Мы использовали протонный магнитометр ММР-203 главным образом для предварительного «свободного поиска» на исследуемой территории.



Протонный  
градиентометр  
G-856AG фирмы  
Geometrics, Ка-  
лифорния, США

в течение последних десятилетий (Scollar, Tabbagh, Hesse, Herzog, 1990, p. 450-456). Протонные магнитометры, однако, имеют два серьезных недостатка. Во-первых, допустимый градиент составляет всего 300 нТл/м. Кроме этого, за счет времени поляризации ядер водорода, время, затрачиваемое на одно измерение, около двух-трех секунд, достаточно велико.

В последнее время протонные инструменты были в значительной степени заменены новыми, намного более быстрыми. Мы использовали протонный магнитометр ММР-203 главным образом для предварительного «свободного поиска» на исследуемой территории.

*a – протонный магнитометр ММР-203.*

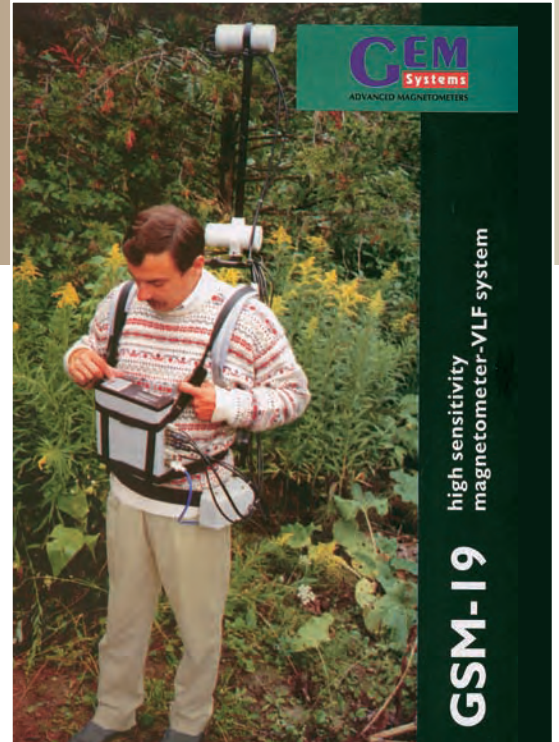
*Точность 1 нТл; время измерения 3с.  
b – метод «свободного поиска» с использованием протонного магнитометра ММР-203. Аномалии от древних шлаковых блоков отмечены белыми флажками.*

*c – Детальная магнитная карта, полученная впоследствии на этом участке с использованием Оверхаузеровского градиентометра GSM-19WG. Темные точки – мощные положительные аномалии от шлаковых блоков. Цифры по осям – расстояние в метрах*

**Оверхаузеровские магнитометры** – это разновидность магнитометров свободной прецессии протонов. При этом вместо статической поляризации постоянным магнитным полем применяется динамическая поляризация ядер, которая наблюдается в растворах с двумя системами сильно взаимодействующих спиновых систем (в данном случае – ядерных и электронных спинов). На рабочее вещество воздействуют переменным магнитным полем на частоте электронного парамагнитного резонанса, а за счет внутренних взаимодействий происходит перераспределение населенностей ядерных уровней энергии, выражающееся в поляризации протонов. Метод динамической поляризации позволяет сократить длительность цикла измерения, т.е. увеличить быстродействие магнитометра. Чувствительность в 0,01 нТл реально достигается на практике (Scollar, Tabbagh, Hesse, Herzog, 1990, стр.450-456).

В наших археологических разведках мы используем, в основном, Оверхаузеровские градиентометры GSM-19WG компании GEM Systems (Канада, Онтарио). Эти магнитометры позволяют проводить измерения магнитного поля со скоростью до 5 измерений в секунду и хранить около 32 Мб памяти. Чувствительность его составляет от 0,02 до 0,015 нТл. Допустимый градиент – 10000 нТл/м.

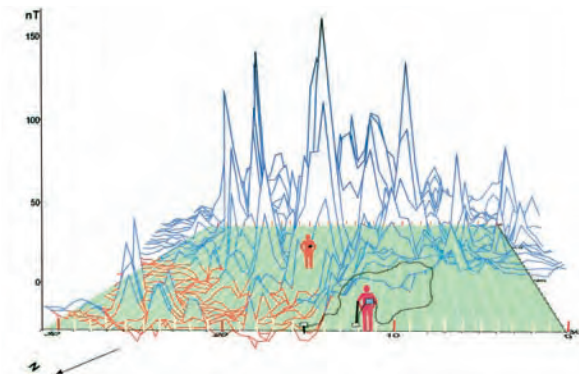
Расстояние между двумя датчиками в таком градиентометре может быть изменено по желанию исследователя, и высота датчика может меняться.



*GSM-19WG для исследования магнитного градиента (показан вариант вертикального градиента)*

*Измерительный блок GSM-19WG. На экране – график в реальном времени*

*Магниторазведка на кургане в Зеландии, Дания*



*Гларборг. Зеландия, Дания. 2001 г. Выше: схема магнитной разведки с одним градиентометром GSM-19WG (один датчик установлен на базовой точке для контроля временных изменений; он присоединен к консоли при помощи длинного кабеля). Показаны графики магнитного поля. Ниже: магниторазведка на памятнике. Один оператор накапливает магнитные данные, а другой – измеряет GPS-координаты участка*

# МАГНИТОМЕТРЫ

Цезиевый магнитометр ПКМ-1, «Геологоразведка», Санкт-Петербург, Россия



**Цезиевые магнитометры** – очень чувствительный тип инструментов, их характеризует высокая чувствительность – около 0,01 нТл.

Их принцип более сложный, чем у протонных магнитометров. Они работают на атомном, а не на ядерном уровне. Для поляризации используется оптическая лампа. Когда монохроматический свет проходит через магнитное поле в рабочем веществе, происходит взаимодействие между спинами вещества и электромагнитными квантами света. В современных приборах в качестве рабочего вещества используется Цезий 133.

Датчик – это стеклянная ячейка, содержащая металлический цезий. Он слегка нагревается для испарения материала. Подкачкой светом с круговой поляризацией электроны в атомах цезия возбуждаются и переходят на более высокий энергетический уровень. Электроны быстро возвращаются на свой обычный энергетический уровень, но они постоянно снова возбуждаются. Магнитные векторы атомов прецессируют вокруг внешнего поля, и их моменты выстраиваются вдоль одной из вращательных компонент поля катушки вокруг стеклянной ячейки. Это «антинакачивает» спины и увеличивает прозрачность ячейки с максимумом резонанса, который происходит при частоте, пропорциональной полной интенсивности магнитного поля (Scollar, Tabbagh, Hesse, Herzog, 1990, стр. 466-469). Из-за высоких частот прецессии обеспечивается хорошая чувствительность цезиевых магнитометров, что важно для регистрации слабых сигналов. Другое преимущество цезиевых магнитометров – высокий допустимый градиент делает их полезными при измерении сильно намагниченных археологических объектов на малой высоте.

*Цезиевый магнитометр ПКМ-1 мы применяли там, где невозможны непрерывные измерения с GSM-19WG в автоматическом режиме – в зарослях кустарника, на крутых склонах, пересеченной местности. Магнитная съемка на склоне акрополя Калидона в Греции*

**Феррозондовый магнитометр.** Его датчик состоит из двух одинаковых параллельных пластин из сплава с высокой магнитной проницаемостью, называемого пермаллоем.

Они управляются за счет эффекта магнитной насыщаемости соленоида. Каждый раз, когда у них уменьшается проницаемость, внешнее поле может войти в них, вызывая электрический импульс в катушке детектора, прямо пропорциональный величине поля. Управляющие катушки двух полос включены в противоположных направлениях – так, что у текущего тока нет магнитного эффекта (Scollar, Tabbagh, Hesse, Herzog, 1990, стр. 456-466).

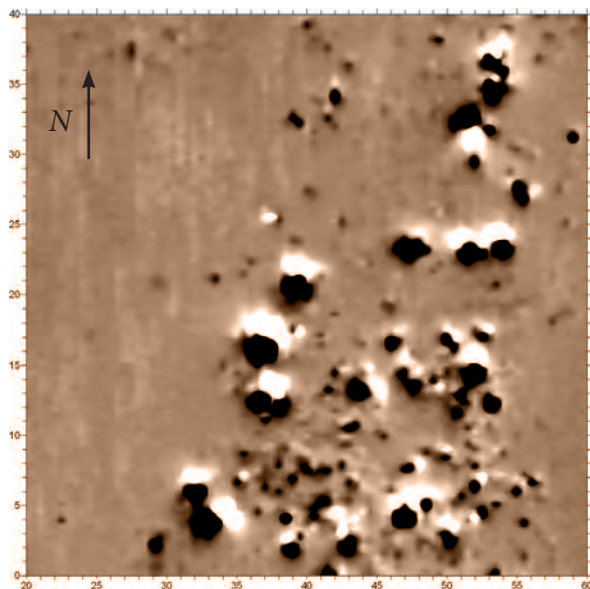
Феррозондовые приборы фирмы Geoscan имеют уровень шумов около 0,1 нТл, поэтому они могут применяться для разведок территорий со слабыми магнитными аномалиями. Компактность и относительная дешевизна – дополнительные преимущества феррозондовых магнитометров. Поэтому они особенно интенсивно применяются в Англии на больших пространствах пахотных полей.



*Польский археолог и геофизик доктор Томаш Хербич делает магнитную разведку в оазисе Дахла в Египте с помощью феррозондового градиентометра Geoscan FM-36*



*Нидам (Дания). Магнитная съемка проводится группой из Йорка с помощью двух феррозондовых магнитометров*



*Нидам (Дания). Магнитная карта, полученная на части площади болота, в древности используем в сакральных целях, с помощью GSM-19WG. Черные и белые точки – положительные и отрицательные аномалии от железных объектов, 2005 г.*



*Нидам (Дания). Магнитная разведка с помощью магнитометра GSM-19WG в 2005 г.*

# Многодатчиковые СИСТЕМЫ



Развитие археологической магниторазведки идет по пути повышения точности измерений магнитного поля, уменьшения координатной ошибки, а также увеличения производительности метода. В 2008 г. группа археологической геофизики Санкт-Петербургского государственного университета и Датского центра Черноморских исследований начала использовать измерительную магнитометрическую систему с четырьмя датчиками, которая позволяет в несколько раз увеличить скорость полевых измерений по сравнению с одно-двухдатчиковым способом. Система уже была опробована в 2008 г. для исследования археологических памятников в районе Джарылгачского озера на Тарханкутском полуострове в Западном Крыму. Здесь с помощью визуальных наблюдений и магниторазведки в 2007 г. было выявлено не менее 10 небольших селищ позднеклассического-эллинистического времени, располагающихся поблизости от компактных курганных групп. В мае 2008 г. эти селища изучались уже с новой магнитометрической системой с четырьмя датчиками, располагающимися на двухколесной тележке. Четырехдатчиковая система нашла широкое применение в Дании для исследований больших территорий перед застройкой, так как производительность по сравнению с однодатчиковым вариантом измерений повышается в несколько раз.



*Четырехдатчиковая магнитометрическая система, основанная на использовании Оверхаузеровского магнитометра GSM-19WG канадской фирмы Gem Systems на двухколесной тележке.*



В зависимости от рельефа местности и наличия камней, ям и т.п. препятствий на поверхности памятника измерения производятся с четырьмя датчиками на горизонтальной разборной алюминиевой штанге (рис. 4). Довольно широко использовалась также двух-датчиковая система, при которой датчики подвешивались на специальном рюкзачном крепеже (рис. 5). Для обработки данных были созданы специальные программы, пересчитывающие координаты каждого датчика и учитывающие ориентационные поправки.

*Четырехдатчиковая магнитометрическая система на горизонтальной штанге*



*Двухдатчиковая система*



# Археологическая магниторазведка в ДАНИИ



Нильс Абрахамсен  
и Олферт Восс в  
Калю, август, 2005 г.

Магнитные методы используются в археологии в Дании, в основном, в двух различных направлениях: во-первых, для археомагнитной датировки, и во-вторых, для магнитной разведки. Впервые магниторазведка в Дании была проведена в 1965 году Олфертом Воссом и Нильсом Абрахамсеном на железоплавильном центре позднеримского времени в Дренгстенде в южной Ютландии, и этот метод тут же зарекомендовал себя как чрезвычайно эффективный для обнаружения и картирования шлаковых блоков (Abrahamsen, 1965).

Керамические обжигательные печи – еще одна категория объектов, которая создает сильные аномалии и поэтому они очень перспективны для магнитной разведки. Некоторые из них в Дании были исследованы

с помощью магнитометров в поле, а также были датированы с помощью археомагнитного метода (Abrahamsen et al., 1982; Abrahamsen et al., 1991). Прекрасные результаты были получены при измерении геомагнитного поля над реконструированной печью для обжига кирпичей в Бидструпе (Hansen et al., 1980). Много важных исследований, которые смогли прояснить природу магнетизма в разных типах археологических материалов вместе с определением возраста, были выполнены в Геофизической лаборатории Орхусского Университета Нильсом Абрахамсеном, Нильсом Брейнером, их коллегами и студентами. (Abrahamsen & Breiner, 1990, 1993; Abrahamsen и др., 1998).

С 1992 г. авторами данной брошюры проводятся систематические магнитные исследования в различных частях Дании. На большей территории Дании, особенно в юго-западной Ютландии, где почти все земли распаханы, от археологических объектов сохранились только те их части, которые в древности были под землей, то есть это все типы ям (мусорные, хозяйственные, столбовые), колодцы, канавы, рвы, шлаковые ямы и т.д.

Условия для проведения магнитной разведки в Дании благоприятны по нескольким причинам. Во-первых, контраст магнитных свойств археологического материала и окружающей среды довольно велик для многих категорий археологических объектов (см. таблицу ниже). Во-вторых, уровень магнитных шумов достаточно низок.

	Магнитные свойства		
	Магнитная восприимчивость, $\alpha$ , ISOx10 <sup>-5</sup>	Остаточный магнитный момент на единицу массы, $J_n$ , Am <sup>2</sup> /kg	Q – отношение Q= $J_n/J$
Шлаковые блоки, Сноруп, Ютландия, 200-600 гг. до н.э.	50÷1700	5÷1140	5÷212
Болотная руда из Ютландии	0,5÷0,3		
Обожженная болотная руда из Ютландии	2÷10		
Печь для обжига черепицы из Вэльбэк в ЮЗ Ютландии, примерно 1790 гг. (N. Abrahamsen, U. Jacobsen, V. Mejdahl, U. Mejdahl, 1998)	10÷3000		3,6÷25
Печь для обжига черепицы из Калю, первая половина 1300 гг. (N. Abrahamsen, N. Breiner, 1991)	500÷1000	54	
Заполнение хозяйственной ямы и столбовых ям, Сноруп	1,2÷2,6		
Заполнение землянки в Крапупе, ЮЗ Ютландии	6,5		
Заполнение колодца, Сноруп	3		
Верхний слой почвы над кластером шлаковых блоков, Сноруп	3÷5		
Верхний слой почвы за пределами кластера шлаковых блоков	0,35÷2		
Темная почва из межевого средневекового ровика, Сноруп	0,9		
Песок неподалеку от межевого ровика в Снорупе	0,3		
Песок, Сноруп	0,1÷0,7		

Таблица. Магнитные свойства некоторых археологических объектов в Дании

# Часть 2 Результаты





# Поселение эпохи Ранней династии в ОАЗИСЕ ДАХЛА В ЕГИПТЕ



Поселение Айн-эль-Гезариин. Магнитная съемка 1999 г.



Зеленые поля оазиса Дахла

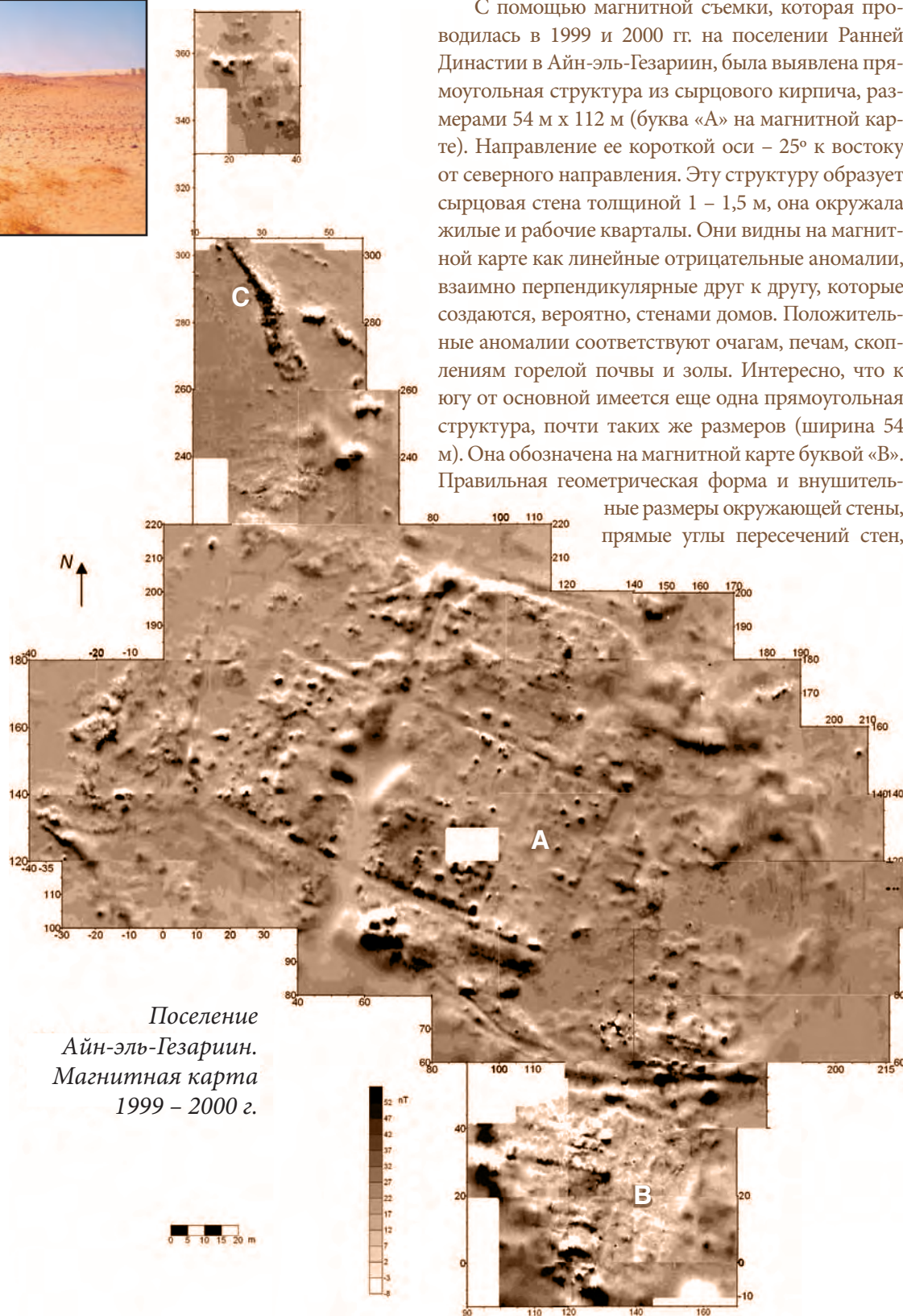


Э. Миллз и Т. Смекалова в древнем городе Амхейда в Дахле



Объяснение принципов и результатов магнитной съемки

наличие возможного храма внутри – все это свидетельствует о важной роли данного поселения в Айн-эль-Гезариин (Mills, Kaper, 2000, p. 123). К северу от главной огороженной части поселения находится еще одна вытянутая положительная аномалия



Поселение Айн-эль-Гезариин. Магнитная карта 1999 – 2000 г.

С помощью магнитной съемки, которая проводилась в 1999 и 2000 гг. на поселении Ранней Династии в Айн-эль-Гезариин, была выявлена прямоугольная структура из сырцового кирпича, размерами 54 м x 112 м (буква «А» на магнитной карте). Направление ее короткой оси – 25° к востоку от северного направления. Эту структуру образует сырцовая стена толщиной 1 – 1,5 м, она окружала жилые и рабочие кварталы. Они видны на магнитной карте как линейные отрицательные аномалии, взаимно перпендикулярные друг к другу, которые создаются, вероятно, стенами домов. Положительные аномалии соответствуют очагам, печам, скоплениям горелой почвы и золы. Интересно, что к югу от основной имеется еще одна прямоугольная структура, почти таких же размеров (ширина 54 м). Она обозначена на магнитной карте буквой «В». Правильная геометрическая форма и внушительные размеры окружающей стены, прямые углы пересечений стен,

(«С»), которую можно интерпретировать как ров с обожженными стенками, или как ряд «кухонных ям», в которых древние люди приготавливали пищу во время общеплеменных трапез. Часть магнитной карты этой структуры показана также на стр. 24.

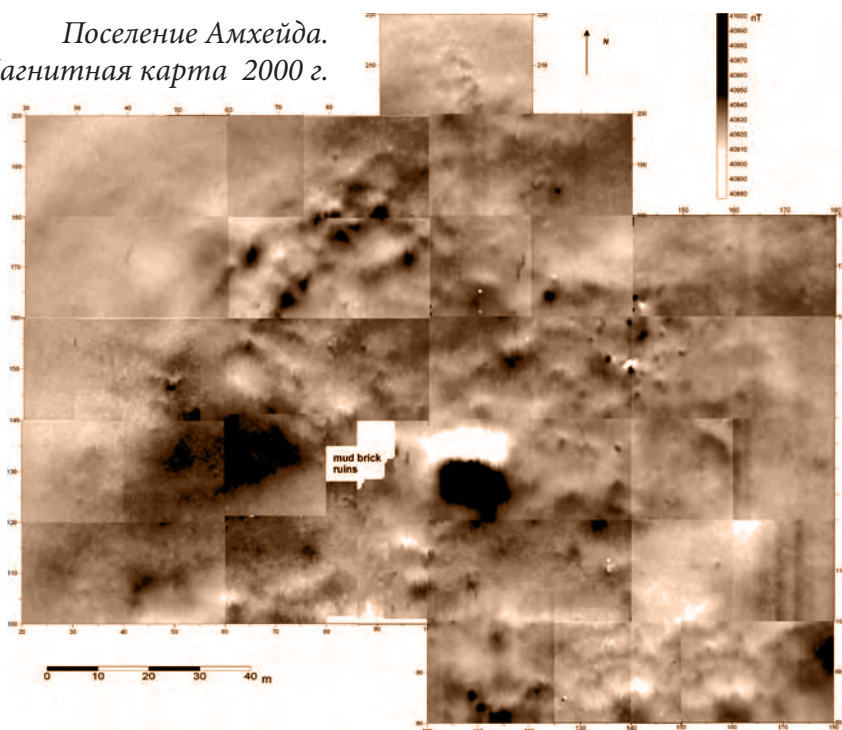


С помощью магнитной съемки в 2000 г. удалось выявить подобную же прямоугольную структуру на соседнем памятнике, Амхейда, под культурными слоями римского города. Прямоугольный контур стен имеет примерно такие же внешние размеры и даже ориентацию относительно сторон света, как и Айн-эль-Гезариин. Магнитные аномалии в Амхейде более расплывчатые и широкие, что объясняется более глубоким положением стены, чем в Айн-эль-Гезариин.



Лекция о магнитной съемке в Американском институте в оазисе Дахла

Поселение Амхейда.  
Магнитная карта 2000 г.



Прямоугольная структура в Амхейде является предшественницей римского города Три-мизис. Подъемный материал более ранних эпох неоднократно фиксировался на поверхности поселения в Амхейде, но до сих пор до-римские структуры здесь не были выявлены. Возможно, что именно с помощью магнитной разведки удалось найти следы более древнего, изначального поселения на самой возвышенной части, так называемом «Храмовом» холме. На этом месте впоследствии было построено несколько сменяющих друг друга храмов, которые, возможно, восходят к наиболее древнему храму, находящемуся в пределах выявленной прямоугольной структуры.

В древности необходимо было иметь большое количество хлеба для путешественников, следующих через пустыню. Поэтому мы видим на магнитной карте обоих поселений такое большое количество положительных аномалий от печей для выпечки хлеба. Целый квартал «булочников» был раскопан на поселении Айн-эль-Гезариин.



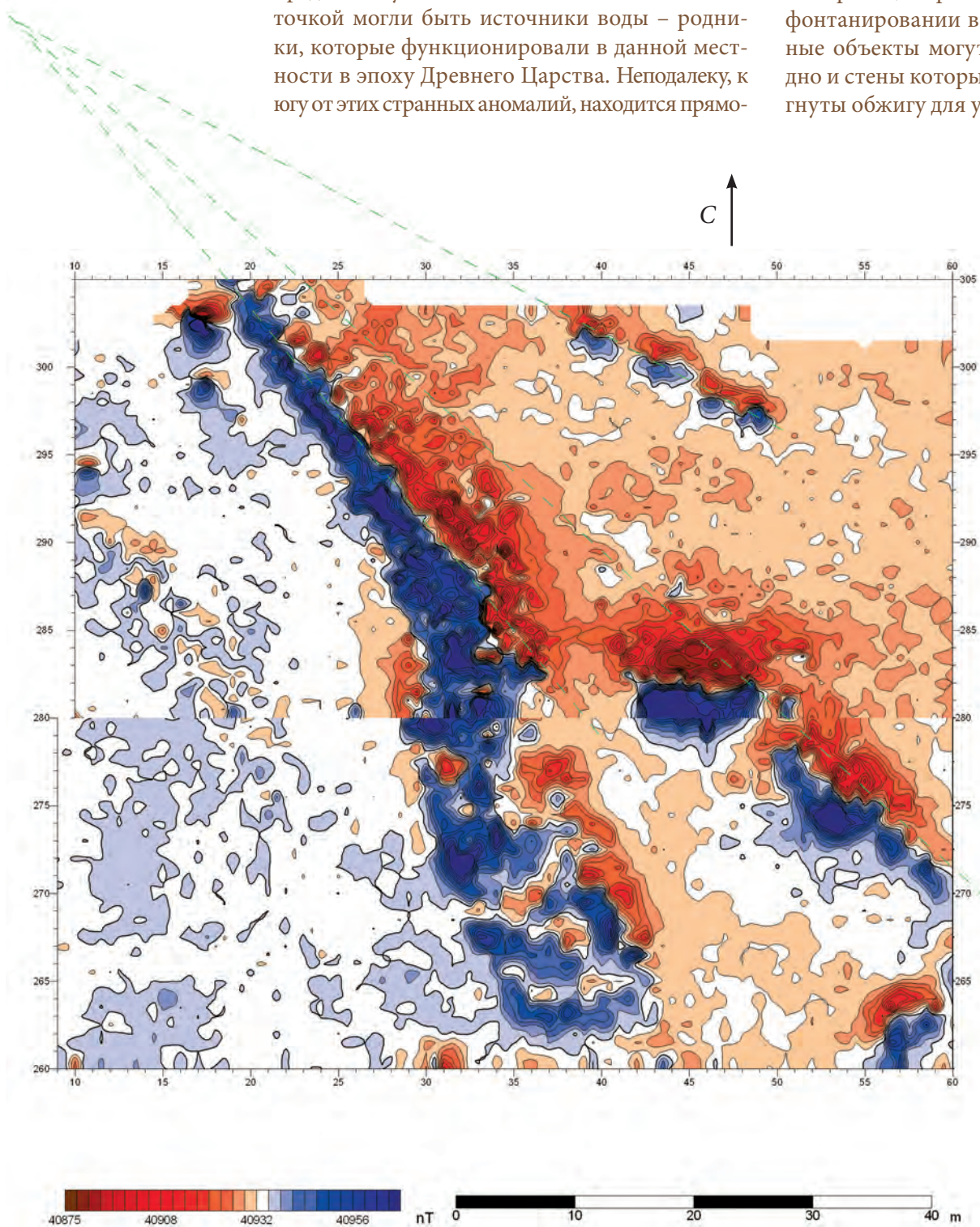
# Поселение эпохи Древнего Царства в ОАЗИСЕ ДАХЛА В ЕГИПТЕ

Во время магнитной съемки на Айн-эль-Гезариин в 2000 г. были выявлены странные вытянутые положительные аномалии в северной части поселения, за пределами прямоугольной огораживающей стены (обозначено буквой «С» на магнитной карте на стр. 22). Создается впечатление, что эти линейно вытянутые аномалии имеют «точку схождения» где-то за пределами участка магнитной съемки. Такой точкой могли быть источники воды – родники, которые функционировали в данной местности в эпоху Древнего Царства. Неподалеку, к югу от этих странных аномалий, находится прямо-

угольная структура (см. стр. 22), а к востоку – неолитическая стоянка.

Одним из объяснений данных вытянутых аномалий может быть то, что они связаны с источниками воды, родниками, находившимися в древности выше по склону, их следы сейчас видны в виде глиняных конусов, на поверхности которых находится масса обломков минералов, образовавшихся при длительном фонтанировании воды. Если это так, то длинные объекты могут быть каналами для воды, дно и стены которых были специально подвергнуты обжигу для улучшения их водонепроницаемости.

Другое объяснение – они являются рядами так называемых «кухонных ям», или ровиками, в которых приготавливали ритуальную пищу для всех обитателей поселения. Имеются довольно близкие археологические параллели в других частях света, например, в Скандинавии. Данные аномалии также могут быть следами костров, в которых производили отжиг керамики.



*Айн-эль-Гезариин.  
Магнитная карта  
участка к северу  
от поселения.  
Вытянутые анома-  
лии над обожженными  
структурами. Сече-  
ние изолиний 3 нТл*

# Кухонные ямы бронзового века на острове ФЮН В ДАНИИ

Ряды кухонных ям и ровики, заполненные обожженными камнями, известны в Скандинавии в позднем бронзовом веке (примерно 1000 до н.э.) (Henriksen, 2005).

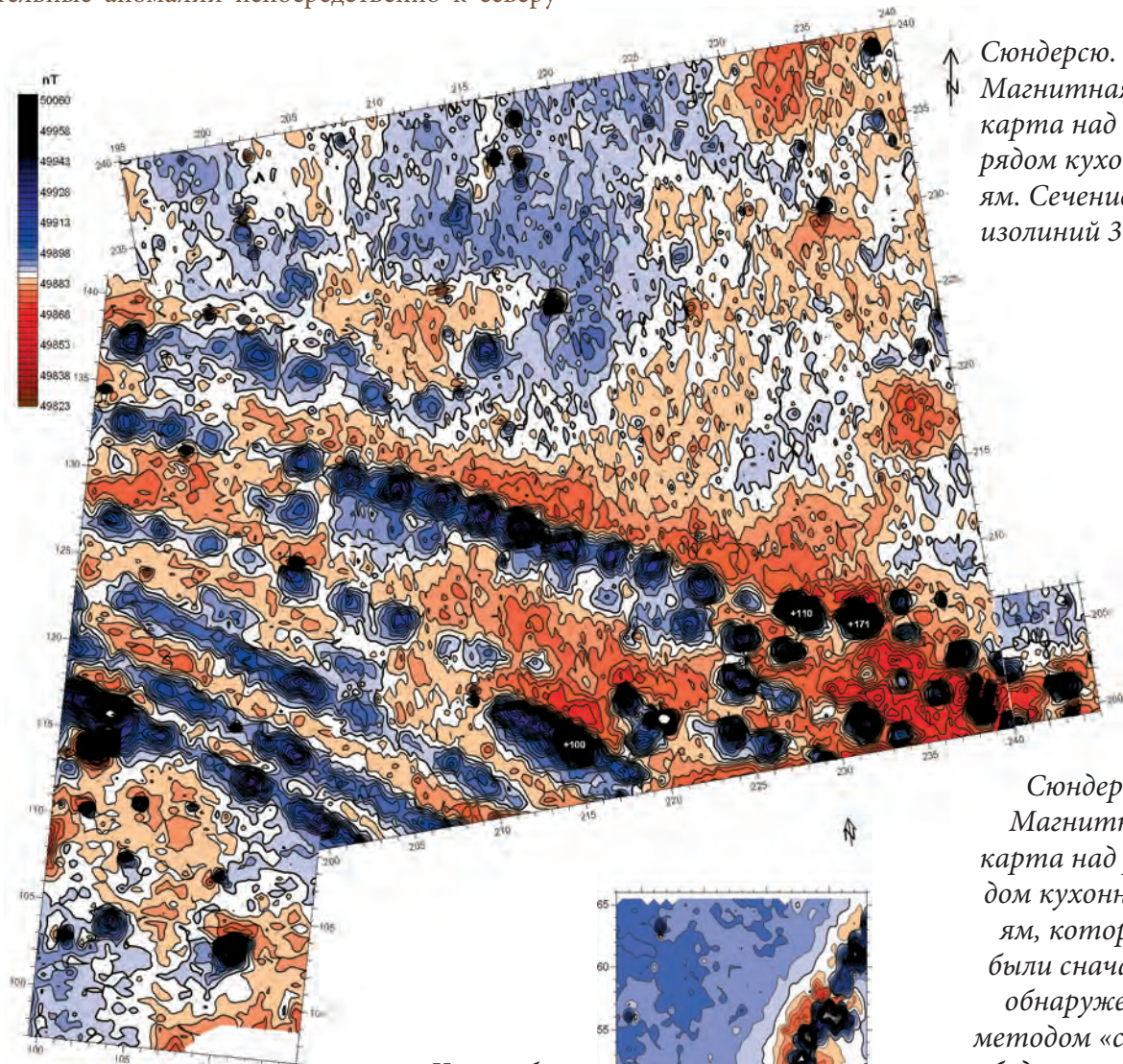
В 2005-2007 г. проводилась магнитная съемка на подобных археологических объектах в Сюндерсю, к северо-западу от Оденсе на острове Фюн в Дании. Ряд кухонных ям был нами также обнаружен с помощью магнитометра в другой части Дании – недалеко от Холстебро в Ютландии (см. магнитные карты внизу).

Кухонные ямы и ровики с обожженными камнями дают очень характерные магнитные аномалии: сильные положительные аномалии прямо над объектами и заметные отрицательные аномалии непосредственно к северу

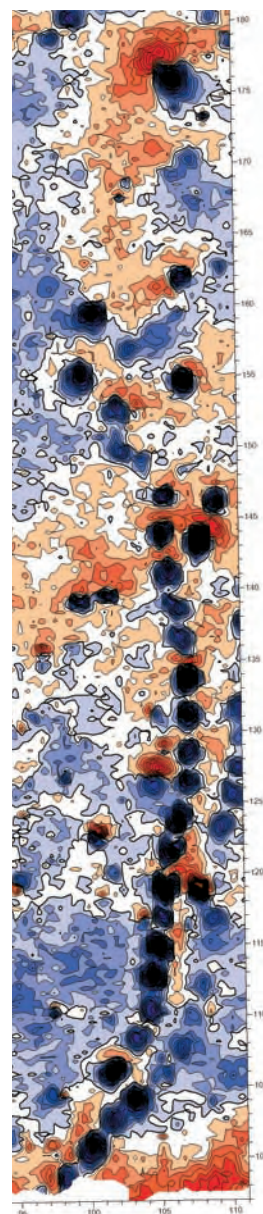
от положительных. Если сравнить магнитные карты на стр. 24 и 25, то можно прийти к выводу, что как египетские, так и датские аномалии имеют весьма сходную структуру, что может свидетельствовать о том, что и создающие их объекты сходны, несмотря на удаленность обоих памятников как во времени, так и географически. Поэтому можно предположить, что положительные аномалии, зафиксированные нами в Айн-эль-Гезариин также создаются рядом кухонных ям или ровиками, в которых происходили неоднократные горения.



Сюндерсю. Фотография рабочего момента магнитной съемки методом «свободного поиска». Флажками помечены аномалии от кухонных ям

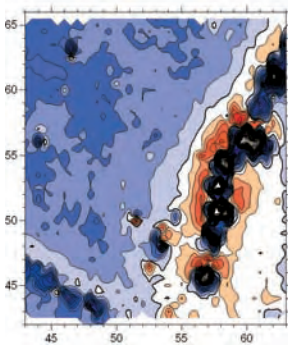


Сюндерсю. Магнитная карта над рядом кухонных ям. Сечение изолиний 3 нТл

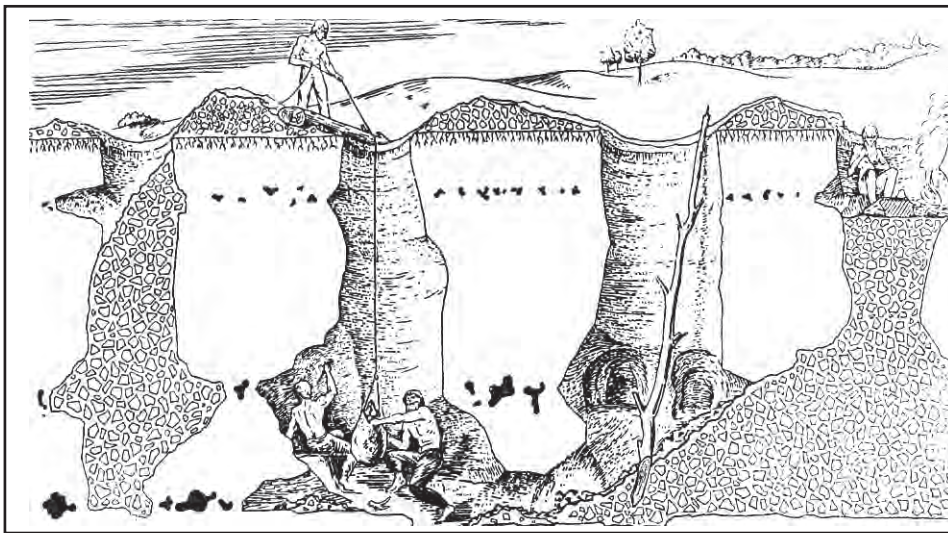


Сюндерсю. Магнитная карта над рядом кухонных ям, которые были сначала обнаружены методом «свободного поиска» (см. фото выше). Сечение изолиний 3 нТл

Холстебро. Магнитная карта над рядом кухонных ям. Сечение изолиний 3 нТл.



# Неолитические шахты по добыче кремня в ХОУ. ЮТЛАНДИЯ. ДАНИЯ



В неолите и раннем бронзовом веке кремень был главным материалом для изготовления орудий труда и оружия. Поэтому для древних людей очень важно было найти хорошие источники кремня. В природе кремень находится в определенных прослойках, залегающих между слоями мела. Древним людям приходилось вырывать глубокие шахты для того, чтобы достичь уровня, на котором можно было найти кремень.

Шахты в Хоу, на севере Ютландии, датируются временем 2500 – 2000 гг. до н.э. Они раскапывались в 1955 – 58 гг. экспедицией Датского национального музея под руководством проф. С.Ю. Бекера. Здесь были раскрыты шахты глубиной до 8 и шириной до 4-х метров, с боковыми коридорами длиной около 5 метров.

Для магнитной съемки важно то, что заброшенные шахты заполнялись землей, вынутой из соседних, новых, шахт, в их верхней части часто устраивались временные жилища добытчиков кремня, в которых нередко были кострища. Следовательно, заброшенные шахты оказывались заполненными довольно магнитным материалом, что создает достаточно большой контраст в магнитных свойствах по сравнению с немагнитным мелом, в котором они вырыты. Поэтому на магнитной карте над погребенными шахтами фиксируются положительные аномалии.

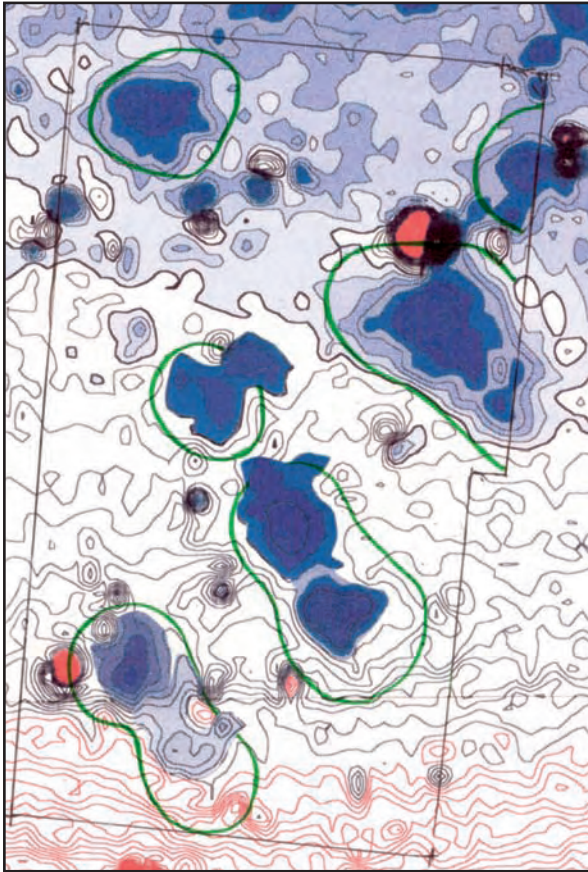
В 1999 – 2003 гг. магнитная съемка в Хоу была проведена на площади более 2-х га. На магнитной карте проявилось большое количество небольших положительных аномалий, величинами от 10 до 60 нТл, контуры которых точно указывали на положение шахт. Многие из этих аномалий были проверены раскопками, которые полностью подтвердили предварительный прогноз.



Фото: Jytte Nielsen



Участок, с которого снят верхний почвенный слой. Под ним обнажились темные пятна шахт, заполненных землей. Раскопки проводились для проверки результата магнитной съемки. Фото Хенрика Бека



Хоу. 2000 г. Часть магнитной карты с положительными аномалиями от шахт. Эта площадь была раскопана (см. фото сверху), контуры выявленных шахт обведены на магнитной карте зеленым цветом



Хоу. 2002 г. Магнитная съемка в западной части памятника. Датчик на контрольной точке накрыт пластиковым пакетом от дождя



Хоу. 2001 г. Магнитная съемка в юго-западной части памятника



Хоу. 2003 г. Магнитная съемка на восточной части памятника



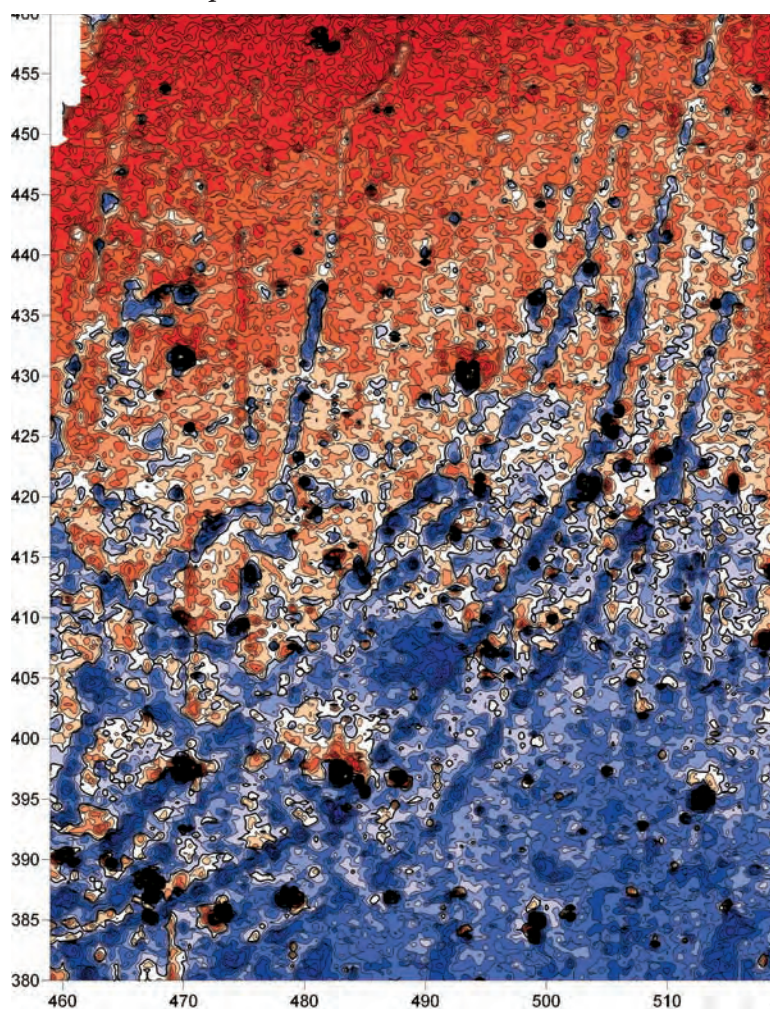
Хоу. 2003 г. После рабочего дня

# Риспебьерг на острове Борнхольм в ДАНИИ

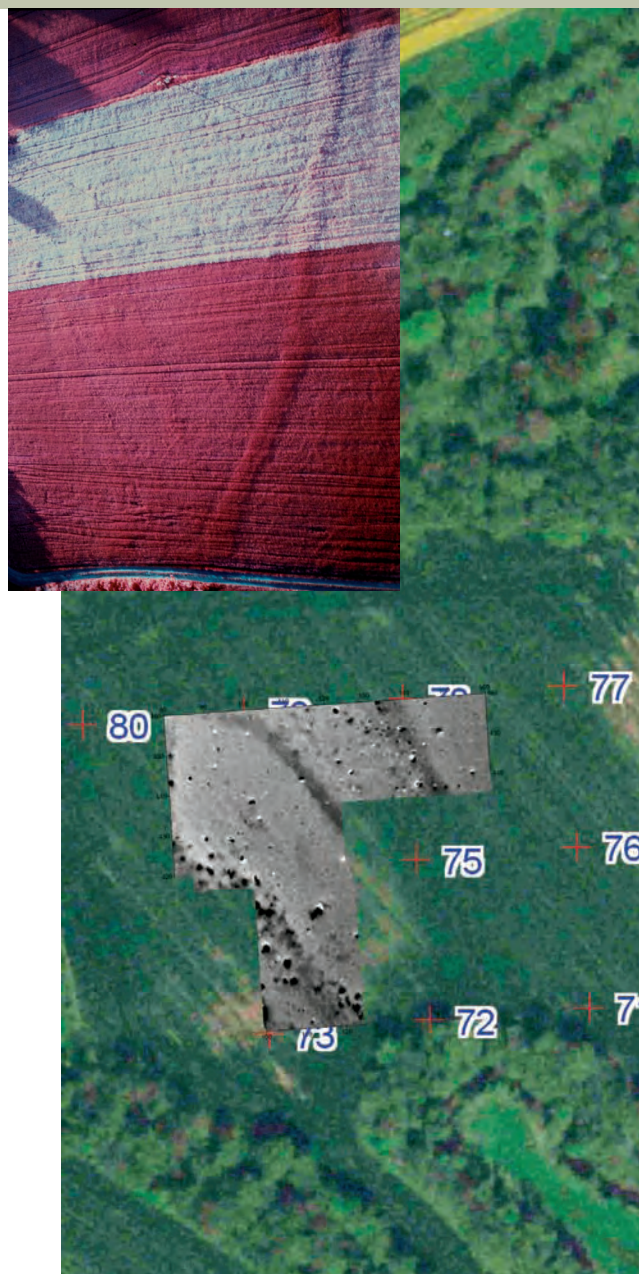


Вертикальная составляющая магнитного поля над островом Борнхольм

Магнитная карта юго-восточной части памятника



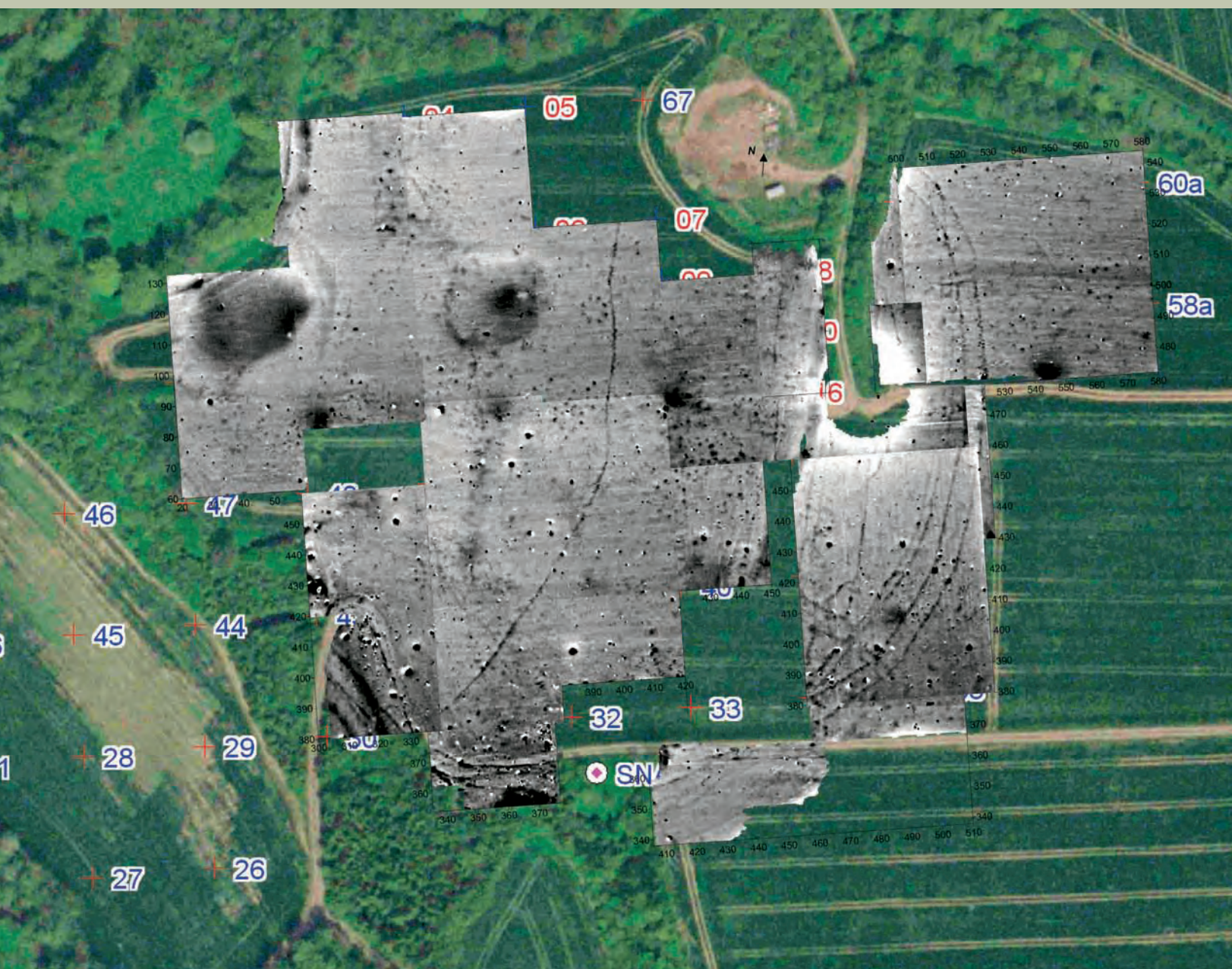
Аэрофотоснимок в инфракрасном свете.



Аэрофотографии позволили выявить широкий ров, окружающий крепость Риспебьерг эпохи переселения народов на острове Борнхольм в Балтийском море.

В настоящее время здесь можно видеть только саму крепость в виде мощных валов, окружающих внутреннее поселение, а также карьер, оставшийся после выборки гравия, в бортах которого археологи нашли следы палисадов и неолитическую керамику культуры воронковидных кубков, 2900 – 2700 гг. до н.э.

В течение двух недель весной 2007 г. на этом памятнике проводилась магнитная съемка, охватившая площадь в 4 га. На полученной магнитной карте хорошо видны



два круглых объекта в центре, создающих положительные магнитные аномалии, несколько концентрических палисадов, и некие кольцевые структуры, 8-10 м в диаметре, состоящие из 8-10 больших столбовых ям. По аналогии с английскими их назвали Вудхенжами (woodhenges). Они находятся по всей территории этого памятника.

В юго-восточной части памятника отчетливо прослеживаются несколько входов на огороженную палисадами территорию. Магнитная карта здесь является большим подспорьем для археологов, так как она служит прямым руководством для раскопок.

Такое впечатление, что к северу от этого входа, внутри огороженной территории вели еще одни ворота, но магнитное поле на этой территории сильно искажено за счет железной опоры линии электропередач, которая создала огромную отрицательную аномалию в радиусе 20 метров вокруг себя. Деревянные столбы, поддерживающие электрические провода, отразились в магнитном поле как темные пятна на магнитной карте, следующие с равными промежутками в 60 м друг от друга с востока на запад.

*Магнитная карта, совмещенная с аэрофотографией*



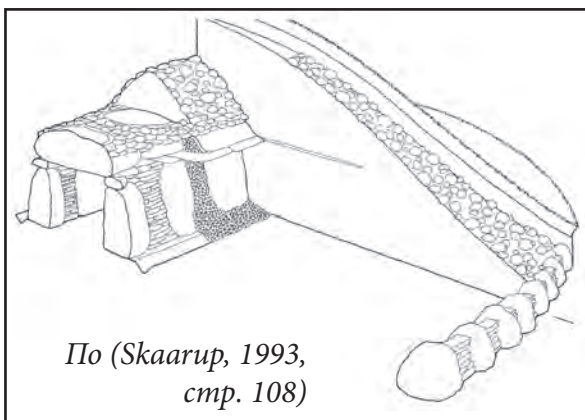
# Мегалитические гробницы в Северной Зеландии в Дании



Мегалитические гробницы широко распространены в Дании на островах Зеландия, Фюн, в восточной и северной частях Ютландии. Всего насчитывается около 700 таких гробниц в Дании и около 380 в Швеции (Skaarup, 1993). Датские курганы с мегалитическими конструкциями датируются временем от 3500 до 3200 гг. до н.э. Характерной чертой их

одной курганной насыпью (Dehn, Hansen, 1999). Ограда вокруг кургана может быть круглой в курганах с одним захоронением, или прямоугольной в курганах с несколькими гробницами. Часто мегалитические сооружения полностью покрывались землей, так что в настоящее время они выглядят как обычные курганы.

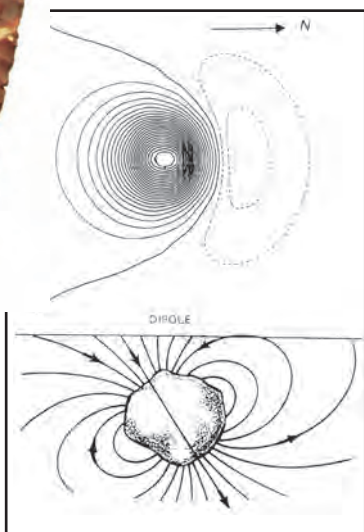
Для магнитной съемки важно то, что главным строительным материалом для гробниц был гранит. Гранит является весьма магнитной изверженной породой, он содержит до нескольких процентов магнетита – магнитного окисла железа. Магнитная восприимчивость гранита может варьировать от 0,001 до 0,1 ед. СИ, что по сравнению с магнитной восприимчивостью почвы в Дании (0,0003 – 0,002 ед. СИ) составляет большой контраст. Гранит также приобрел свойства остаточной намагниченности во время своего формирования. Поэтому каждый гранитный валун является своего рода магнитным диполем, имеющим свой собственный магнитный момент и магнитные полюса (положительный и отрицательный). Следовательно, каждый валун создает магнитную аномалию, сходную с аномалией от магнитного диполя. Главной отличительной чертой дипольной аномалии является присутствие как положительной, так и отрицательной ее частей. Форма и величина магнитной аномалии над гранитными валунами зависят от ориентации их дипольных моментов по отношению к земному магнитному полю.



По (Skaarup, 1993, стр. 108)



Дипольная аномалия над гранитным валуном



погребальных камер является то, что они сооружены из больших гранитных валунов, накрытых сверху огромными плитами, которые иногда видны на поверхности курганов.

Вокруг кургана сооружалась круговая ограда из массивных гранитных камней. Еще одной характерной чертой является то, что в гробницу вел коридор, также построенный из больших гранитных валунов (Skaarup, 1993). Иногда может быть сразу две гробницы под

Если ориентация дипольного момента (в широтах Дании) совпадает с направлением магнитного поля Земли, аномалия над ним будет иметь большой положительный пик, несколько смещенный к югу от центра диполя, и более слабое отрицательное обрамление непосредственно к северу от положительного пика.

Магнитные поля над курганами с мегалитическими гробницами являются суперпозицией многих дипольных аномалий от отдельных гранитных валунов, которые имеют разные размеры и находятся на разных глубинах от дневной поверхности.

В 1997 г. с помощью датского археолога Могенса Шоу Юргенсена нами был заснят наполовину раскопанный курган каменного века в Ведстед (регистрационный номер 153).





Магнитная карта поля, измеренного над ним, оказалась очень информативной. На ней мы можем видеть центральную гробницу, коридор, а также каждый камень, из тех, что слагают ограду кургана. Все эти объекты создали значительные положительные аномалии величинами от 20 до 800 нТл.

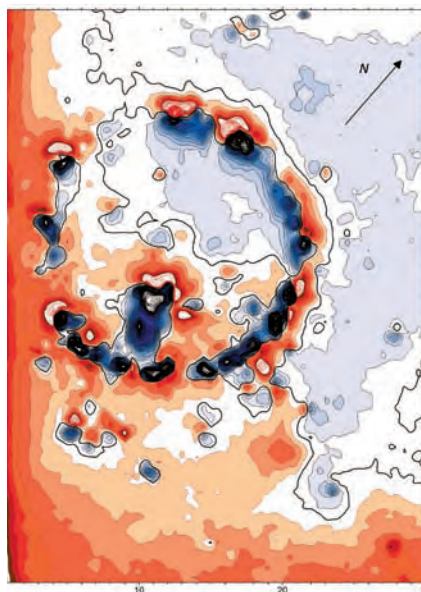
Магнитная карта помогла выявить невидимые на поверхности камни в северной, не раскопанной, части кургана (ср. магнитную карту с планом раскопок).

Принимая во внимание положительный опыт съемки в Ведстед, в 2000 г. были проведены магнитные измерения также и на другом кургане каменного века в Ягесприз (Драабю, на севере Зеландии, рег. номер 155). Этот курган был частично раскопан более 250 лет назад благодаря археологическим пристрастиям одного из датских королей.

На результирующей магнитной карте видно, что раскопанный коридор и центральная гробница создают очень сильные возмущения в магнитном поле (до 750 нТл). Но кроме этих аномалий, имеются подобные же аномалии, расположенные в 7 метрах от центральной оси в другой половине кургана, симметрично по отношению к аномалиям от раскопанной гробницы. Их можно интерпретировать, как второй коридор и вторая гробница. Таким образом удалось выяснить, что курган имел две, симметричные относительно центральной оси, гробницы (Smekalova, Voss, 2001).

Вокруг двух гробниц была сооружена ограда из больших гранитных камней, каждый из которых проявился на магнитной карте в виде дипольных аномалий. Кроме этого, имеется еще одна аномалия, располагающаяся к северу от обеих гробниц, между ними. Возможно, это еще один большой гранитный валун (Smekalova, et al, 2005).

Магнитная съемка проявила себя как эффективный метод для исследования датских курганов с мегалитическими гробницами. В благоприятных случаях удастся восстановить их внутреннюю структуру, покрытую земляным покровом. С помощью магнитометра удастся также отличить курганы каменного века от курганов железного века, поскольку в последних нет каменных конструкций. Необходимо отметить, что магнитная съемка оказалась эффективной на курганах в основ-



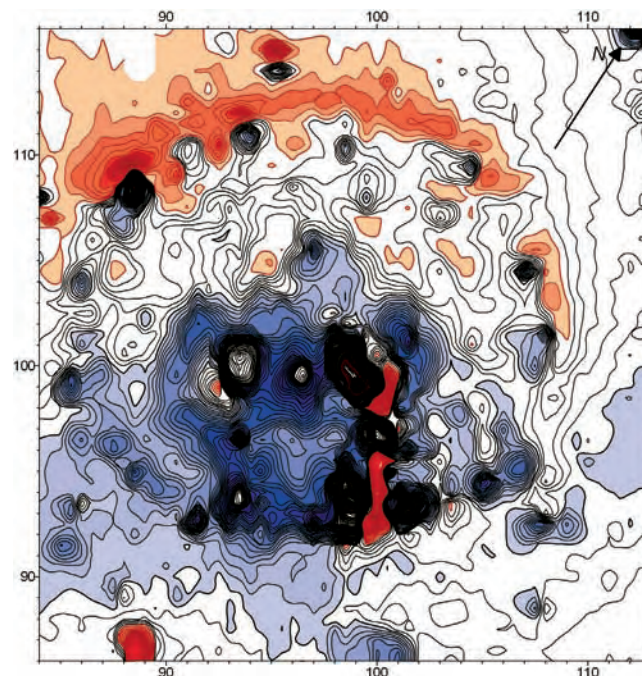
Магнитная карта и план раскопа мегалитической гробницы в Ведстед.

Сечение изолиний 5 нТл



Гравюра Лэсси Ланге 1744 г. раскопанного кургана с мегалитической гробницей в Ягесприз, Драабю (гравюра хранится в коллекции Государственного музея искусств в Копенгагене)

ном благодаря тому, что они были невысокие. Если бы курганы были на метр или на два выше, магнитные аномалии над гранитными валунами значительно уменьшились бы по амплитуде и увеличились бы в размерах в плане.



Магнитная карта кургана с двумя мегалитическими гробницами в Ягесприз, Драабю. Сечение изолиний 5 нТл

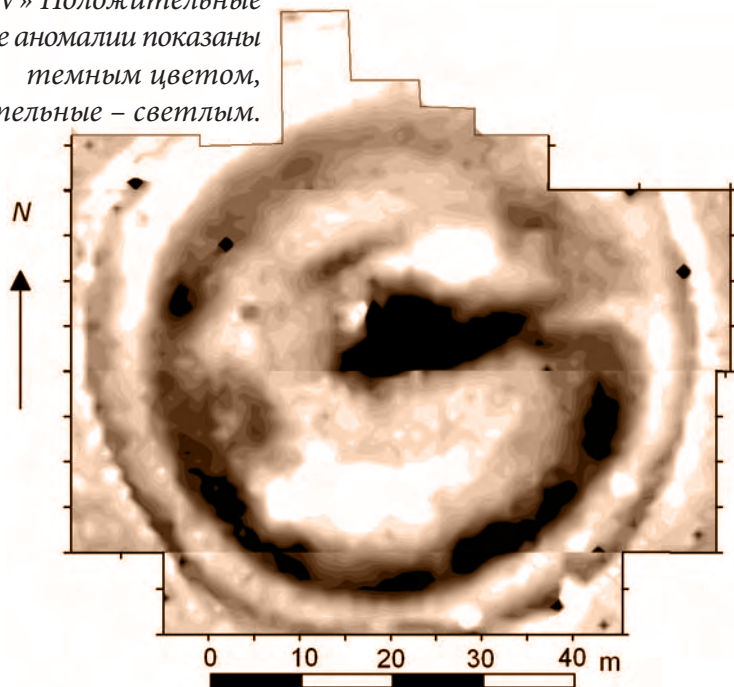


# Курганы скифской знати в КРЫМУ



*Ак-Кая. Один из самых больших курганов – «IV». Он был раскопан после проведения магнитной съемки в 1996 г. Его высота – 10 м, диаметр – около 60 м*

*Магнитная карта кургана «IV» Положительные магнитные аномалии показаны темным цветом, отрицательные – светлым.*



На плато Ак-Кая и в урочище Беш-Оба к северу от Белогорска в центральном Крыму располагается огромный курганный могильник скифской знати VI в. до н.э. Могильник находится в удивительно красивом и своеобразном в природном отношении месте. Многие, наверное, помнят знаменитые белогорские обрывы, снятые почти во всех советских «ковбойских фильмах». В 1996 г. здесь была проведена магнитная съемка на трех самых больших курганах и на нескольких более мелких. Археологически данный район был до недавнего времени почти не исследован, хотя могильник, расположенный здесь, является, наверное, самым большим курганным могильником в Крыму. Он состоит из крупных курганов высотой более 10 м, и окружающих их более мелких (Smekalova, et al, 2005). Для сооружения здесь подкурганных сооружений использовался известняк, он практически немагнитен, а окружающая почва – довольно магнитна. Это создает достаточный контраст в магнитных свойствах, так что удается наблюдать отрицательные аномалии от каменных конструкций.

*Курган «IV». После раскопок центральной гробницы. Глубина до пола гробницы 17 м, если считать от верха кургана, и 7 м, если отсчитывать от дневной поверхности*

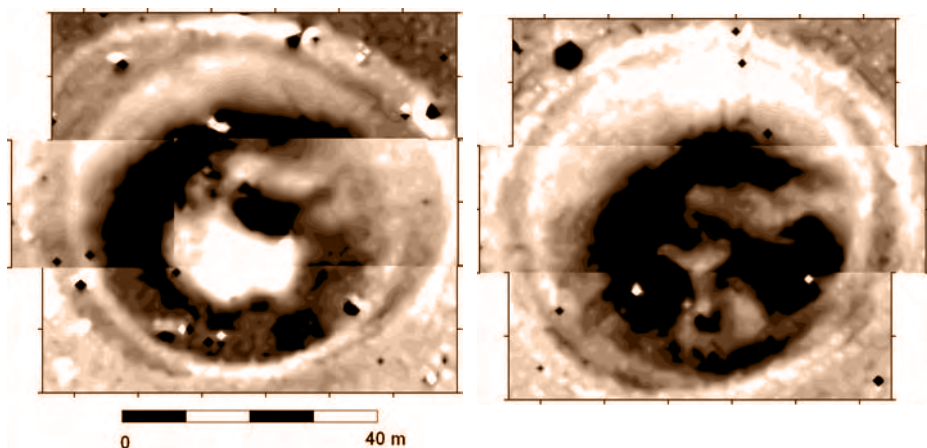




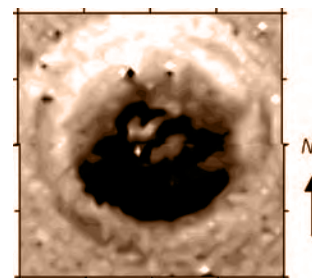
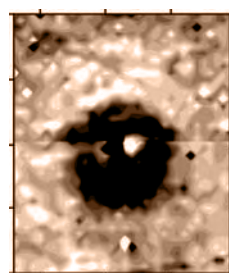
Курган "IV"

Внутри каждого из самых больших курганов находится круговая каменная стена – крепида, она отмечается на магнитных картах как кольцевая отрицательная аномалия, опоясывающая курган. Хорошо виден разрыв в этой стене с восточной стороны – это вход в курган, отсюда начинается дромос, или коридор, ведущий в центральное погребение.

Ак-Кая. Курганы «I» и «II». Магнитные карты. Внутреннее светлое кольцо показывает известняковую стену. Входы в курганы находятся с восточной стороны (светлые зоны). Темные и светлые зоны в центре курганов соответствуют центральным гробницам, которые частично или полностью обрушились и заполнены землей, являющейся довольно магнитным материалом



Два небольших кургана (I/1 и V), насыпь одного из них (карта слева) состоит из мелкого камня. Магнитное поле над этими курганами значительно отличается от рассмотренных выше полей над крупными курганами. Здесь уже не видно следов дромоса, а в каменном кургане нет следов и кольцевой стены



Ак-Кая. Скифские курганы

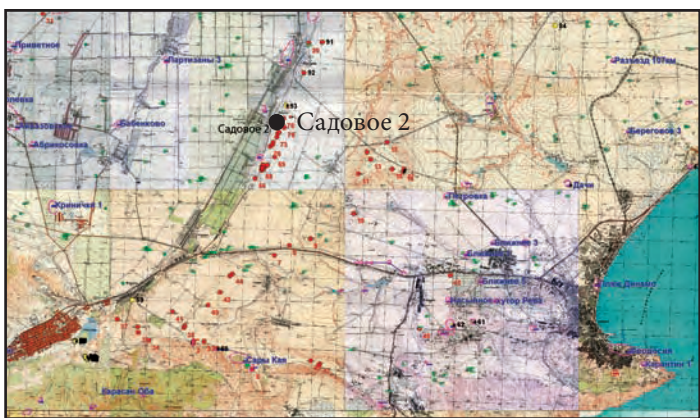


Транспортировка магнитометра GSM-19WG к месту работы в восточном Крыму

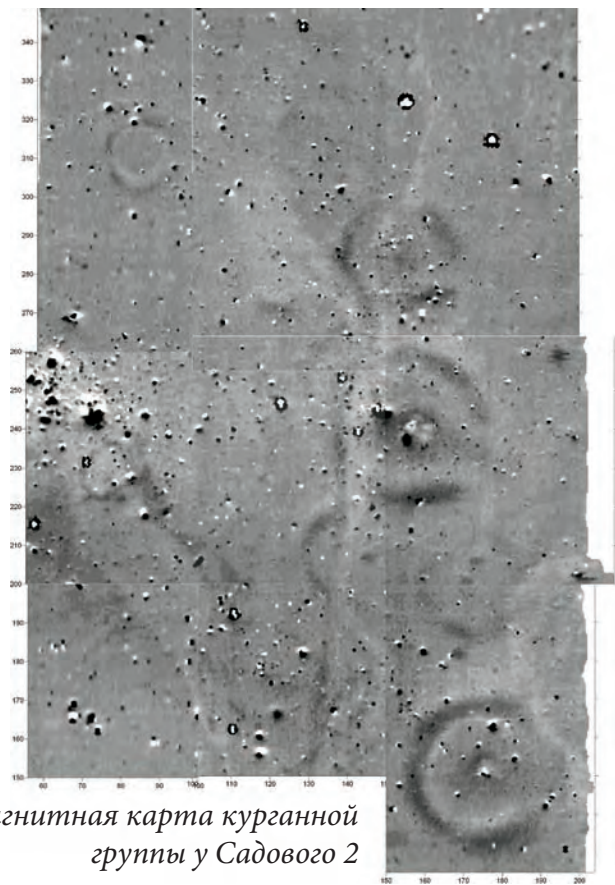
# Курганы на западном пограничье БОСПОРА в КРЫМУ



Трехмерная карта Керченского п-ва.  
Курганы показаны черными точками



Археологическая карта у Садового 2



Магнитная карта курганной группы у Садового 2

Тысячи курганов возвышаются в степях Крыма. Курганы, располагающиеся длинными цепочками в степи, вероятно, маркируют древние дороги или традиционные пути миграций кочевых племен. На трехмерной карте Керченского полуострова наиболее впечатляет протяженная цепочка очень часто следующих курганов, которая тянется от северо-восточной окраины г. Старый Крым вдоль реки Чурук-Су, затем, у с. Новопокровка резко поворачивает на восток и идет вдоль Парпачского гребня вплоть до Узунларского вала. Впоследствии эта линия раздваивается, и одна ее часть идет к Нимфею, другая – к мысу Ак-Бурун (см. карту внизу). В степных условиях при отсутствии каких-либо других ориентиров, курганы являлись своего рода «дорожными знаками», обеспечивающими безопасное движение по традиционным кочевым трактам. При передвижении масс населения и скота на большие расстояния, следование определенному маршруту, проходящему через места с хорошими пастбищами и водопоями, было жизненно важным. Цепочки курганов должны были маркировать такие маршруты, так как отклонение от них могло быть губительным для целого племени.

Последняя крупная река к западу от Керченского полуострова – р. Чурук-Су. За ней к востоку и о самого пролива начинаются равнинные степные пространства, почти лишенные воды. Поэтому, наверное, по восточному высокому берегу р. Чурук-Су идет не только непрерывная цепочка курганов, но и имеется множество поселений V-III вв. до н.э. Рядом с этими поселениями находятся курганные могильники, состоящие из большого количества насыпей различного размера, от огромных 5-6 метровых курганов (см. фото вверху слева), которые, составляя «костяк» цепочки курганов кочевников, возможно, относятся к более раннему времени, до средних и малых, почти не видимых, соответствующих оседлому населению, проживающему в близлежащих селищах. В 2007 г. нам удалось получить детальную магнитную карту такого «курганного поля», находящегося у поселения IV в. до н.э. Садовое 2, на которой можно видеть большое количество курганов и их внутреннее строение (см. магнитную карту внизу). Каждый курган окружен кольцевым ровиком, который отразился в магнитном поле в виде слабой положительной аномалии (темный цвет). Во всех круговых аномалиях имеется разрыв в восточной части кургана, соответствующий входу в курганное пространство. Локальные положительные аномалии внутри курганов могут соответствовать отдельным захоронениям.

# Семибратнее городище на Кубани.

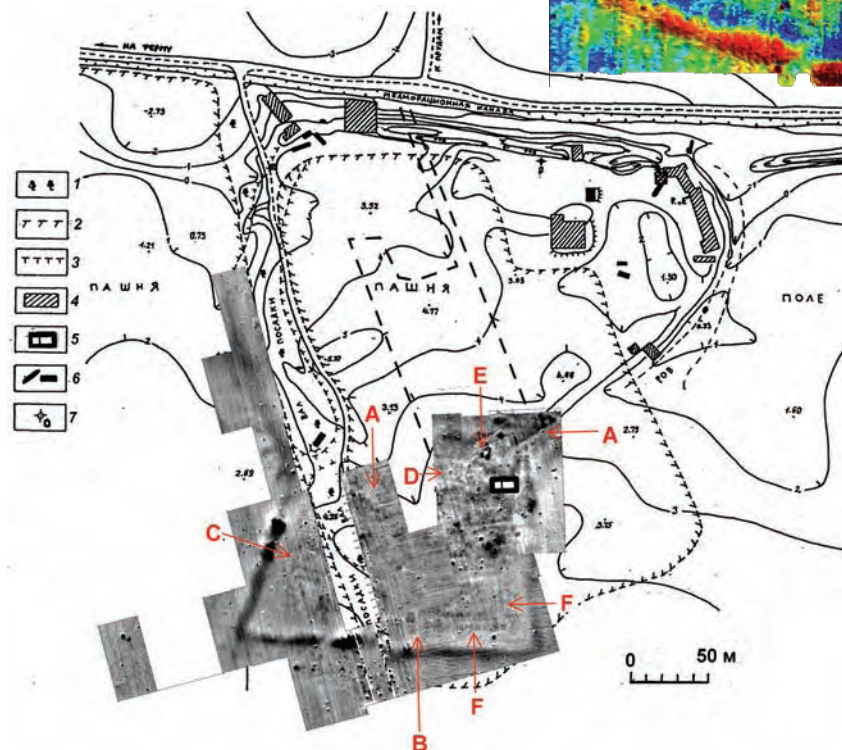
## ЮЖНАЯ РОССИЯ

Семибратнее городище (древний город Лабрис) находится в среднем течении реки Кубани, в 28 км к северо-востоку от г. Анапы (древняя Горгиппия). В период функционирования городища в V в. до н.э. – I в. н.э. русло реки Кубань проходило гораздо южнее современного его положения и городище непосредственно примыкало к реке.

Магнитная съемка проводилась на городище в 2006-2008 гг. Благодаря этим работам удалось полностью проследить контуры и структуру оборонительной системы городища в его южной, «прямоугольной» части. На полученной магнитной карте прежде всего выделяется четкая и довольно интенсивная аномалия (в среднем 40 нТл), образующая три стороны трапеции, окружающей всю южную часть городища. Очевидно, источником этой аномалии является сильномагнитное заполнение рва, окружающего южную часть городища. Высокая интенсивность магнитной аномалии от предполагаемого рва может объясняться его сильномагнитным заполнением, образовавшимся в результате обрушения сгоревших в пожаре деревянных частей оборонительных стен в окружающий ров. У южных ворот различима довольно крупная каменная постройка, состоящая из двух помещений (обозначено буквой «В» на магнитной карте).

Очень любопытно, что на месте предполагаемой оборонительной стены на магнитной карте хорошо различимы аномалии, имеющие секционную структуру (помечены стрелками с буквой «А» на магнитной карте). В юго-западной части городища на магнитной карте выявляется какая-то крупная прямоугольная постройка (обозначено буквой «С»), располагающаяся напротив западных ворот, и, возможно, игравшая важную роль в жизни городища.

В наиболее возвышенной части городища, непосредственно к западу от раскопа 2001-2006 гг., который обозначен карте в виде черного прямоугольника, по данным магнитной съемки зафиксирована монументальная каменная постройка внушительных размеров (примерно 15 м шириной и более 20 м длиной) (обозначена буквой «D»). Еще одно интересное каменное здание находится к северу от раскопа. Внутри него отмечены какие-то сильномагнитные объекты, скорее всего, ремесленные печи и другие остатки «высокотемпературного» производства. В магнитном поле данное здание отразилось в виде интенсивных положительных аномалий (обозначено буквой «Е»). Вероятно, это мастерская по обработке металла, хотя несколько удивляет ее тесное соседство с теменосом.



Магнитная карта городища, полученная в ходе съемки 2006-2008 г. и результаты ее интерпретации.

1 – лесопосадка; 2 – пашня; 3 – ирригационный канал; 4 – раскопы 1938-1955 гг.; 5 – раскопы 2001-2006 гг.; 6 – грабительские раскопы; 7 – топографические реперы.

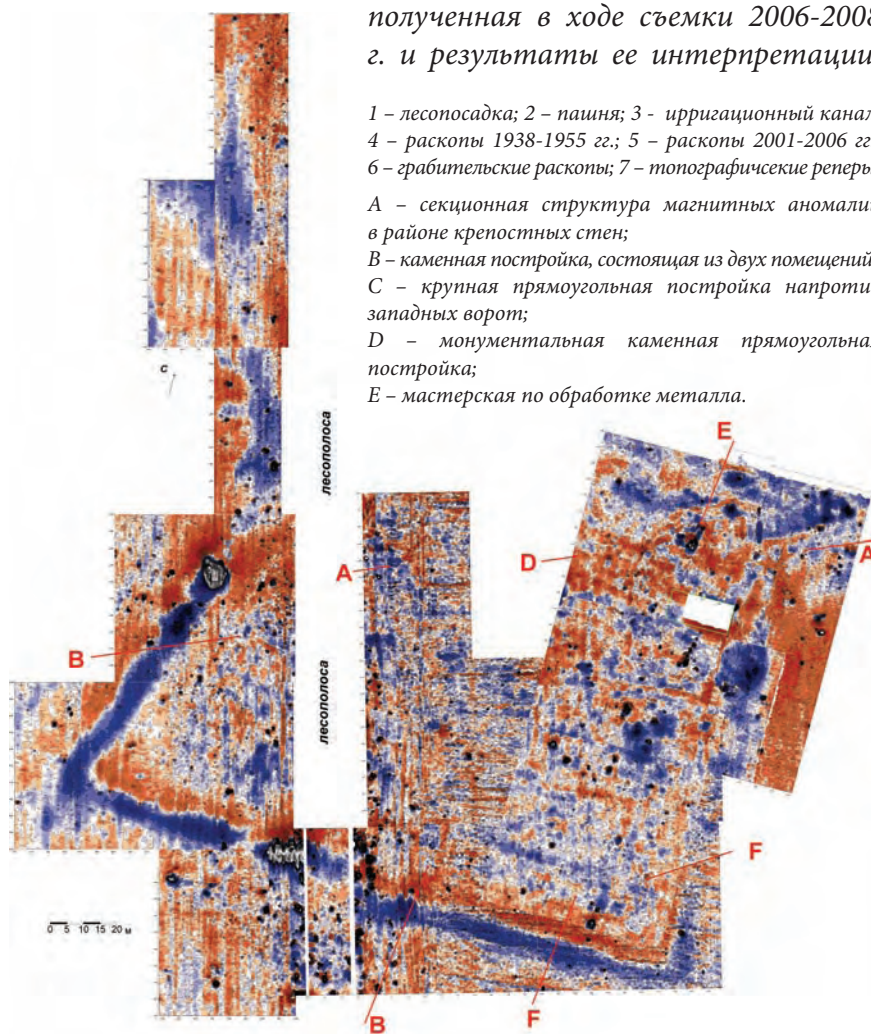
А – секционная структура магнитных аномалий в районе крепостных стен;

В – каменная постройка, состоящая из двух помещений;

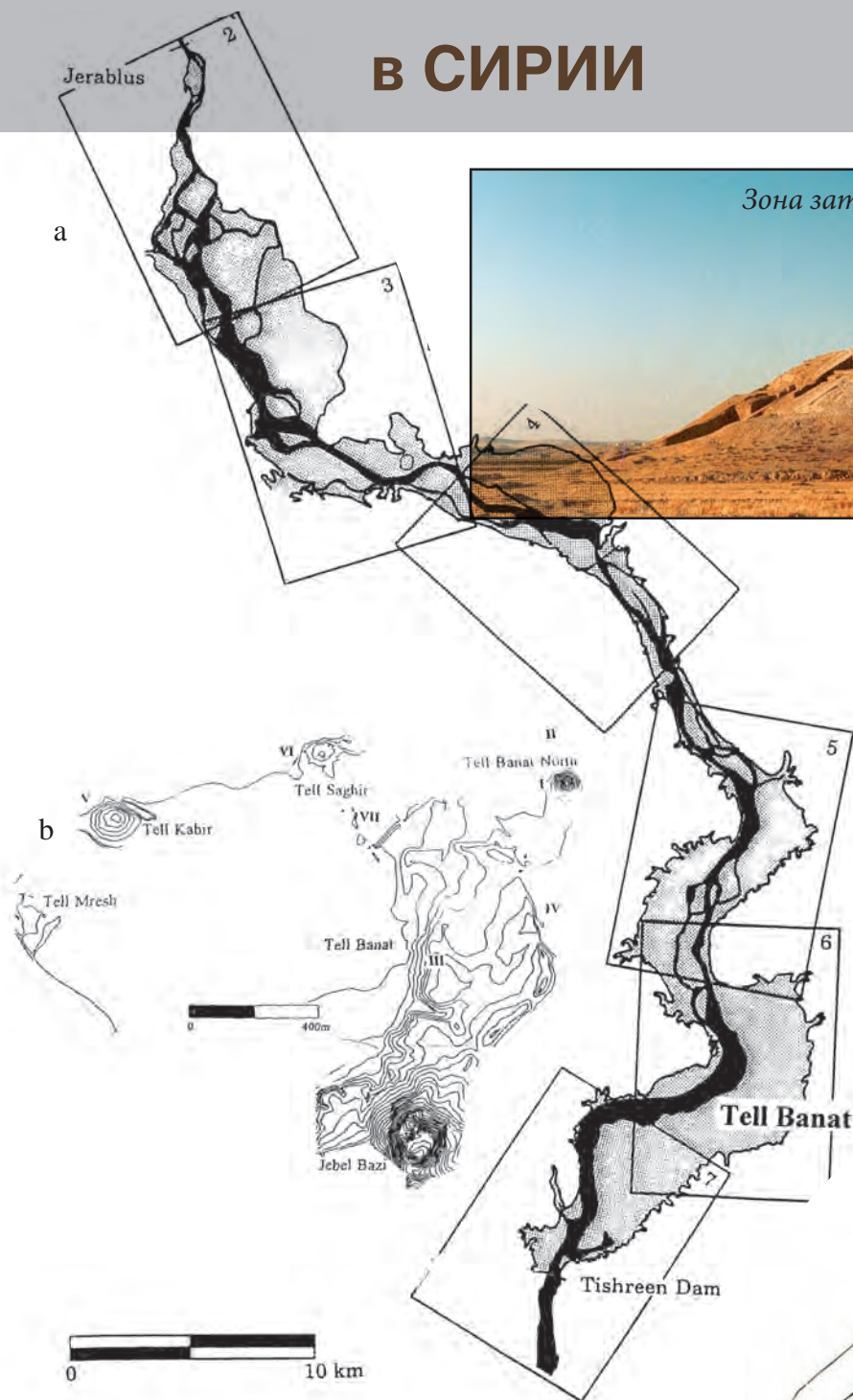
С – крупная прямоугольная постройка напротив западных ворот;

Д – монументальная каменная прямоугольная постройка;

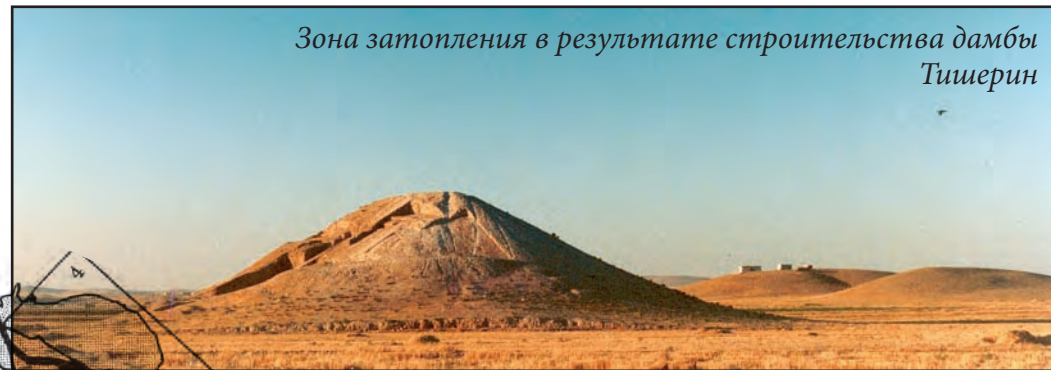
Е – мастерская по обработке металла.



# Телль Банат на реке Евфрат в СИРИИ



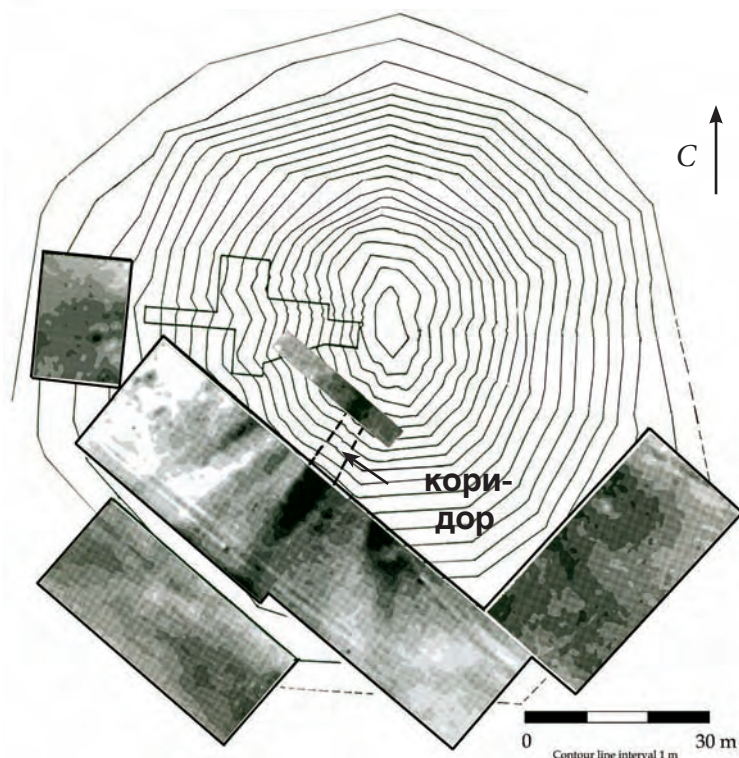
Зона затопления в результате строительства дамбы Тишерин

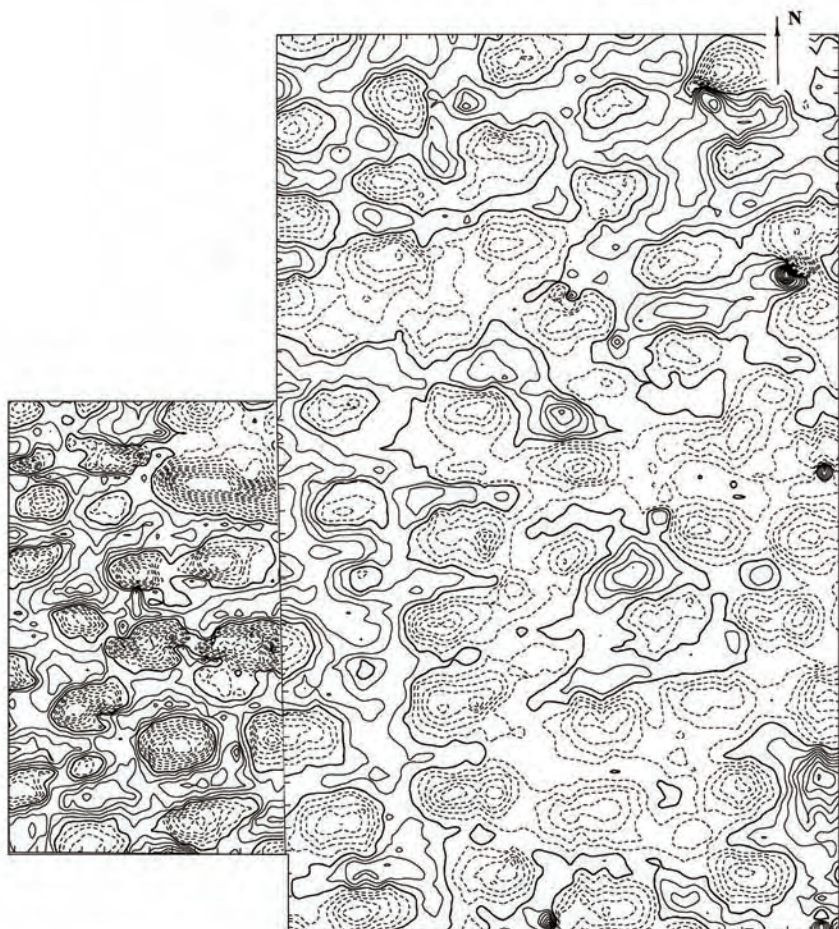


Обширные археологические исследования в Сирии вдоль реки Евфрат проводились в 1990-х годах перед строительством дамбы Тишерин. После ее сооружения огромные пространства речной долины оказались затопленными водами Евфрата. Глиняная пирамида, так называемый Белый Монумент, был исследован с помощью измерителя электрической проводимости (Брюс Беван) и с помощью магнитометра GSM-19WG (Татьяна Смекалова) в 1997 г. С юго-восточной стороны пирамиды было зафиксировано несколько вытянутых положительных аномалий (показаны на магнитной карте темным цветом). Эти данные могут пролить свет на способ сооружения пирамиды в древности. Центральная вытянутая аномалия может соответствовать входу в пирамиду. К сожалению, результаты магниторазведки невозможно проверить раскопками, так как в настоящее время эта территория уже находится под водой.

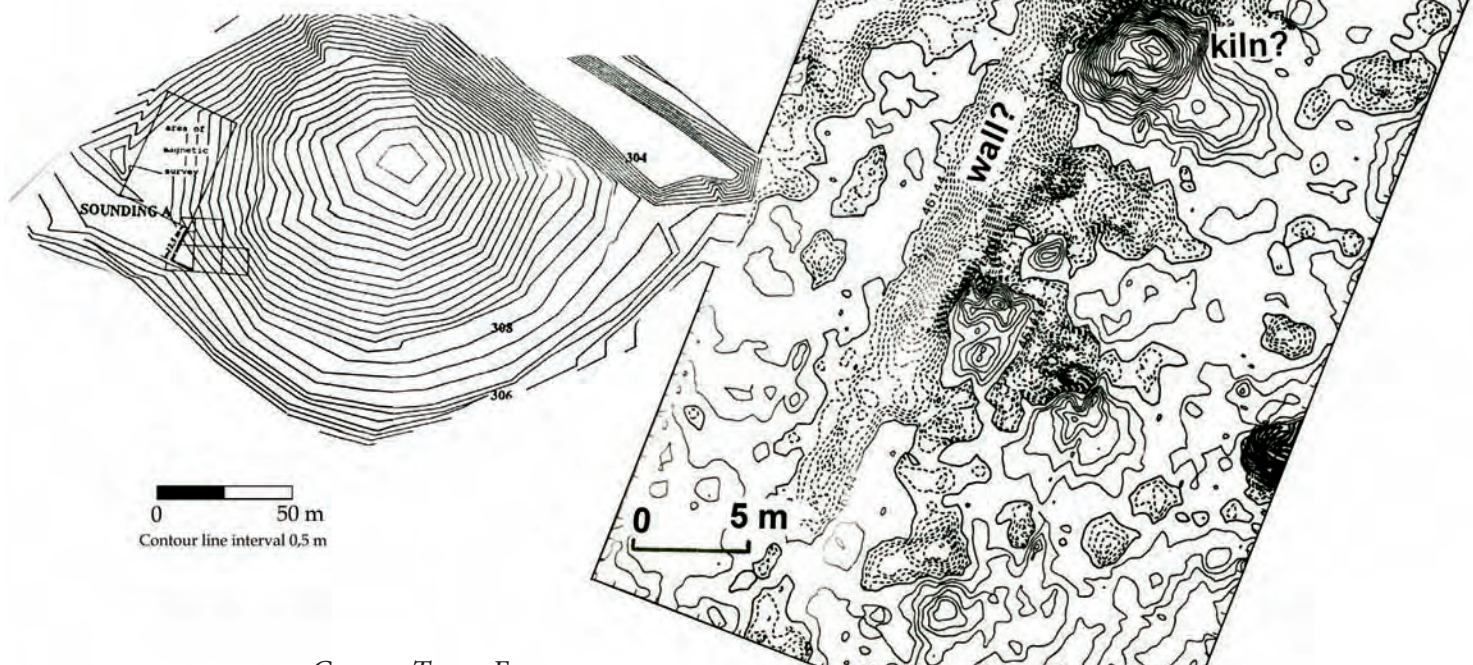
а) Карта затопления дамбы Тишерин.  
б) Расположение пирамиды бронзового века и холма Телль-Кабир

“Белый монумент”. Пирамида бронзового века. Магнитная карта. Темная вытянутая аномалия, возможно, создается коридором, ведущим в гробницу





Телль Банат. Мусульманское кладбище.  
 Магнитная карта.  
 Сечение изолиний 5 нТл.  
 Регулярная последовательность отрицательных аномалий, показанных пунктиром, соответствует каменным могилам



Сирия. Телль Банат.  
 Телль Кабир. Поселение римского времени.  
 Магнитная карта, на которой хорошо видны отрицательные аномалии от известняковых стен и сильная положительная аномалия от печи.  
 Сечение изолиний -2 и 5 нТл

# Калидон. Этолия. ГРЕЦИЯ



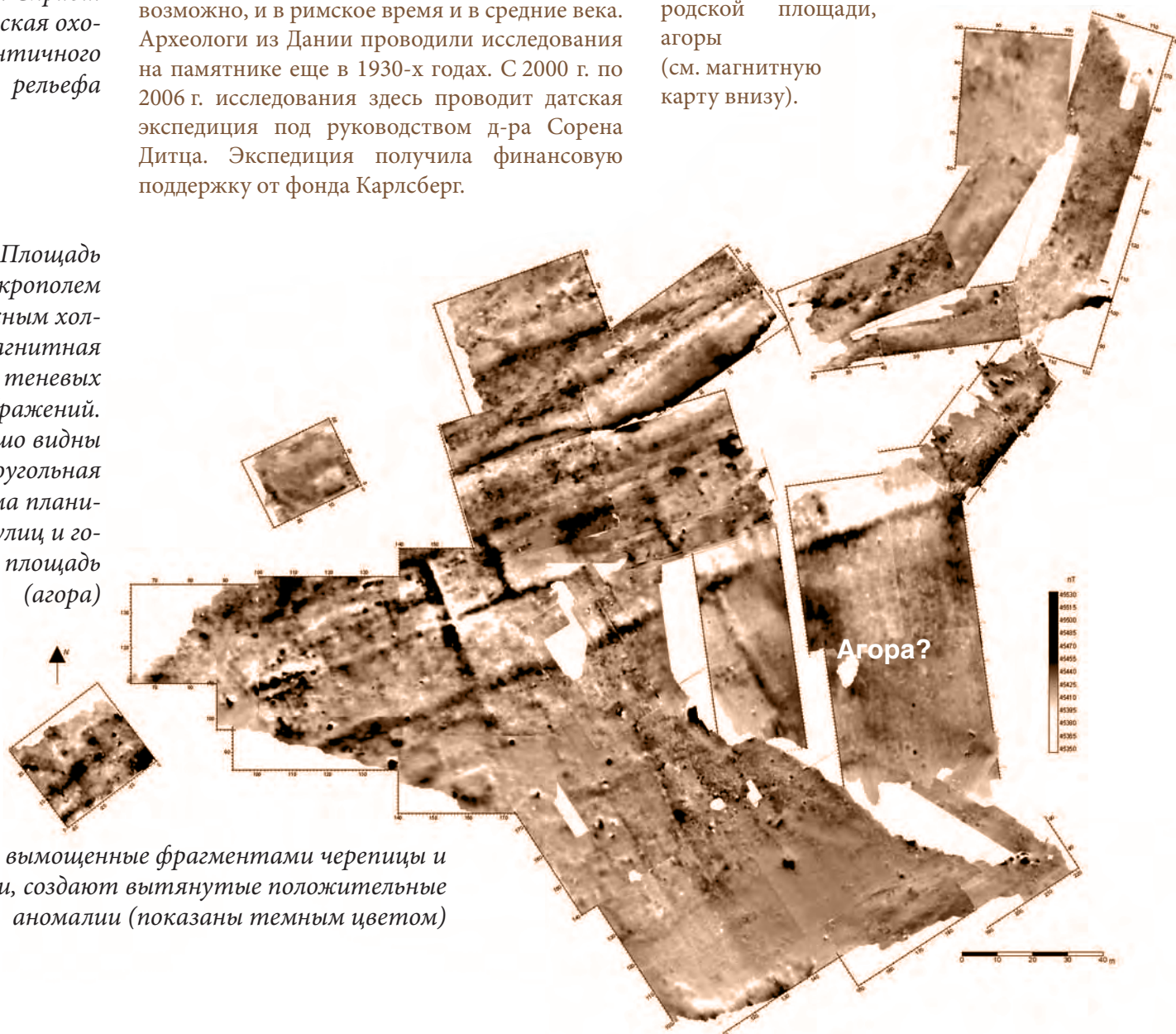
Слева: модель Калидона, выполненная Т. Смекаловой. Справа: калидонская охота. С античного рельефа

Древнегреческий город Калидон известен в связи с мифом о калидонской охоте. Город возник еще в архаическое время и существовал в эпоху классики и эллинизма, а также, возможно, и в римское время и в средние века. Археологи из Дании проводили исследования на памятнике еще в 1930-х годах. С 2000 г. по 2006 г. исследования здесь проводит датская экспедиция под руководством д-ра Сорена Дитца. Экспедиция получила финансовую поддержку от фонда Карлсберг.



Магнитная съемка на памятнике проводилась в 2001 — 2006 гг. на довольно большой площади города. В нижнем городе была выявлена радиальная планировка улиц, расходящихся от восточных ворот. Также изучалась площадь акрополя и некрополей за пределами стен города. Наиболее интересным результатом можно считать выявление прямоугольной гипподамовой системы планировки улиц и городской площади, агоры (см. магнитную карту внизу).

Калидон. Площадь между акрополем и Южным холмом. Магнитная карта теневых изображений. Хорошо видны прямоугольная система планировки улиц и городская площадь (агора)



Улицы, вымощенные фрагментами черепицы и керамики, создают вытянутые положительные аномалии (показаны темным цветом)

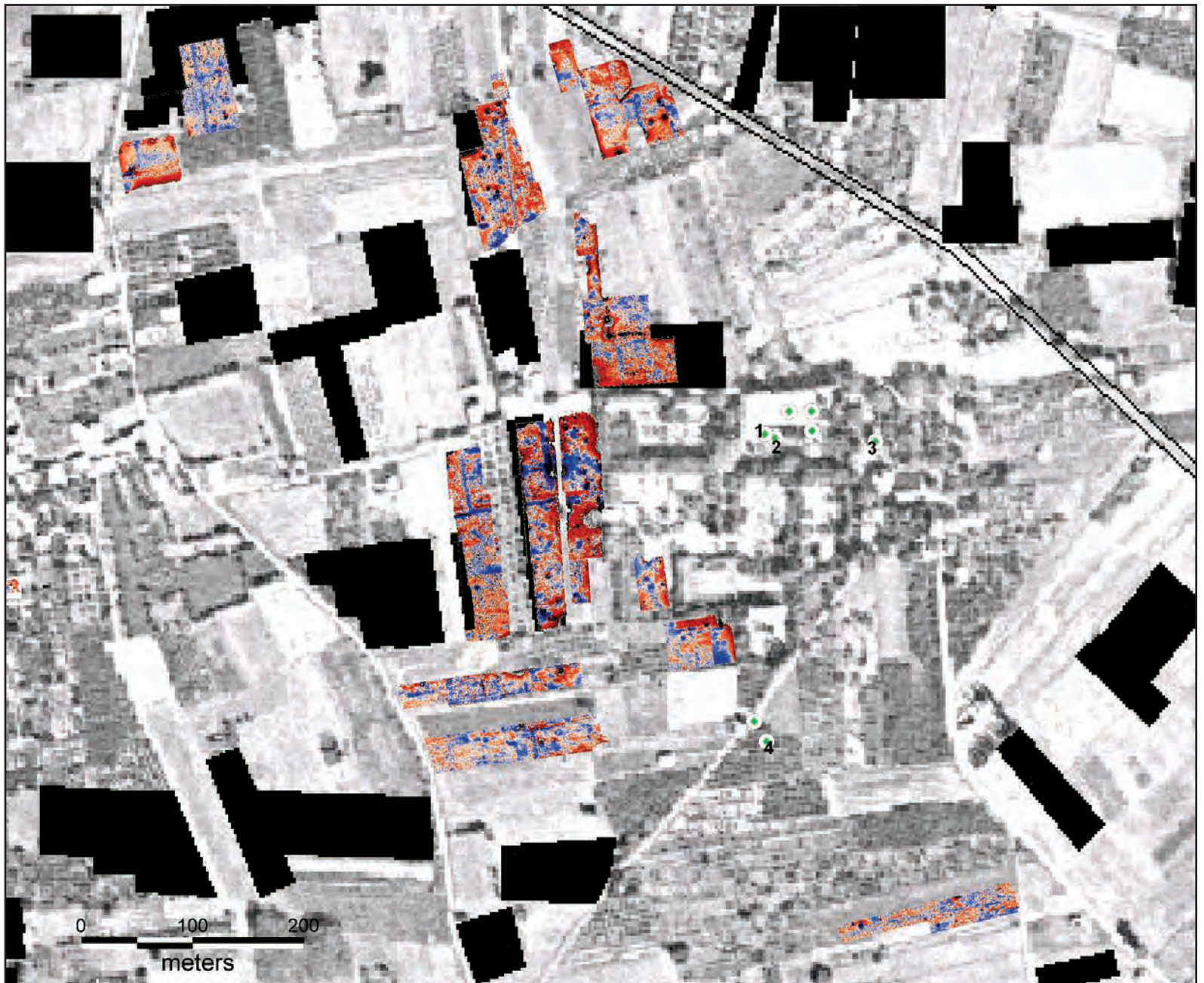
# Тегея на Пелопоннесе. ГРЕЦИЯ

В 2004 — 2006 гг. на территории древнего города Тегеи в Аркадии проводилась магнитная съемка в ходе проекта норвежского института в Афинах под руководством Кнута Одегорда. Одним из наиболее важных результатов было выявление планировки города по вытянутым положительным аномалиям от улиц, вымощенных фрагментами черепицы и керамики. Это, как известно, сильномагнитные материалы, поэтому над улицами наблюдались довольно интенсивные положительные аномалии амплитудами от 10 до 100 нТл, в зависимости от количества материала вымосток и магнитных свойств окружающей среды. Этот факт открыл возможность для выявления плана всего города по магнитным измерениям. На магнитных картах также можно видеть довольно четкие отрицательные аномалии от стен домов, сооруженных из немагнитного известняка.



*Храм Афины Алеи в Тегее*

*Магнитная карта центральной части Тегеи на фоне аэрофотографии. Длинные положительные аномалии (показаны синим цветом) соответствуют улицам древнего города, вымощенным фрагментами керамики и черепицей. Таким образом можно выявить планировочную структуру улиц Тегеи, которая восходит еще к архаическому и классическому времени. Размеры кварталов 75x25 м*





## Асея и Арахамиты. ГРЕЦИЯ

Асея - античный город-полис, находящийся в центре небольшой долины между городами Тегея

и Мегалопулос в Аркадии на Пелопоннесе в Греции. В 2007 г. в рамках полевого проекта Шведского института в Афинах (под руководством Жанетт Форсен) была предпринята попытка с помощью магниторазведки определить планировку (снимок вверху) «нижнего города», расположенного у подножья естественного холма, занятого акрополем, и эта попытка была настолько успешной, что превзошла все ожидания!

На магнитной карте, полученной осенью 2007 г., (внизу) отчетливо видна прямоугольная система из пяти улиц, идущих в направлении запад-восток и по крайней мере две улицы, пересекающих их в перпендикулярном направлении. Эта ортогональная сетка улиц огорожена крепостной стеной, которая в северной части города идет

в направлении восток-запад, затем поворачивает на 90 градусов и идет на юг. Внутри Нижнего города прекрасно «читаются» кварталы, занятые домами. Между третьей и четвертой улицами, если считать с севера, вероятно, находится городская площадь – агора. С западной стороны ее, возможно, огораживает длинный портик с колоннадой – стоа. В юго-восточном углу Нижнего города располагался, очевидно, ремесленный центр – здесь выявлено несколько печей или горнов, создающих сильные положительные магнитные аномалии. Несколько сильномагнитных объектов, возможно, керамических печей, обнаружено в юго-западной и северной части Нижнего города, у крепостной стены.

Четкая прямоугольная гипподамова система улиц и крепостная стена, ее огораживающая, оставляет впечатление хорошо продуманного и запланированного строительного мероприятия, которое потребовало, очевидно, немало времени и усилий от граждан полиса.





Весной 2006 г. по инициативе Финского археологического института в Афинах (начальник экспедиции Бьёрн Форсен) были начаты исследования нового античного памятника, находящегося в горах, в долине между двух холмистых гряд, недалеко от древнего города Асея и от храма, находящегося на вершине горы св. Элия (см. снимок из космоса сверху). Проведение магнитной съемки в долине было сильно затруднено из-за колючей кустарниковой растительности, но после опустошительного пожара летом 2007 г., многие участки долины обнажились, что позволило расширить исследуемую площадь. Магнитная карта, полученная на этой территории в течение трех полевых кампаний в 2006 и 2007 гг., представлена на рисунке справа. Совершенно неожиданным результатом было выявление обширного комплекса прямоугольных строений. Все выявленные структуры очевидно, подчинены единому замыслу и ориентированы согласно рельефу местности вдоль оси долины. Вероятно, древнейшей частью всего комплекса является западное прямоугольное здание размерами около 25 м x 50 м. Его ориентация слегка отличается от ориентировки более крупного, восточного, комплекса, а ширина магнитных аномалий здесь больше, чем на остальной части памятника, что говорит о более глубоком залегании стен. Восточный, предположительно, более поздний, комплекс состоит из большой квадратной площади со стороной почти 60 м, в центре которой находится какое-то углубление с довольно магнитным заполнением. По периметру площади располагаются помещения размерами примерно 7 м x 5 м в один ряд, а в северо-восточном углу – в два ряда. К западу от квадратной площади отходит «коридор» шириной 15 м длиной более 70 м, по сторонам которого идут такие же помещения, как и вокруг площади. К востоку находится другая долина, идущая в перпендикулярном направлении. Здесь магнитная разведка выявила линейные аномалии, которые могут относиться, предположительно, к древнему стадиону. Крупное, до настоящего времени неизвестное античное святилище классического и эллинистического времени - наиболее вероятное объяснение данному памятнику, но до проведения раскопок, данное объяснение остается пока только гипотезой.



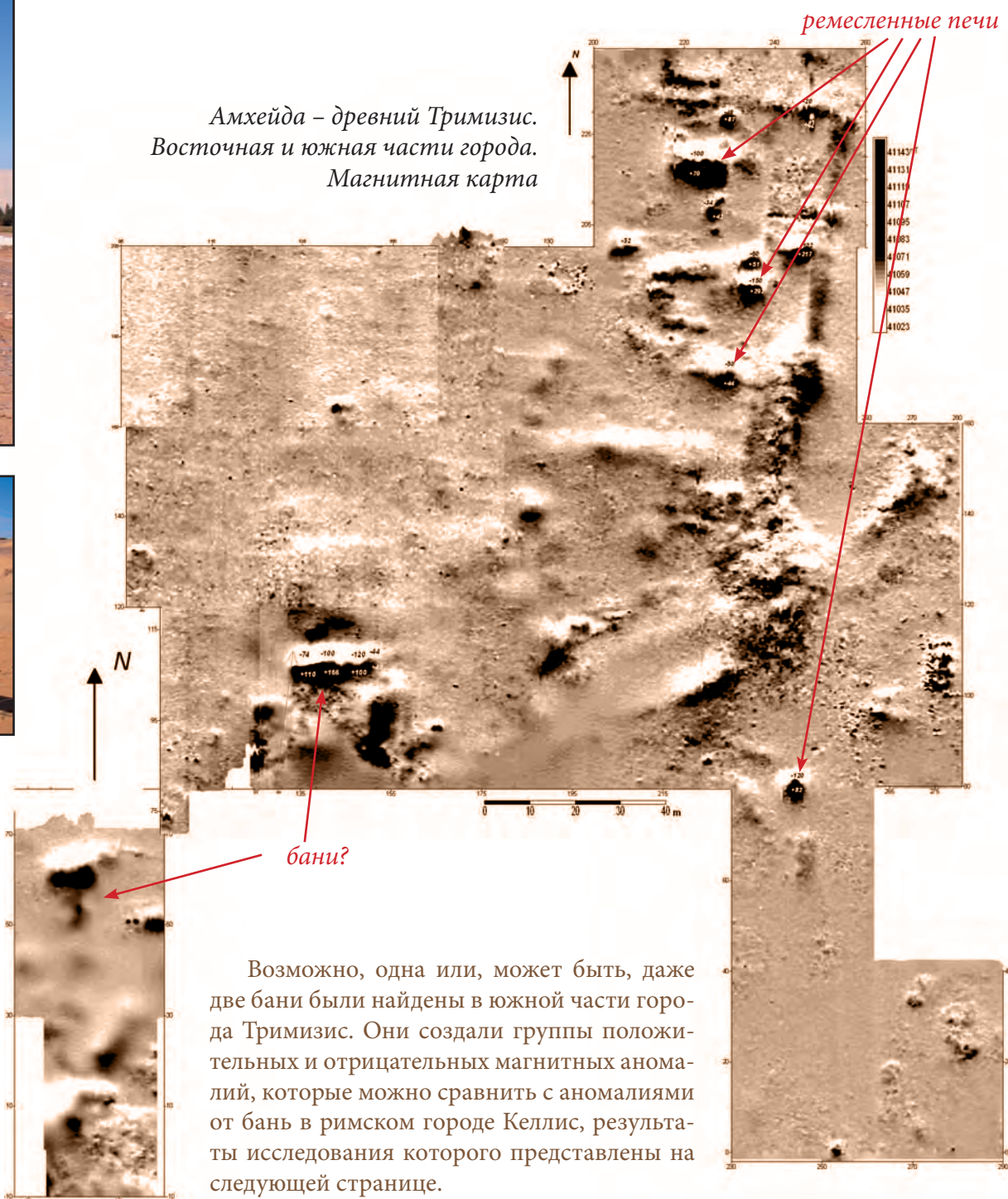
# Римские города Тримизис и Келлис в оазисе ДАХЛА в ЕГИПТЕ



На территории римского города Тримизис с помощью магниторазведки был обнаружен и исследован промышленный квартал, огороженный четырьмя улицами, которые отразились в магнитном поле как длинные положительные аномалии (показаны темным цветом). Здесь обнаружено по крайней мере семь или восемь горнов или печей, возможно, для обработки металла и для обжига керамики. Кучи шлаков и бракованной керамики находятся в конце улиц у кромки города.



Амхейда – древний Тримизис.  
Восточная и южная части города.  
Магнитная карта



Возможно, одна или, может быть, даже две бани были найдены в южной части города Тримизис. Они создали группы положительных и отрицательных магнитных аномалий, которые можно сравнить с аномалиями от бань в римском городе Келлис, результаты исследования которого представлены на следующей странице.

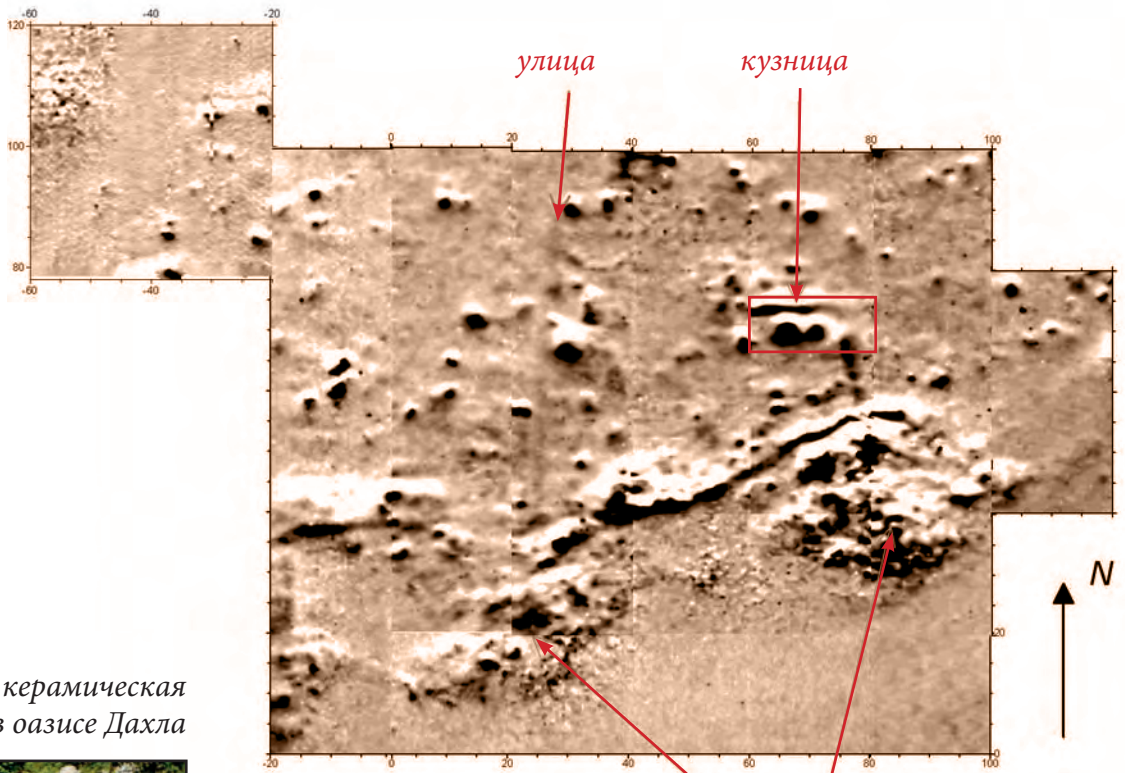


Исмант-эль-Хараб – римский город Келлис. Магнитная карта 1998 и 2005 гг. Темные области означают сильномагнитные объекты, в основном, печи и горны. Большие площади заняты отвалами керамических и металлургических шлаков, которые отразились в магнитном поле, как сложные аномалии, имеющие мозаичную структуру. Помеченная прямоугольником площадь была раскопана в январе 2000 г. Здесь была раскрыта кузница с двумя горнами в двух помещениях.

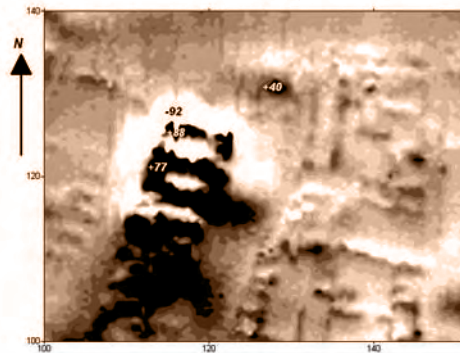
Современная керамическая мастерская в оазисе Дахла



улица кузница



отвалы шлака и керамического брака



Исмант-эль-Хараб – древний Келлис. Римские бани. Магнитная карта



# Антиохия – римская столица Писидии и библейский город. ТУРЦИЯ

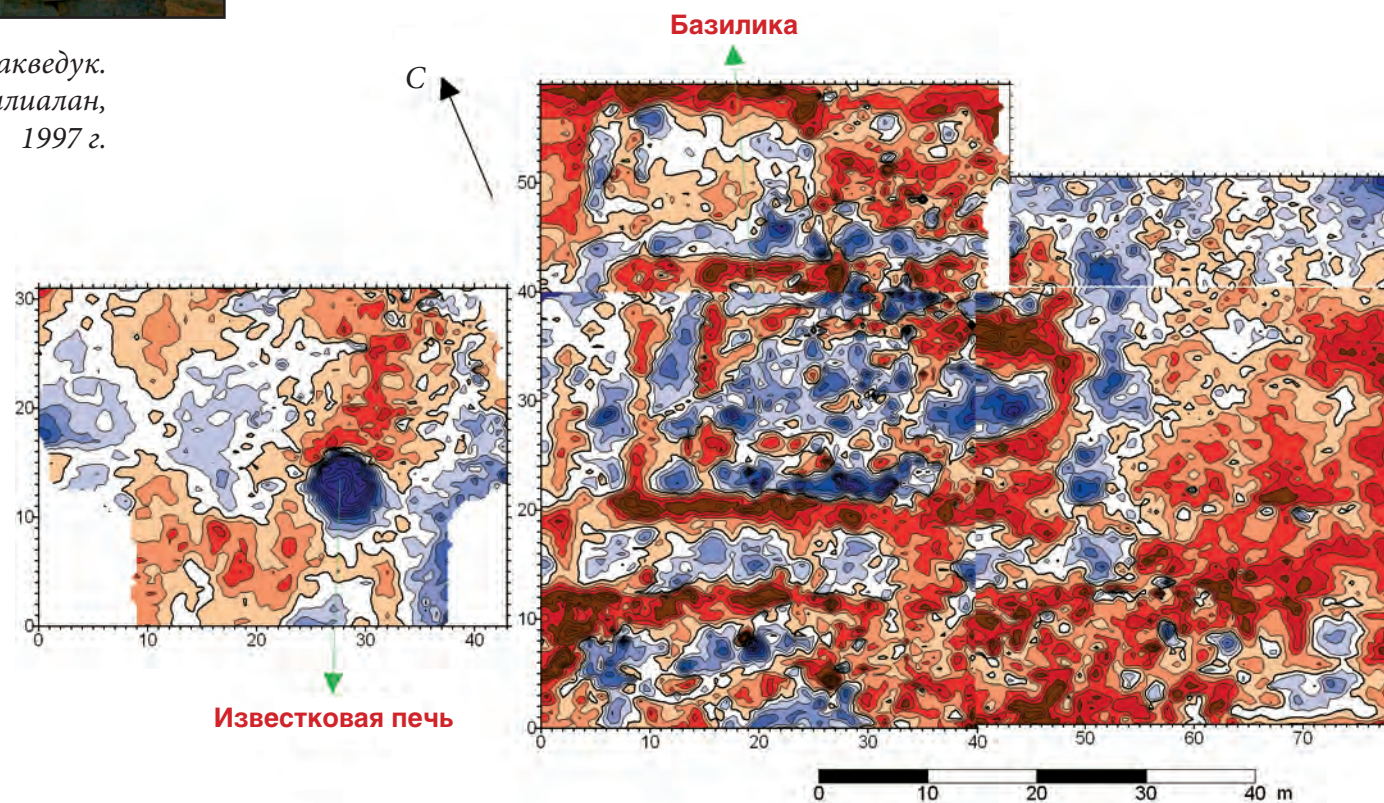


Римский акведук.  
Фото: М. Ташлиалан,  
1997 г.

Древний город Антиохия был столицей римской провинции Писидии, находящейся в глубине территории южной части Малой Азии. Антиохия в Писидии – хорошо известный благодаря описанию путешествия святого Павла, библейский город. Антиохия была открыта для науки в первой трети XIX в., раскопки на ак-

рополе начались в XX в. Магнитная съемка на акрополе Антиохии в Писидии проводилась в июне 2001 г.

Наиболее интересные результаты были получены на участке между римскими банями и нимфеем (зданием с фонтанами, из которого распределялась хранящаяся здесь вода, пополняемая из акведука). До проведения магнитной разведки было известно, что непосредственно к



Базилика Св. Павла.  
Фото:  
М. Ташлиалан,  
1997 г.

востоку от римских бань располагалась римская палестра (комплекс зданий, где проводились физические занятия и тренировки) (Mitcheli, Wealkens, 1998, p. 199). Но, как показывает магнитная карта, полученная на этом участке, здесь четко видны контуры большой базилики, с тремя полукруглыми абсидами. В качестве фундамента

для этой базилики, вероятно, служили остатки палестры. Стены «базилики» создают значительные отрицательные аномалии (обозначены красным цветом). Внутреннее ее пространство

было разделено на три части (нефа). Размеры базилики около 25 м x 50 м (если считать ее длину вместе с центральной апсидой, диаметром в 10 м). Вокруг базилики были возведены две ограживающих стены размерами 47 м x 57 м и 57 м x 57 м. План этой базилики идентичен плану большой базилики Св. Павла, раскопанной в нижнем городе, но последняя имеет несколько большие размеры (25 м x 70 м, она показана на фотографии).

Магнитная съемка проводилась также над римскими банями, где была обнаружена очень сильная аномалия, источником которой является крупная печь по отжигу извести. Такие печи довольно часто находят неподалеку от больших раннесредневековых зданий.

Печь имела два параллельных канала, ее внешние размеры не менее 4 м x 4 м. Остатки другой печи видны в разрезе траншеи неподалеку.

Возможно, обе печи были специально сооружены для обеспечения строительства базилики известковым раствором. Другой интересный объект, выявленный в ходе магнитной съемки — комплекс по хранению и распределению воды в древнем городе. Он состоит из большого резервуара для воды, окруженного стенами, построенными из известняковых блоков. На магнитной карте можно даже видеть керамическую водопроводную трубу, которая сохранилась на протяжении не менее 10 м. Труба начинается у южной стены резервуара и направлена на

юг. Каждая секция этой трубы приобрела острую намагниченность во время обжига в печи и поэтому она создает положительный сигнал совместно с отрицательным.

Поверхность территории этого комплекса от резервуара до нимфея была искусственно выровнена для того, чтобы обеспечить один и тот же горизонтальный уровень поверхности. Это необходимо было для правильной циркуляции воды из акведука и для снабжения города водой.



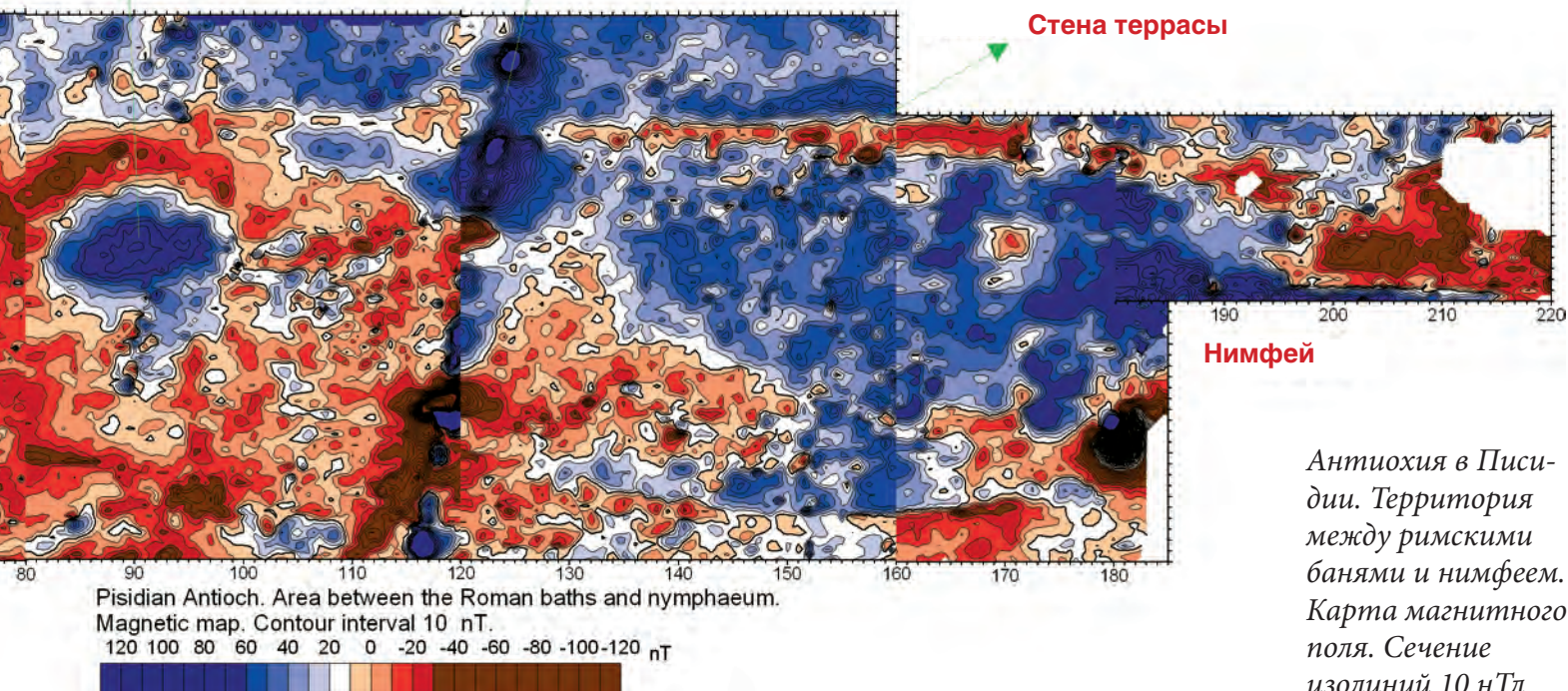
Улица в Антиохии.

Фото:

М. Ташлиалан,

1997 г.

Резервуар для воды Современный водопровод



Антиохия в Писидии. Территория между римскими банями и нимфеем. Карта магнитного поля. Сечение изолиний 10 нТл

Римский акведук.

Фото: М. Ташлиалан, 1997 г.



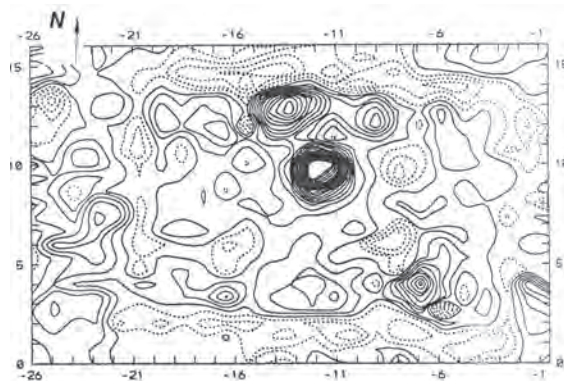
Магнитная съемка на площади к востоку от римских бань



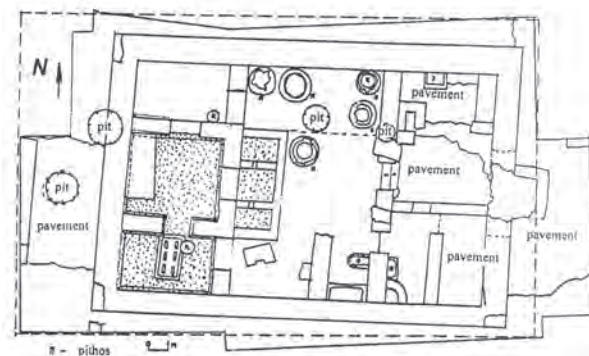
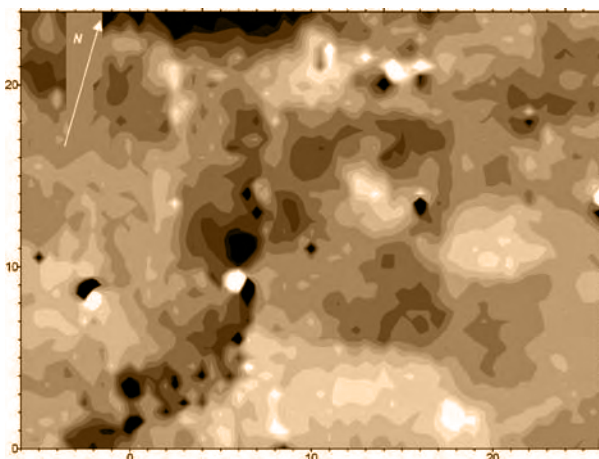
# Греческие усадьбы в КРЫМУ



Немагнитные известняковые стены греческих и римских усадеб создают отрицательные магнитные аномалии, потому что они находятся в слегка магнитной почве. Объекты, находящиеся внутри помещений (большие керамические сосуды, ямы, очаги, цистерны) и сам грунт культурного слоя создают положительные магнитные аномалии. В Крыму, на территории древнегреческого Боспорского царства на Азовском побережье, более 15 поселений и усадеб были обследованы с помощью магниторазведки в период с 1982 по 2006 гг.

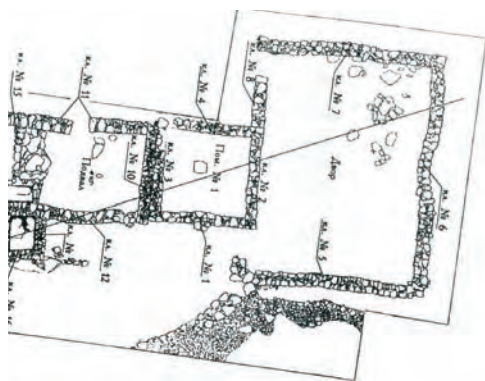


Магнитная карта усадьбы Пустынный Берег 2. Хорошо видны контуры прямоугольного здания усадьбы с винодельней



Магнитная карта центральной части эллинистической винодельни у Бакланьего Мыса. Сечение изолиний 2 нТл. Отрицательные аномалии (пунктирная линия) соответствует немагнитным известняковым стенам; положительные аномалии (сплошные линии) - пифосам и ямам внутри помещения

Результаты раскопок усадьбы Пустынный Берег. По: Ломтадзе Г.А., Масленников А.А., 2003 г.



Азовское побережье около усадьбы Пустынный Берег 2. Фото: Н. Мильцина



Золотая боспорская монета IV в. до н.э. Колос пшеницы под ногами грифона символизирует хлебное богатство Боспора

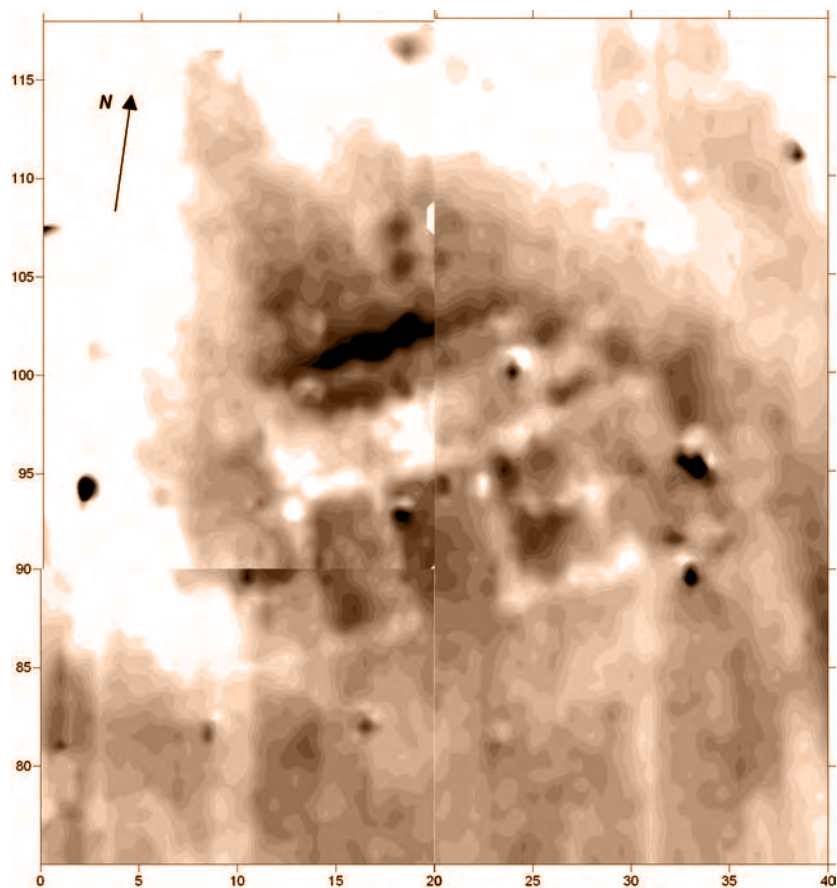
# Римская вилла в МАКЕДОНИИ. ГРЕЦИЯ.

Большое здание, ясно видимое на магнитной карте теневых изображений, имеет размеры около 25 м x 25 м. Внешние и внутренние стены этого здания отразились в магнитной карте как отрицательные аномалии (помечены светлым цветом). Внутри здания много небольших положительных аномалий, одни из которых соответствуют очагам внутри помещений, другие создаются ямами, заполненными более магнитным, чем окружающее пространство, материалом (фрагментами керамики, золой и т.д.).



Некоторые из локальных аномалий могут соответствовать большим керамическим сосудам (пифосам или амфорам). По подъемному материалу можно датировать это здание поздним римским временем.

*Магнитная съемка в Петропиги в Македонии, Греция*



*Магнитная карта теневых изображений римской виллы в Петропиги, на македонском побережье напротив острова Фасос. Сечение изолиний 2 нТл*



Купфeberg в 1650 г.

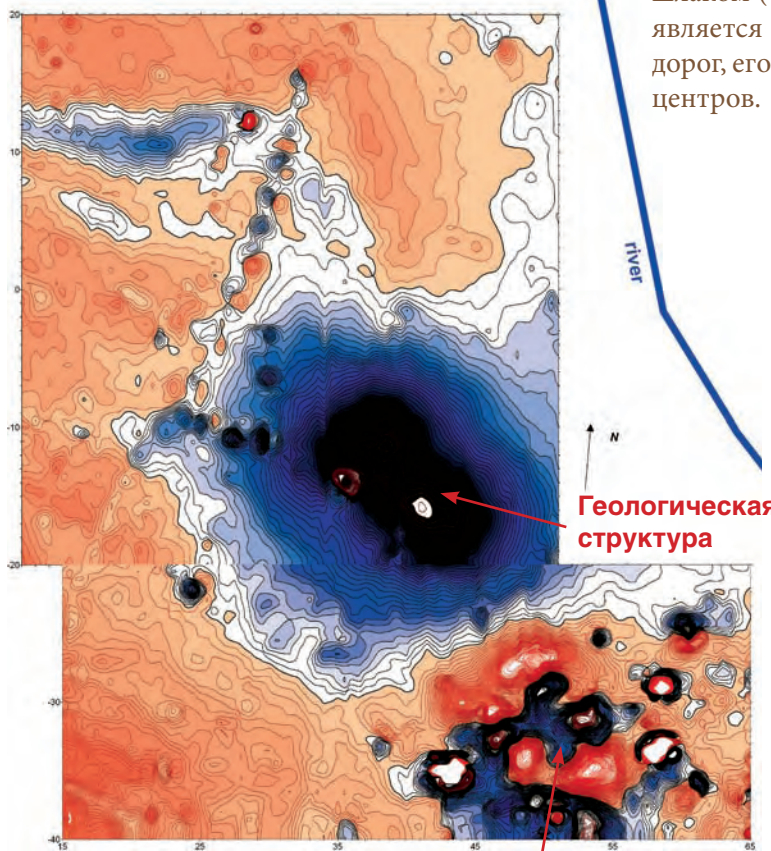
# Исследования остатков ДРЕВНЕЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Магнитная съемка применялась для исследования средневековых центров по выплавке меди недалеко от города Купфeberg в Баварии, Германия. Шлак, остающийся от выплавки меди, очень магнитен. Другие остатки производства меди также магнитны: фрагменты глиняной шахты, прокаленная руда, ямы, заполненные горелым материалом и золой и т.п. Поэтому с помощью магнитометра можно легко обнаружить значительные аномалии от остатков медеплавильного производства.

В Шалерхоферхютте остатки медеплавильных печей отразились на магнитной карте (внизу, слева) в виде группы очень интенсивных магнитных аномалий. Здесь также была зафиксирована широкая и мощная по величине положительная аномалия, которая связана, вероятно, с геологическим намагниченным телом, залегающим на глубине более 10 м. Линейная цепочка положительных аномалий соответствует дороге или трубопроводу.

В Альте Шмольц была обнаружена длинная положительная аномалия, соответствующая старой заброшенной дороге, посыпанной шлаком (см. карту внизу). Как известно, шлак является хорошим материалом для мощения дорог, его брали неподалеку, с медеплавильных центров.

Металлургический центр в Шалерхоферхютте. Магнитная карта. Сечение изолиний 20 нТл

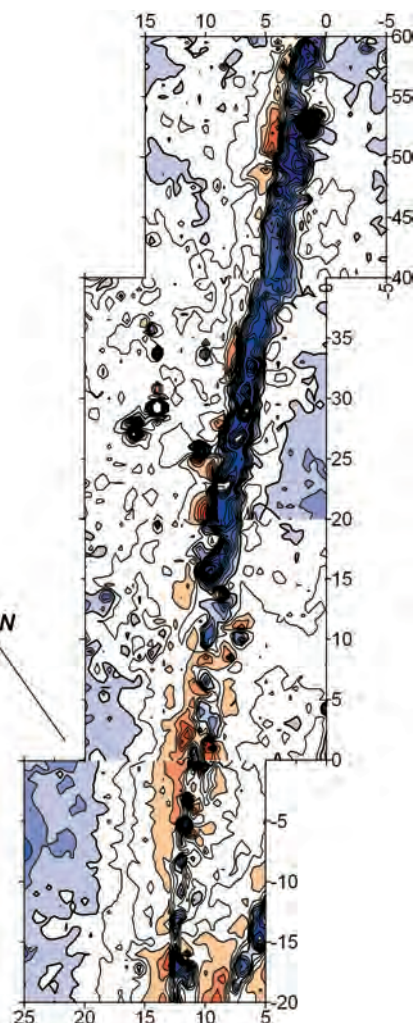


Представители местной администрации, спонсоры и участники экспедиции, на одном из медеплавильных центров около Купфebergа



Остатки медеплавильного центра

Альте Шмольц, около Купфebergа. Магнитная карта над старой дорогой, покрытой шлаком. Сечение изолиний 3 нТл





Начиная с 1986 г., каждый год Петером и Сюзанной Крю проводятся раскопки на доисторическом центре по выплавке железа в Крауквельте, в северо-восточном Уэльсе в Великобритании. Этот памятник находится на высоте около 300 м над уровнем моря на холмистых пастбищах, иногда здесь встречаются болота. Эта территория никогда не распахивалась, что обеспечило прекрасную сохранность археологических памятников. Здесь имеются остатки железоплавильных горнов, за пределами которых находятся отвалы шлаков.

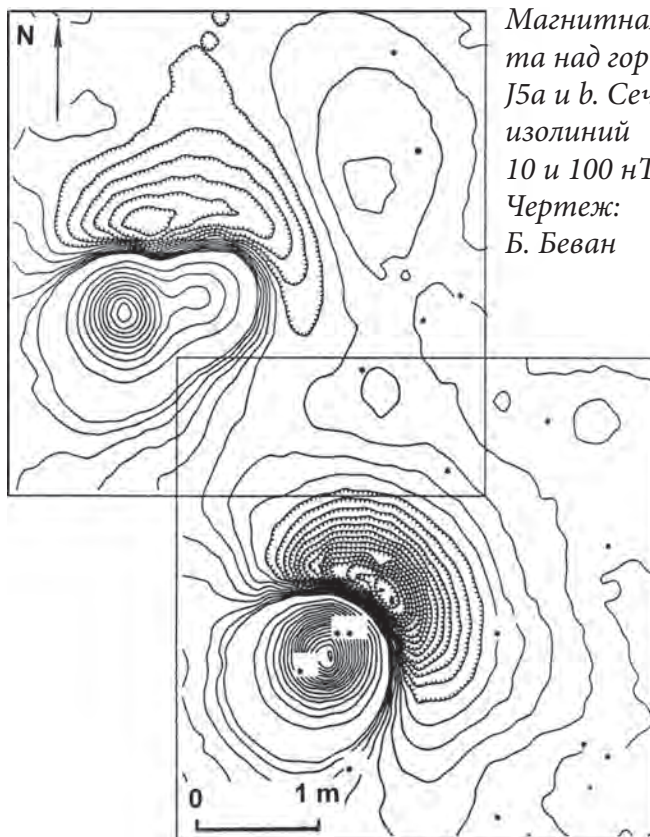
Над двумя доисторическими горнами и одной средневековой печью была проведена магнитометрия высокого разрешения, что позволило создать детальные магнитные карты этих объектов. Путем математического моделирования с использованием дипольного приближения удалось оценить направление полной намагниченности в этих объектах и сделать предположение о времени их функционирования.



Магнитная съемка проводилась с шагом 5 см и 10 см



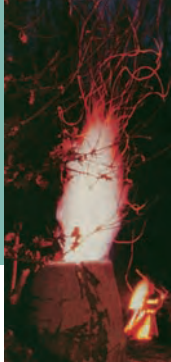
Крауквельт. Фотография двух соседних горнов. Фото: Петер Крю



Магнитная карта над горнами J5a и b. Сечение изолиний 10 и 100 нТл. Чертеж: Б. Беван



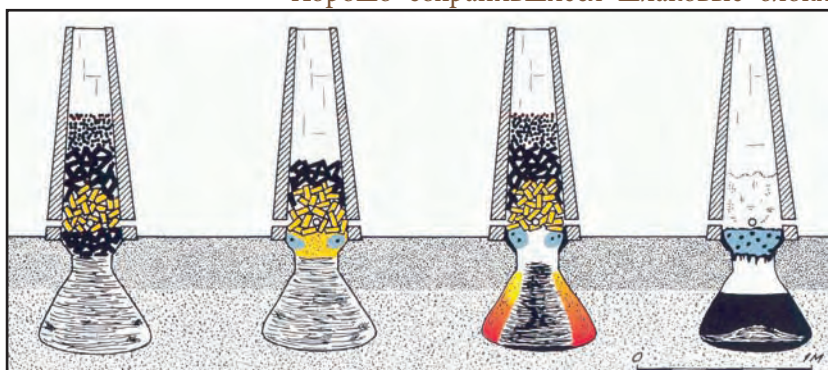
Крауквельт. Фото горна J5b. Фото: Петер Крю



# Древние железоделательные центры в юго-западной ЮТЛАНДИИ

Железоделательные горны со шлаковыми ямами были широко распространены в юго-западной Ютландии в период между II и VI веками н.э. В настоящее время в Европе известно не менее 120 железоделательных центров с горнами со шлаковыми ямами, которые датируются временем от конца первого тысячелетия до н.э. до первой половины первого тысячелетия н.э.

Хорошо сохранившиеся шлаковые блоки

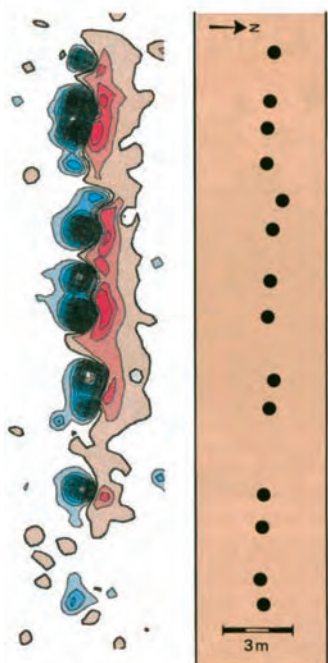


Шлаковый блок

Во время процесса плавки железный шлак стекал в расположенную под глинобитной шахтой яму и застывал в ней, образуя шлаковый блок



Брюс Беван, американский геофизик, измеряет магнитные свойства шлакового блока из юго-западной Ютландии



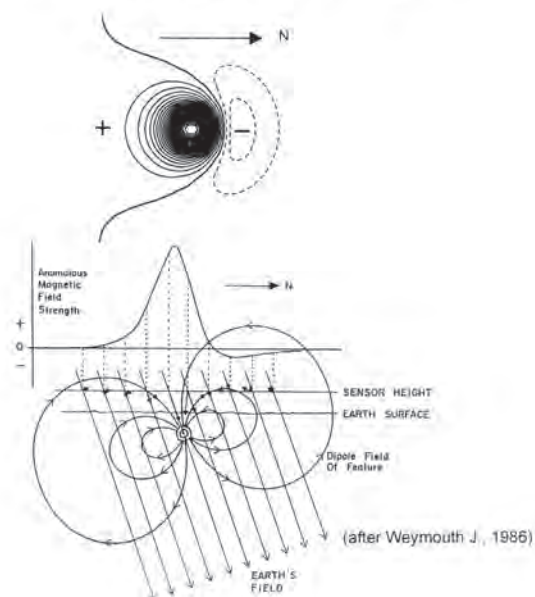
могут достигать веса более 200 кг. В юго-западной Ютландии условия залегания блоков таковы, что их верхние части находятся на глубине 30-35 см от дневной поверхности, а их нижние части – на глубине 50-70 см. Физико-археологическая модель в виде точечного диполя (или намагниченной сферы), предложенная Нильсом Абрахамсеном еще в 1965 г., (Abrahamsen, 1965), является прекрасным представлением для шлакового блока.

Шлаковые блоки — идеальные объекты для магнитной разведки, поскольку они представляют собой большие магнитные массы, находящиеся на небольшой глубине. Они создают сильные магнитные аномалии величинами в несколько сот и даже тысяч нТл. Каждый шлаковый блок соответствует отдельной выплавке. Если определить число и вес шлаков, то можно оценить полный объем продукции железа в древности. С помощью магнитной съемки можно определить не только эти параметры, но и точное положение каждого шлакового блока.

Таким образом, можно установить

*Магнитные аномалии, измеренные в Снорупе в 1992 г. над шлаковыми блоками, расположенными в ряд, и результат их раскопок в 1993 г.*

## Magnetic dipole anomaly



связь между группами железоделательных горнов и синхронными им жилищами, так называемыми «длинными» домами, и, тем самым, прояснить вопросы организации производства железа в древности.



Экскурсия в Snоруп для участников конференции в Сандбьерге в сентябре 1999 г. о доисторическом и средневековом производстве железа в Скандинавии и Европе

Аэрофотография железоделательного центра в Snорупе. Следы «длинных» домов показаны желтым цветом. Красными точками показаны шлаковые блоки, выявленные в ходе раскопок и в результате магнитной съемки



Слева: Олферт Восс показывает раскопанные шлаковые блоки, расположенные в ряд.  
Справа: демонстрация магнитометра GSM-19WG  
18 сентября 1999 г.



Snоруп.  
Раскопанные шлаковые блоки, расположенные в ряд





*Сноруп – один из крупней-  
нейших центров по про-  
изводству железа в юго-  
западной Ютландии.  
Более 4000 шлаковых  
блоков было выявлено  
здесь как в ходе раскопок,  
так и благодаря магнит-  
ной съемке  
(см. две предыдущие  
страницы буклета).  
Аэрофотография сделана  
Хансом Булем*

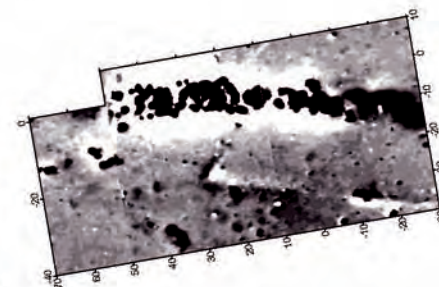


Для лучшего понимания организации производства железа в древности в этом районе было проведено исследование всех плавильных центров в прямоугольнике 10 км x 8 км с центром в Снорупе. К настоящему времени исследовано 7 железодельных центров: Краруп, Гюдсванг, Ходс-Хессель и Юдерик (выявлено более 1000 шлаковых блоков на каждом), Хорне (более 300), Краруп-восточный (примерно 100) и Хинси (около 70 блоков).

В 1975 г. часть поселения железного века в Хесселе

была раскопана, так как здесь на аэрофотографии были отчетливо видны следы «длинных» домов (см. снимок слева). В 2000 г. здесь, неподалеку от раскопанных жилищ был обнаружен большой кластер шлаковых блоков. Без сомнения, группа шлаков относится к данному поселению. Проверочный шурф показал, что над шлаковыми блоками здесь залегает довольно значительный по мощности культурный слой, который может содержать фрагменты глинобитной шахты горна и другие археологические объекты. Это означает, что раскопки данного памятника были бы очень важны для правильной реконструкции железодельного горна.

Обычно культурный слой на центрах производства железа, находящихся в зоне современной распашки, не сохраняется совсем, в Хесселе же он сохранился благодаря тому, что горны располагались в ложбине, в которой накопился значительный слой смытой почвы, предохраняющий культурный слой.



nT



обычно культурный слой на центрах производства железа, находящихся в зоне современной распашки, не сохраняется совсем, в Хесселе же он сохранился благодаря тому, что горны располагались в ложбине, в которой накопился значительный слой смытой почвы, предохраняющий культурный слой.

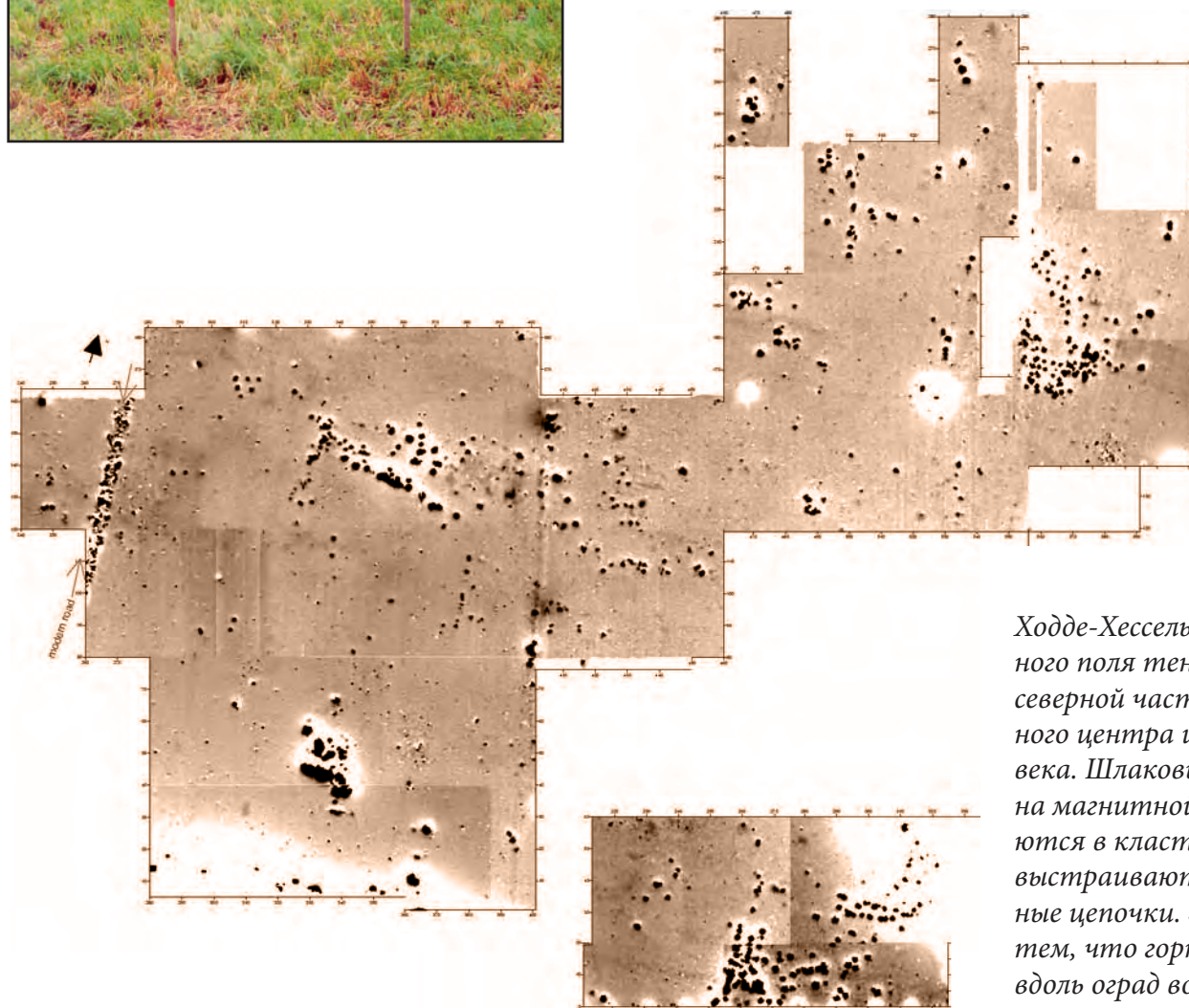
Аэрофотография, сделанная Хансом Булем над поселением в Хесселе. Участок магнитной съемки показан желтой пунктирной линией. Сама магнитная карта, полученная на этом участке, показана справа

# ЮГО-ЗАПАДНАЯ ЮТЛАНДИЯ – район производства железа в позднее римское время



Обычно глинобитная шахта бывает полностью разрушенной за счет многолетних распахов. До сих пор мы имеем очень скудные свидетельства о конструкции шахты. Возможно, именно поэтому многочисленные попытки повторить процесс древнего производства железа в печах данного типа до сих пор оканчивались безрезультатно.

Железоделательные центры зачастую находятся вблизи речек и ручьев. Из низин и со склонов их долин древние люди и добывали болотную руду для выплавки железа.



Ходде-Хессель. Карта магнитного поля теневых изображений северной части железоделательного центра и деревня железного века. Шлаковые блоки, видимые на магнитной карте, группируются в кластеры. Часто шлаки выстраиваются в прямолинейные цепочки. Это объясняется тем, что горны располагались вдоль оград вокруг домов



# ГЮДСВАНГ – железоделательный центр римского времени со следами «длинных» полей

Магнитные карты, полученные на железоделательных центрах, обычно содержат богатую информацию не только о погребенных шлаковых блоках, но и о других археологических объектах. Так, кроме групп мощных дипольных аномалий (то есть с большой положительной и меньшей отрицательной частями; отрицательная аномалия при этом находится непосредственно к северу от положительной), в Гюдсванге можно наблюдать также следы средневековых длинных полей. Они отражаются в магнитном поле как очень слабые, но непрерывно следующие параллельные, положительные аномалии. Их источниками являются магнитное заполнение ровиков, которые служили границами полей. Со временем ровики заносились более магнитными, чем окружающая подпочва, верхними почвен-

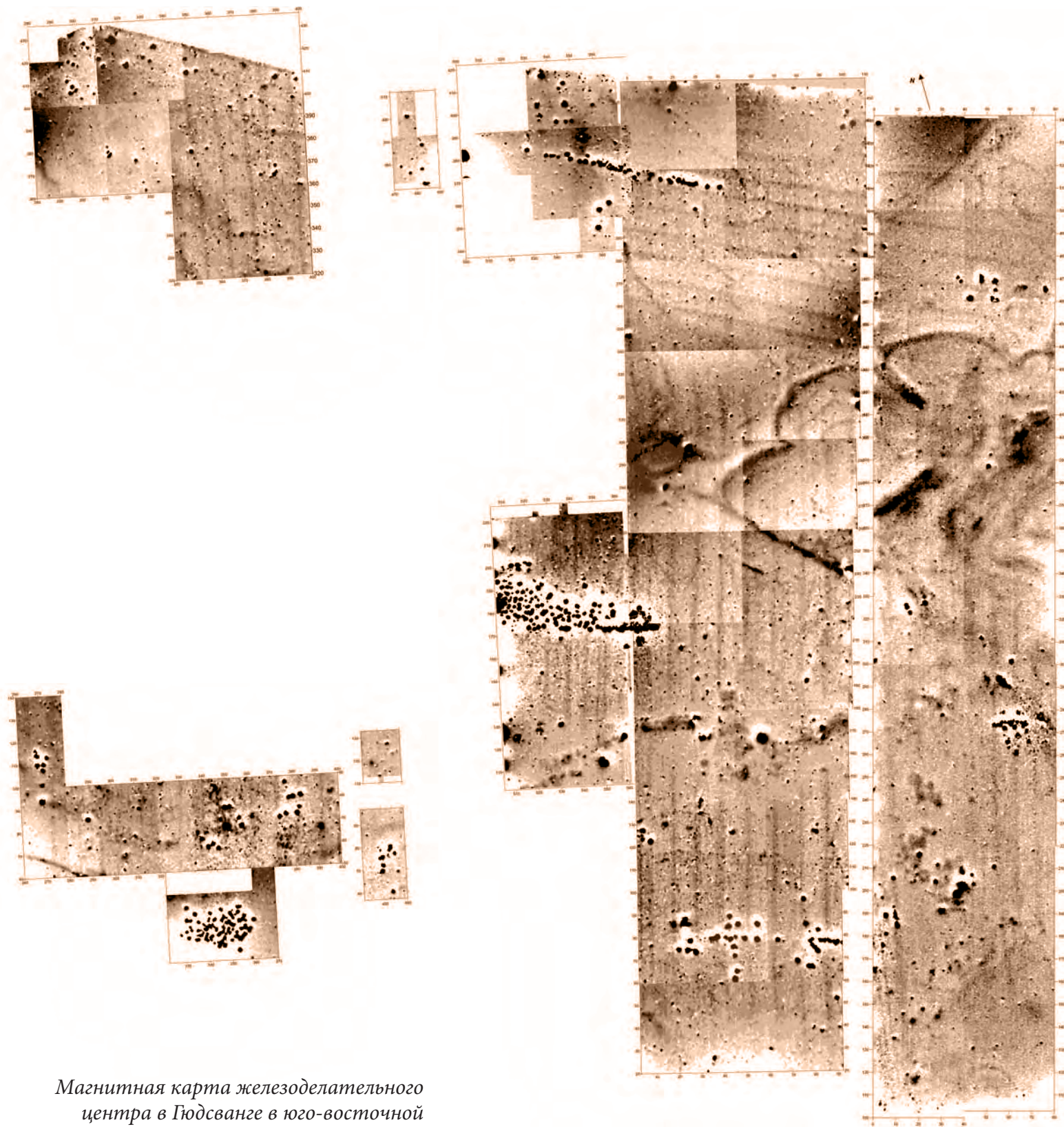


Гюдсванг.  
Аэрофотография:  
Олферт Восс

ными слоями. На магнитной карте хорошо видно, что система полей имеет направление юг-север в южной части исследованной площади, но затем вся система разворачивается почти на 90 градусов в северной части участка. Подобную же полосчатую структуру магнитного поля, соответствующую средневековым полям, мы наблюдали также в Снорупе, Юдерике, и повсюду в Ютландии.

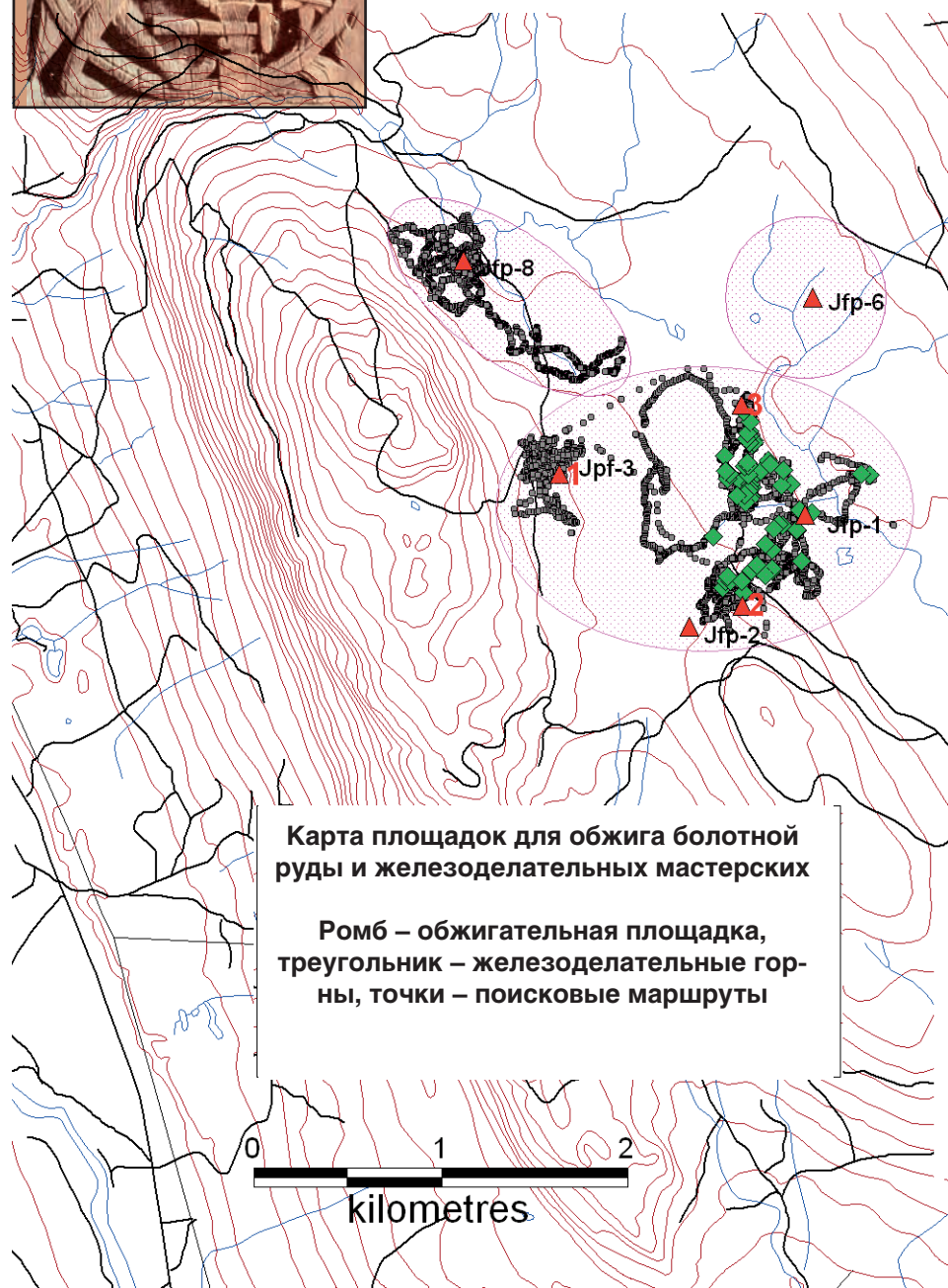
«Длинные» дома железного века, могут быть выявлены по рядам слабых положительных аномалий от магнитного материала, заполняющего большие столбовые ямы, а также от кострищ и очагов внутри домов. Мы зафиксировали подобные аномалии на поселениях в Крарупе, Гюдсванге, Снорупе и других. Землянки и полуземлянки также создают слабые положительные аномалии.





Магнитная карта железодельного центра в Гудсванге в юго-восточной Ютландии в Дании. Положительные аномалии показаны темным цветом, отрицательные – светлым

# Производство железа в НОРВЕГИИ в раннее средневековье



Карта площадок для обжига болотной руды и железоделательных мастерских

Ромб – обжигательная площадка,  
треугольник – железоделательные горны,  
точки – поисковые маршруты

0 1 2  
kilometres

Одним из крупнейших проектов в норвежской археологии за последнее время, был проект по исследованию огромных пространств (228 кв. км) лесного холмистого ландшафта с обширными болотами, недалеко от города Рена в 200 км к северо-востоку от Осло. Основная масса обнаруженных археологических памятников – остатки железоделательных центров (примерно с 1000 до 1300 гг.). Для того, чтобы обследовать с помощью магнитометрии столь большие пространства, необходимо было разработать соответствующую методологию, которая явилась комбинацией использования приборов спутниковой навигации (GPS) и магниторазведки. Работы по данной методике проводились здесь в течение 5 сезонов. Методика зарекомендовала себя как чрезвычайно эффективный способ для поиска и исследования остатков железоделательного производства на всех его стадиях – от добычи и обжига болотной руды, выжигания угля и выплавке железа в горнах со шлаковыми отвалами. С помощью магнитной съемки удалось выявлять те объекты, которые не имеют никаких внешних признаков на поверхности памятника. Так, были выявлены шесть новых железоплавильных центров, которые с помощью традиционных археологических разведок были ранее пропущены. Но наиболее впечатляющим результатом явилось то, что удалось обнаружить сотни площадок, находящихся поблизости от болот, на которых древние металлурги отжигали руду, добытую по берегам болот и речек. Эти археологические объекты ранее были практически неизвестны в данном районе за единичными исключениями, так как визуально они никак не фиксируются, их можно обнаружить только с помощью магнитометра. Все они были выявлены по разработанной методике методом «свободного поиска» при исследовании обширных лесных массивов. При обнаружении сильной магнитной аномалии, она проверялась небольшими тестовыми ямками, в которую опускался ручной магнит. Если наблюдалось сильное налипание к магниту частиц прокаленной болотной руды, такое место квалифицировалось как

Поперечное сечение одной из раскопанных куч обожженной болотной руды, найденной с помощью магнитометра.  
Фотография: Бернт Рудебергет



Добыча болотной руды

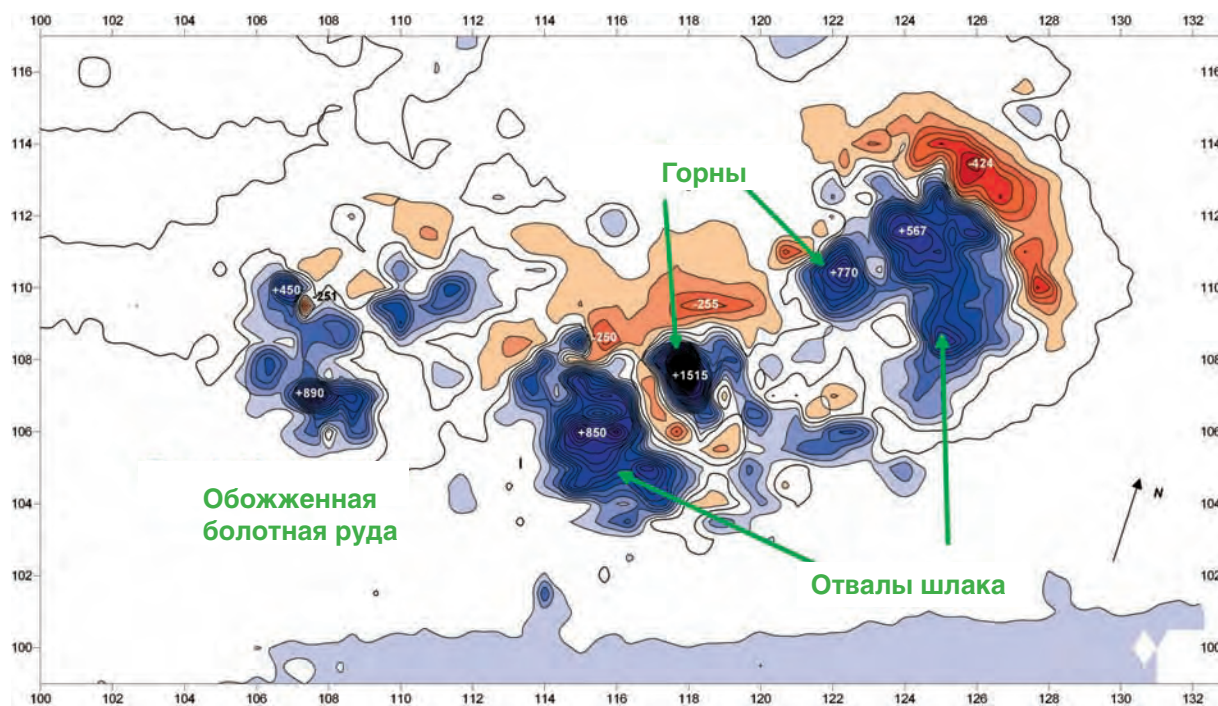




обжигательная площадка, и ее GPS координаты замерялись, а впоследствии заносились на карту местности. На тех местах, где по данным метода «свободного поиска» были найдены новые железоделательные центры, разбивалась координатная сеть и проводилась детальная магнитная съемка. На полученных магнитных картах можно видеть расположение горнов,



Air photo by Olfert Voss



Магнитная карта обнаруженного по данным «свободного поиска» железоделательного центра № 240S. Хорошо видны два горна и находящиеся по одну сторону от них два шлаковых отвала. Сечение изолиний 50 нТл



Детальная магнитная съемка с использованием координатной сети



Процесс экстрагирования железа из болотной руды

отвалов шлака, а также мест, где хранилась обожженная руда, подготовленная к выплавке. Таким образом, удалось получить важную информацию об организации производства железа в Норвегии в период раннего средневековья.

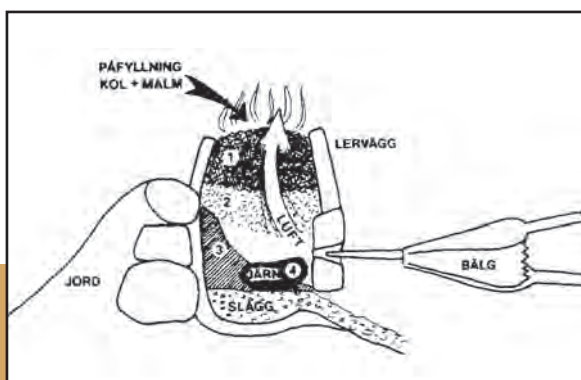


Схема химических превращений, происходящих во время плавки железа

# Лайре – важный центр эпохи викингов в ЗЕЛАНДИИ. ДАНИЯ.

Эпоха викингов явилась последним периодом в датской прединдустриальной истории. Она началась примерно с VIII в. н.э. Лайре, находящийся в центральной части Зеландии, к востоку от Копенгагена, являлся важнейшим центром времени викингов.

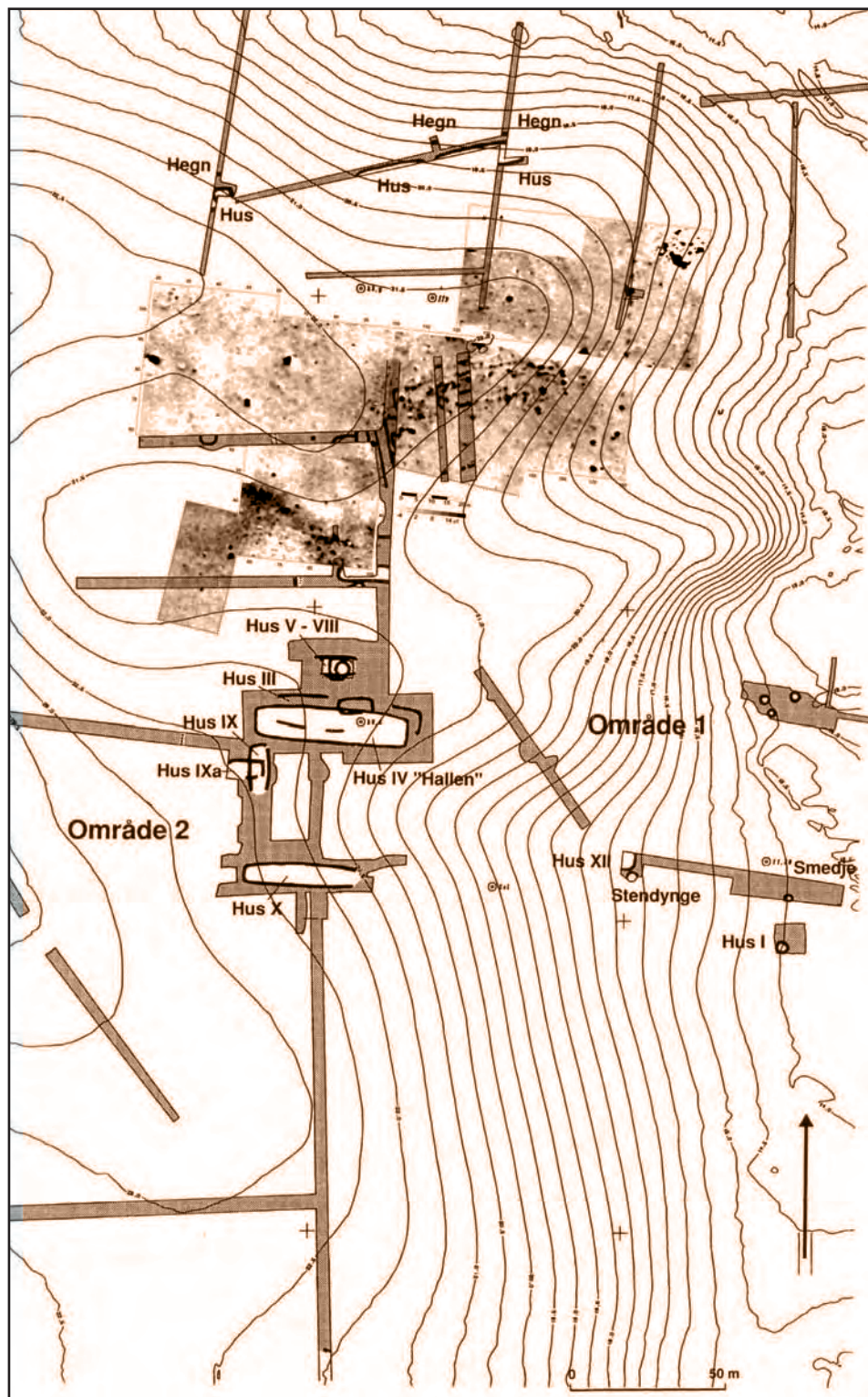


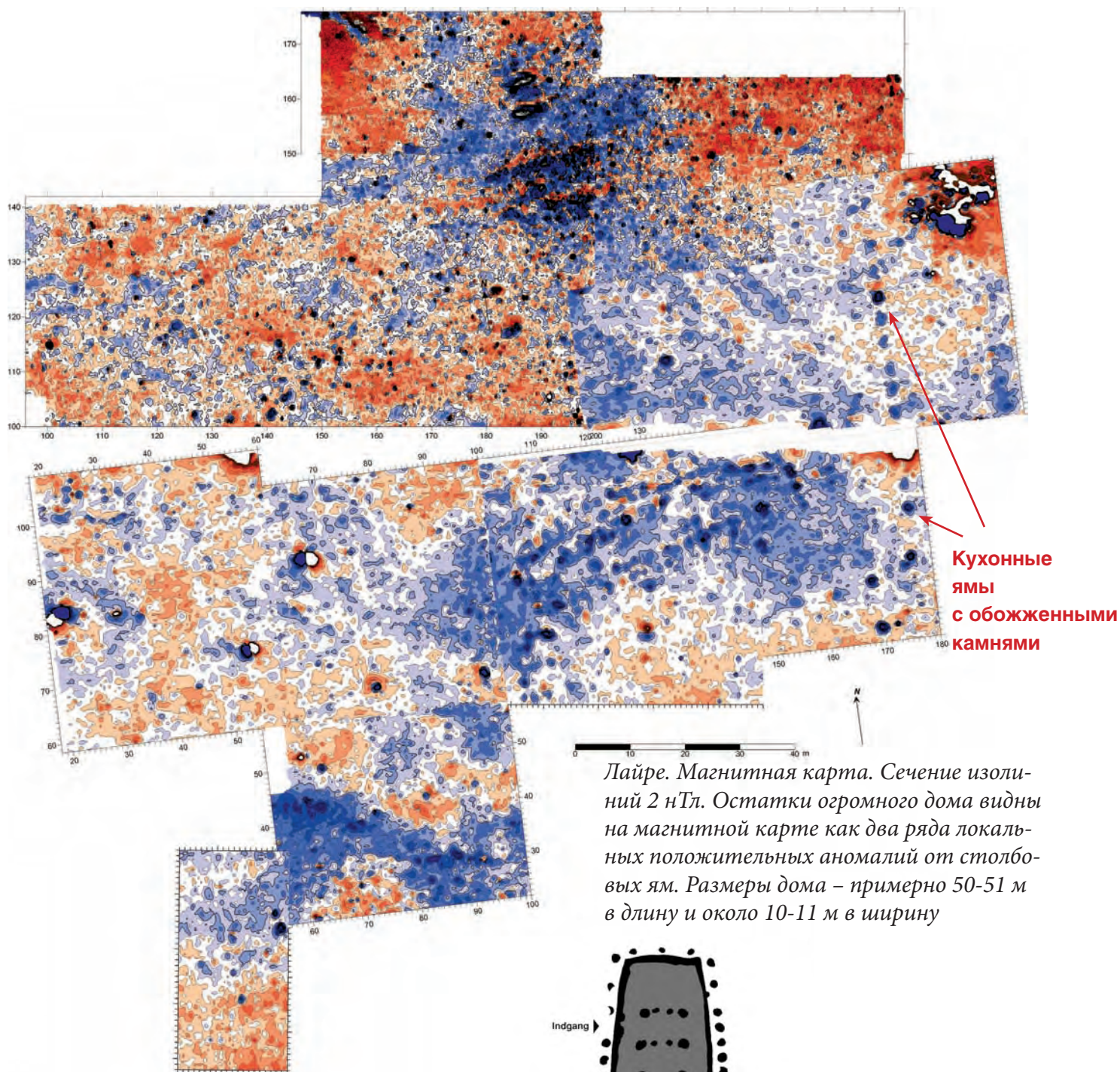
Схема раскопок в Лайре и магнитная карта, наложенная на эту схему

Наиболее интересным результатом проведенных здесь раскопок было выявление огромного дома, так называемого «Холла», или «Дома IV». Его размеры впечатляют: длина 48,5 м и ширина 11,5 м. Это был настоящий дворец эпохи викингов! (Т. Christiansen, 1991). От стен дома остались ровики, окруженные рядами больших столбовых ям. Внутри дома находились два параллельных ряда ям, оставшихся от опор -живающих крышу столбов. Очаг располагался в западной части дома, ближе к центру. В юго-восточной части дома был найден ящик для хранения припасов. С каждой стороны дома находилось по два входа.

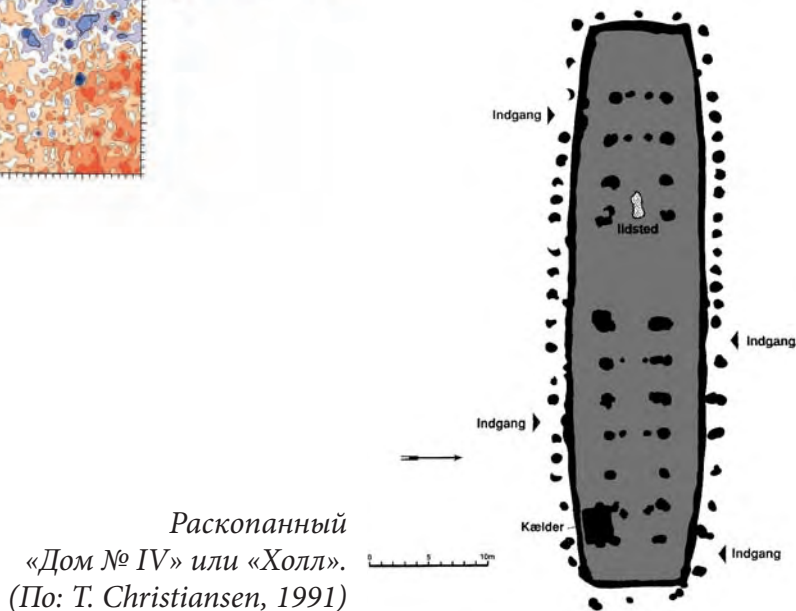
Целью магнитной разведки на этом памятнике было обследование территории к северу от раскопанного «дворца». С помощью этого метода удалось выявить две, очень четкие, структуры. Первая из них – структура удлиненной формы в центре исследованного участка. Это – остатки огромного дома, претерпевшего несколько перестроек. Его длина – 50-51 м, ширина – 10-11 м, то есть он имеет такие же размеры, что и «Холл». Стены этого дома отразились в магнитном поле как два изогнутых ряда положительных аномалий от столбовых ям, образующих контуры всего сооружения. В некоторых случаях, когда в столбовые ямы попали камни, аномалии очень значительные по величине.

Другой структурой, проявившейся в магнитном поле, был ряд локальных положительных аномалий, образующих прямую линию, следующую в направлении юг-север. Вероятно, это остатки очень мощной ограды, состоявшей из столбов, от которых остались лишь ямы, заполненные камнями. Возможна связь этой структуры с огромной кучей камней, которая отразилась в магнитном поле в виде сильной знакопеременной аномалии в северо-восточном углу участка.



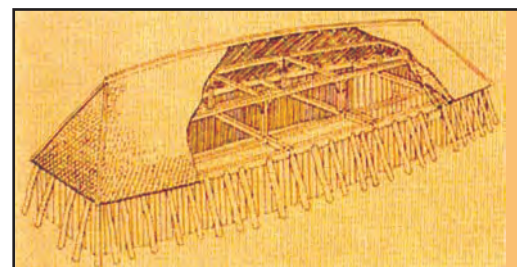


Лайре. Магнитная карта. Сечение изолиний 2 нТл. Остатки огромного дома видны на магнитной карте как два ряда локальных положительных аномалий от столбовых ям. Размеры дома – примерно 50-51 м в длину и около 10-11 м в ширину



Раскопанный «Дом № IV» или «Холл». (По: T. Christiansen, 1991)

Реконструкция «длинного дома» эпохи викингов. (По: Stig Jensen, 1991, p. 67)

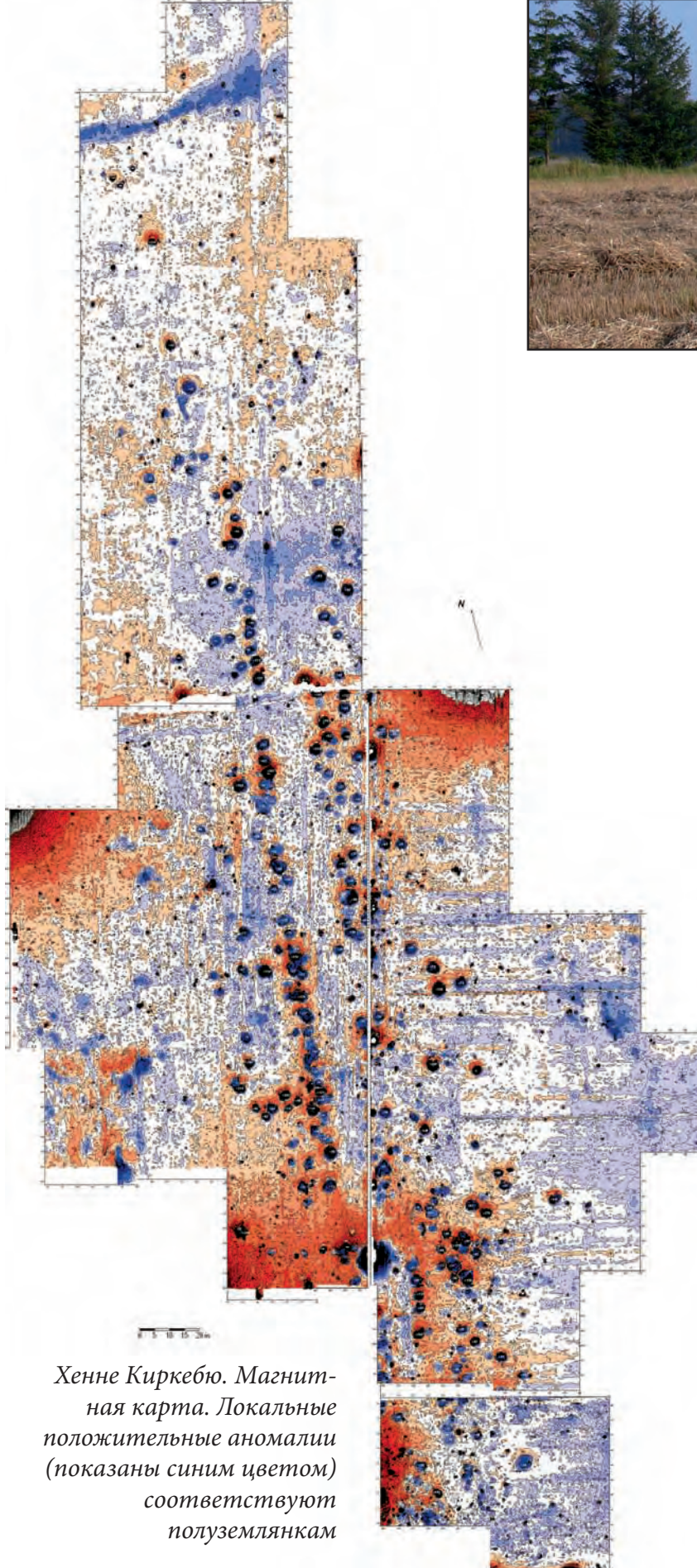


# ПОСЕЛЕНИЯ ЭПОХИ Хенне Киркебю

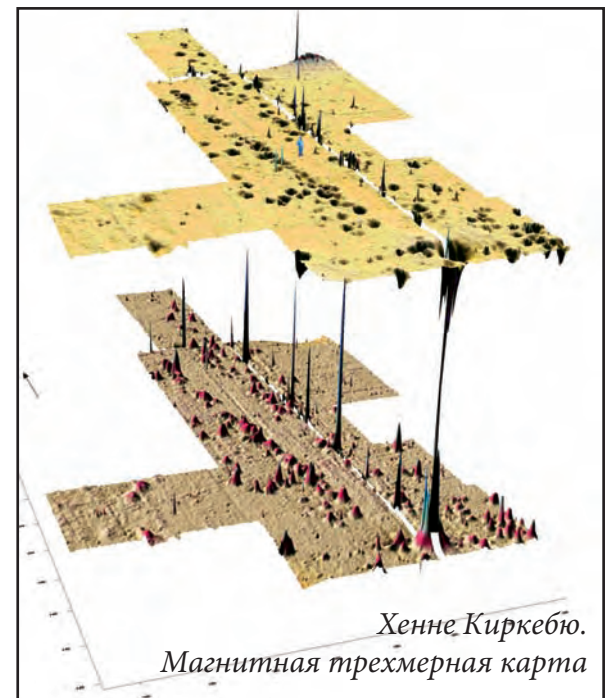


*Магнитная съемка в Хенне Киркебю*

Полуземлянки времени викингов очень часто встречаются на поселениях в западной Ютландии. В 2004 — 2006 гг. четыре таких поселения было исследовано с помощью магнитной разведки: Хенне Киркебю, Нюрре Фаруп около г. Риббе, Снеум Киркевай и Снеумгорд. Они находятся на первой, считая от моря, приподнятой террасе; рядом, как правило, находится река или фьорд, ведущие к морю. Интересно, что во многих случаях рядом находится церковь, так что можно предположить существование некоторой преемственности между поселением эпохи викингов и ранне-средневековыми церквями. На поселении Хенне Киркебю с помощью магниторазведки удалось выявить более 300 полуземлянок, которые располагались по обеим сторонам «улицы», имеющей в длину более полукилометра (570 м) (L. Frandsen, 2005).



*Хенне Киркебю. Магнитная карта. Локальные положительные аномалии (показаны синим цветом) соответствуют полуземлянкам*



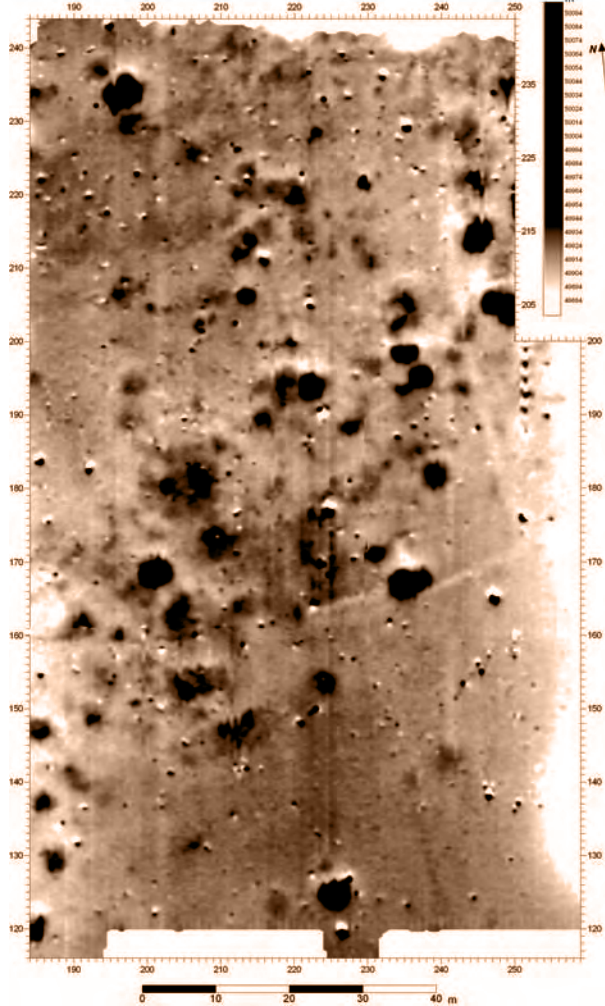
*Хенне Киркебю. Магнитная трехмерная карта*

# ВИКИНГОВ С ПОЛУЗЕМЛЯНКАМИ

## Нюрре Фаруп, у старейшего датского города Риббе



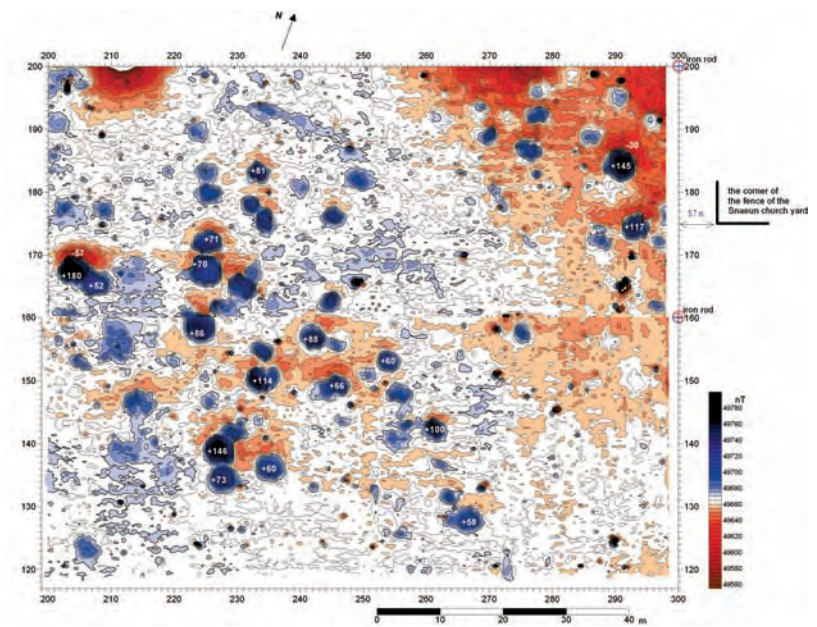
Магнитная съемка, проведенная на всех этих поселениях, позволила выявить сильные положительные аномалии от полуземлянок, которые являлись различными мастерскими. В зависимости от характера мастерской, аномалии от них могут быть сильнее (в случае кузниц, медеплавильных и т.п. мастерских) или слабее (в случае ткацких или прядильных мастерских).



Нюрре Фаруп. Магнитная карта. Положительные аномалии (показаны темным цветом) вызваны полуземлянками

Магнитная съемка оказалась эффективным методом для определения точного положения каждой полуземлянки и явилась дополнением к аэрофотоснимкам. В отличие от последних, магниторазведка помогает не только выявить, но и сделать различие между высоко- и низкотемпературными ремесленными мастерскими.

Нюрре Фаруп около Риббе



Снеум Киркевай. Магнитная карта. Сечение изолиний 5 нТл. Полуземлянки проявились в виде положительных аномалий (показаны синим цветом)

## Церковь в Снеуме.



Поселение эпохи викингов у церкви в Снеуме.



Аэрофотография поселения Снеум Киркевай  
Фото: Музей в Эсбьерге

# Магнитная съемка на памятниках средневековья в Дании. Роскилле



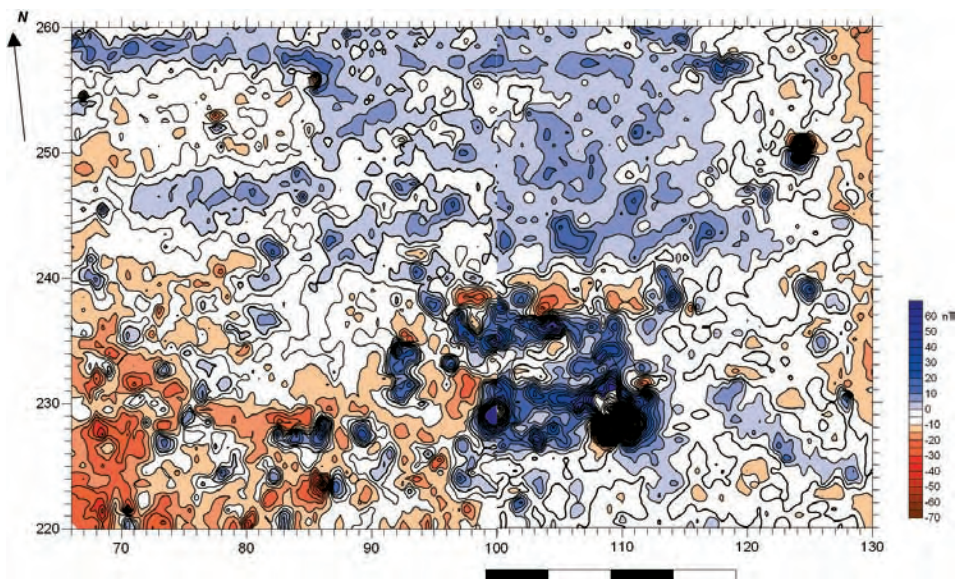
Магнитная съёмка к северу от собора в Роскилле

Важные результаты были получены на обширном поле к северу от знаменитого собора в Роскилле, где похоронены все датские короли. Здесь, согласно карте 1670-х гг. находилась одна центральная улица, которая далее к северу, за церковь Св. Ганса, раздваивалась на

более мелкие улочки. В 2003 г. здесь была проведена магнитная съёмка, с помощью которой удалось выявить остатки какого-то важного строения размерами не менее 10x12 м. Стены этого дома были сделаны из кирпича, фундамент и вымостки – из камня. Какой-то сильномагнитный объект (возможно, железный предмет) находится в углу этого здания, он создал чрезвычайно мощную аномалию.

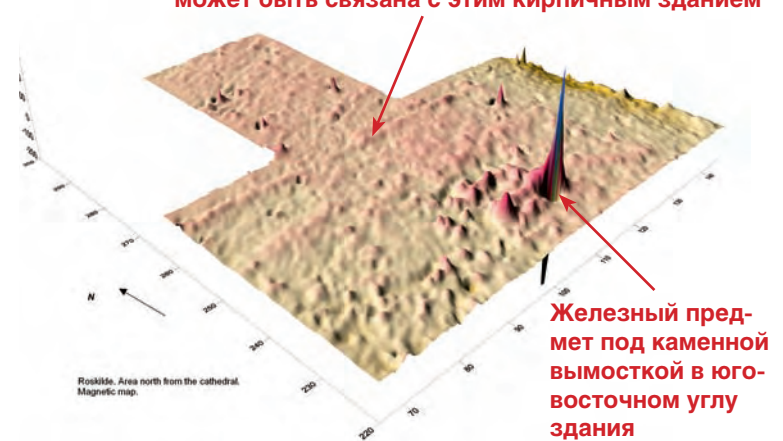


Результаты раскопок 2004 г., выявили прямоугольное здание с обширным подвалом и стенами, сложенными из кирпича



Роскилле. Магнитная карта на участке к северу от церкви Св. Ганса

К северу от открытого здания имеется также длинная положительная аномалия, которая пересекает всю исследуемую площадь в широтном направлении. Возможно, она создается стеной, которая может быть связана с этим кирпичным зданием



Железный предмет под каменной вымосткой в юго-восточном углу здания

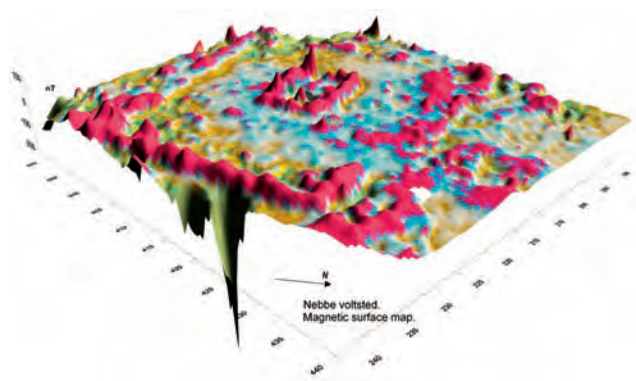
Трёхмерная магнитная карта на участке к северу от церкви Св. Ганса

# Замок в Неббе

Замок в Неббе находится на трех невысоких холмах к северо-западу от Роскилле около Харслева, на перешейке между заливом Каттинге и озером Большое Каттинге. С помощью магнитной съемки здесь, на самом южном холме, удалось обнаружить квадратную двойную крепостную стену с прямоугольной башней в центре. Размеры башни примерно 11,5 x 8 м. Она имеет очень мощные кирпичные стены, возможно, на каменном фундаменте. Крепостная стена образует почти правильный квадрат в плане, размерами 40 x 42 м. Она состоит из двух рядов стен, расстояние между которыми примерно 4 м. Обращенная к берегу озера крепостная стена более мощная, чем остальные. В ложбине между южным и средним холмами «читается» аномалия от возможного моста, опоры которого сделаны из камня с применением кирпича.

На среднем и северном холмах магнитные аномалии гораздо слабее, чем на южном. Здесь, очевидно, находились какие-то деревянные строения, от которых сейчас можно наблюдать только слабые положительные аномалии от столбовых конструкций.

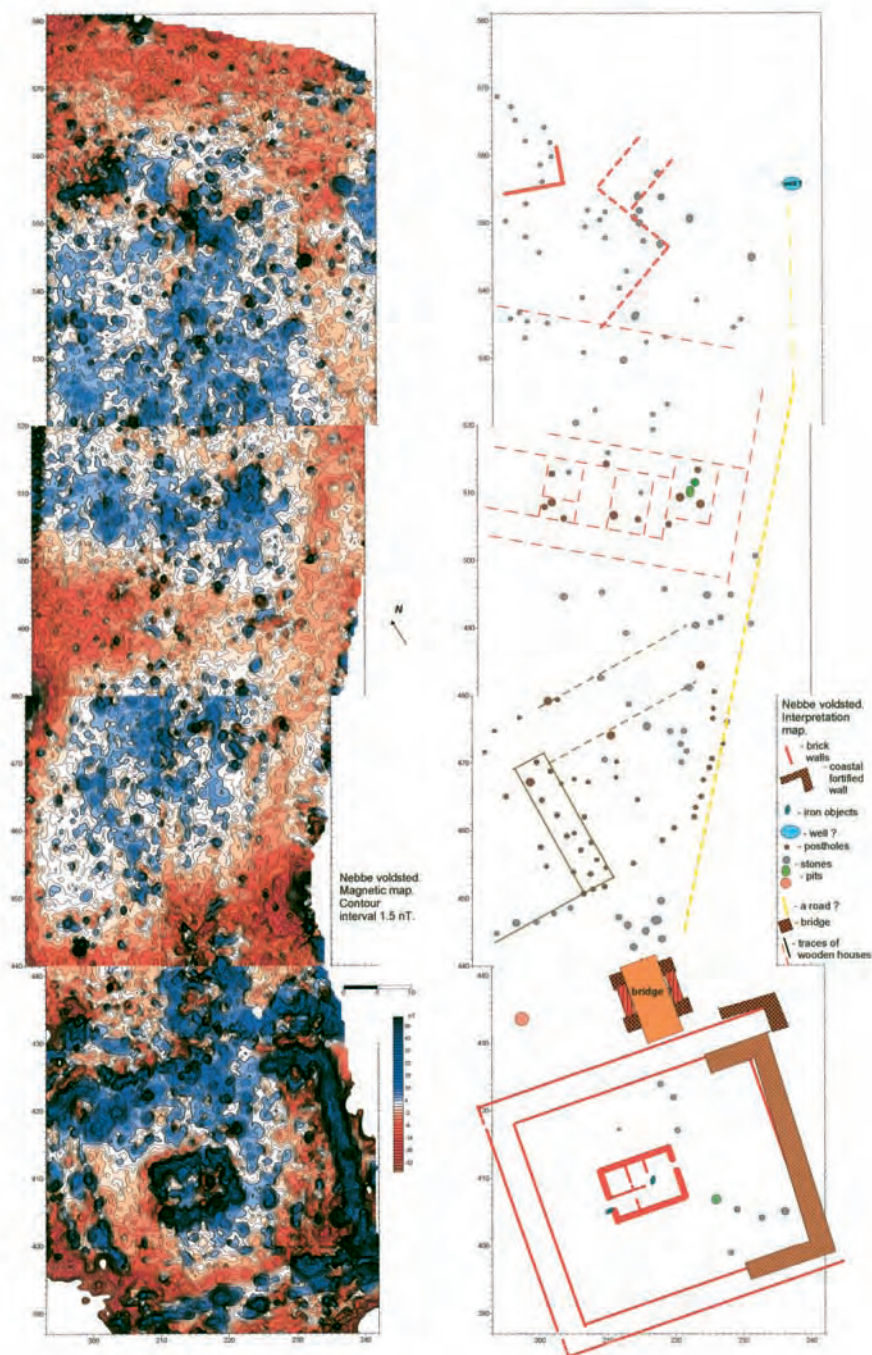
*Магнитная и интерпретационная карты замка в Неббе*



*Трехмерная магнитная карта замка в Неббе*



*Замок в Неббе находится на трех низких холмах. На всей этой территории была проведена магнитная съемка*



# Эбельхолт – августинский монастырь в ДАНИИ



*Графическая реконструкция монастыря в Эбельхолте (по рисунку из путеводителя по музею)*

Проведенные в 1930-х 1940-х гг. раскопки выявили центральную часть монастыря в Эбельхолте и его обширный некрополь. Здания были сооружены в XIII-XIV вв. из «монастырского камня» – так в средние века называли кирпич – редкий и дорогой по тем временам строительный материал. Фундаменты были сложены из крупных гранитных камней. В настоящее время руины главного здания монастыря оказались посередине пахотных полей. Для установления охранной зоны будет использоваться магнитная

карта, полученная на большой территории вокруг монастыря. В течение двух сезонов (в 2002 и 2003 гг.) магнитная съемка проводилась на не раскопанной части монастыря в Эбельхолте. Оказалось, что действительная площадь монастырского комплекса гораздо больше раскопанной его части. На магнитной карте к северу от монастыря можно видеть большое деревянное здание, имеющее столбовую конструкцию, вероятно, сельскохозяйственную усадьбу. В северо-восточной части находятся три больших печи

для обжига кирпичей, из которых и был построен монастырь. К северу находится маленькое квадратное здание с довольно сильномагнитным заполнением, возможно, кузница. С восточной стороны от центрального здания пролегал канал. К юго-западу от центрального участка мы видим руины какого-то кирпичного здания, которые отразились на магнитной карте в виде знакопеременной мозаичной аномалии. На самом юге исследованной площади находится железодельный центр, от которого к северу к монастырю ведет дорога. Эти и многие другие детали проявились на магнитной карте, которая может служить документом при установлении охранной зоны вокруг монастыря.

**Обжигательные печи**

то кирпичного здания, которые отразились на магнитной карте в виде знакопеременной мозаичной аномалии. На самом юге исследованной площади находится железодельный центр, от которого к северу к монастырю ведет дорога. Эти и многие другие детали проявились на магнитной карте, которая может служить документом при установлении охранной зоны вокруг монастыря.

**Сельскохозяйственная усадьба**

**Руины кирпичного здания**

*Магнитная съемка на распаханых полях вокруг монастыря в Эбельхолте*



**Кузница**

**Кирпичные здания**

**Дорога**

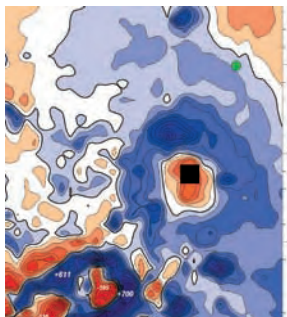
**Металлургическая мастерская**

# Холм кузнеца. Мусгард. ДАНИЯ

История старого Мусгарда восходит еще к 1300-м гг. На карте этого большого усадебного комплекса 1783 г., на месте, помеченном как «Гора Кузнеца», в 2001 г. была проведена магнитная съемка. На магнитной карте, которая приведена в нижней правой части страницы, хорошо видно прямоугольное небольшое строение, которое, вероятно, является старой кузницей, отчего гора и получила свое название. Стены «кузницы» отразились в магнитном поле как сильные положительные аномалии (до 70 нТл), так как вдоль них накапливалась кузнечная окалина. В этом здании было только одно помещение, в центре которого «читается» положительная аномалия, возможно, след от стоявшей здесь наковальни. Сама же железная наковальня, как весьма ценный предмет, вероятно была припрятана под восточной стеной кузницы, здесь зафиксирована сильная «дипольная» аномалия. Вход в кузницу был с запада, за ее пределами находятся также две большие ямы, заполненные шлаками и другими отходами кузнечного производства. С севера на юг рядом с кузницей проходила дорога или ограда, вдоль которой были установлены камни или крупные шлаковые блоки – мы видим целую дюжину значительных положительных аномалий, выстроившихся в ряд.

Небольшая отрицательная аномалия, обрамленная положительной, находящаяся к югу от кузницы, создана, вероятно, ямой для выжигания угля. Очень похожие аномалии мы зафиксировали в Норвегии над подобными угольными ямами (см. магнитную карту внизу).

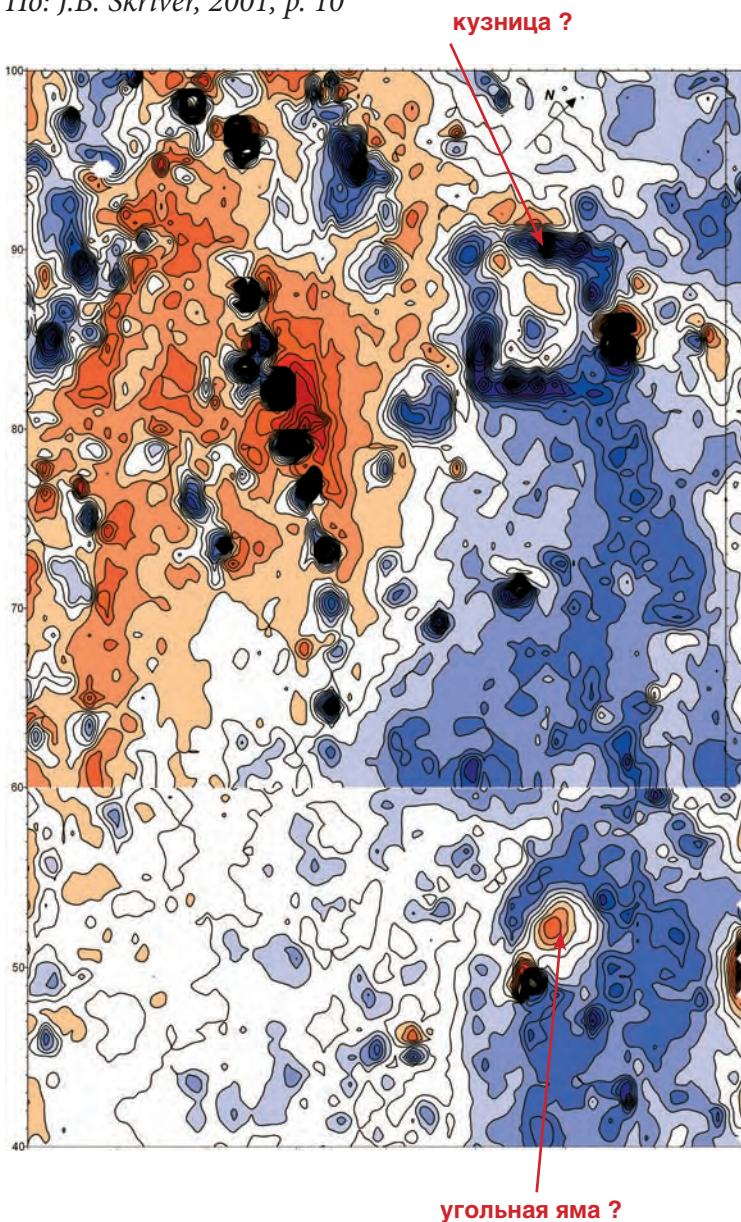
Магнитная карта над угольной ямой в Тюине, Норвегия. Сечение изолиний 50 нТл



Магнитная карта, полученная на «Горе Кузнеца». Сечение изолиний 5 нТл



Карта старого Мусгарда, 1783 г. “Smed Back” – “Гора Кузнеца”. По: J.B. Skriver, 2001, p. 10



# ГОРНЫЙ КРЫМ.

## Средневековые гончарные центры



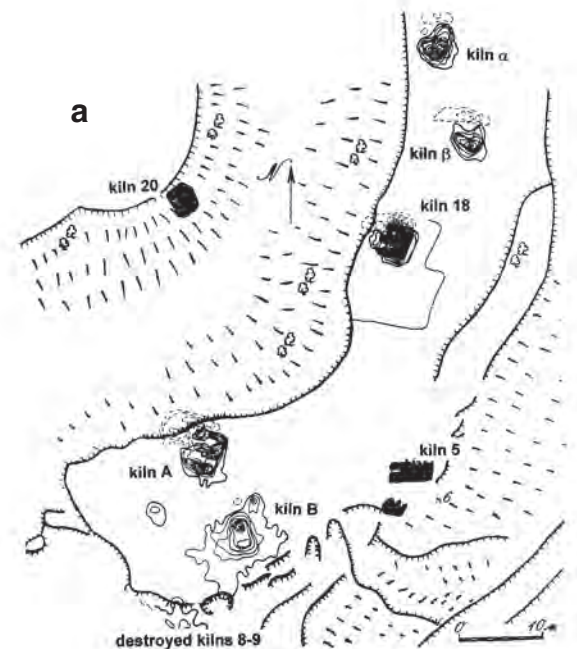
Керамические обжигательные печи создают сильнейшие положительные магнитные аномалии, так как они представляют собой огромные массы прокаленной при высокой температуре глины. Величины аномалий над печами могут достигать сотен и даже нескольких тысяч нТл. Поэтому эти объекты являются чрезвычайно перспективными для магнитной разведки. С помощью этого метода удастся не только обнаружить, но и детально исследовать печи, получить информацию об их точном местоположении, размерах, форме и даже внутреннем строении (Смекалова и др. 2000).

Юго-восточный Крым. Керамические центры VIII-X вв.

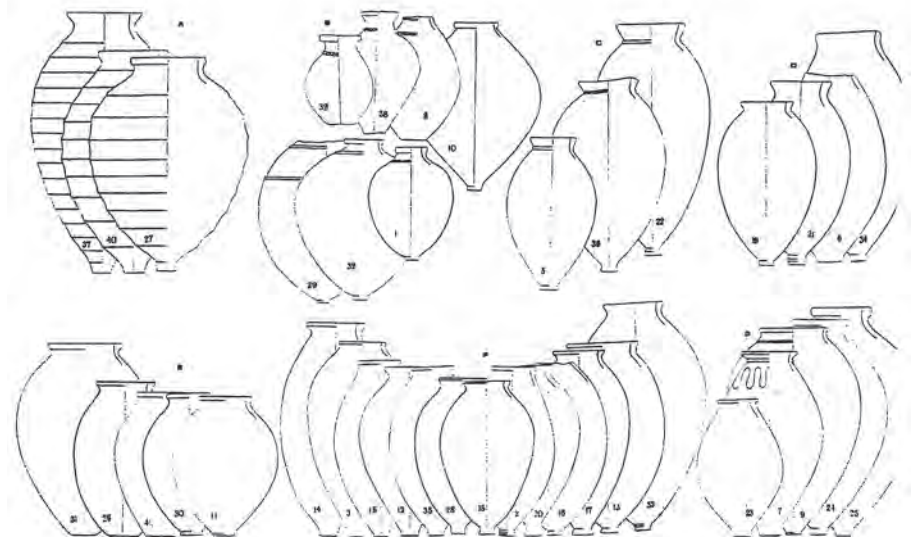
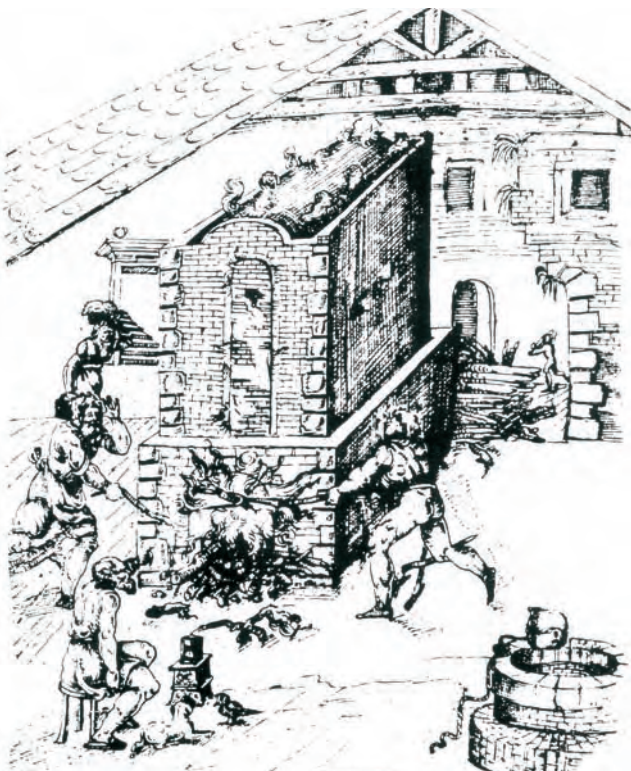
**а)** Чобан-Куле. Пять крупных печей было выявлено с помощью магнитометра.

Печи «А» и «№ 18» были раскопаны после проведения магнитной съемки.

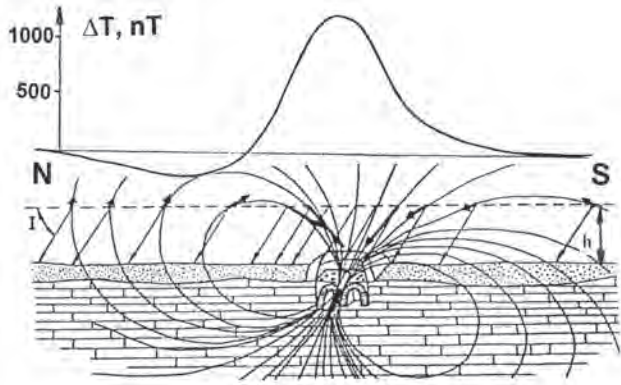
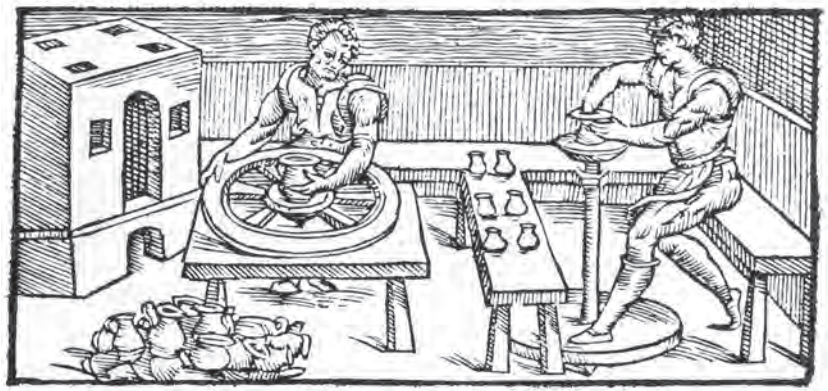
**б)** Гончарный центр в Алуште. Здесь было обнаружено восемь больших обжигательных печей. Печь «№1» была раскопана после проведения магнитной разведки (см. план раскопа печи на следующей странице).



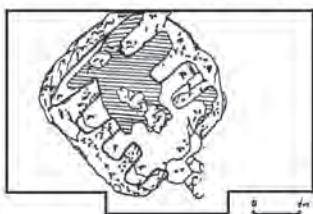
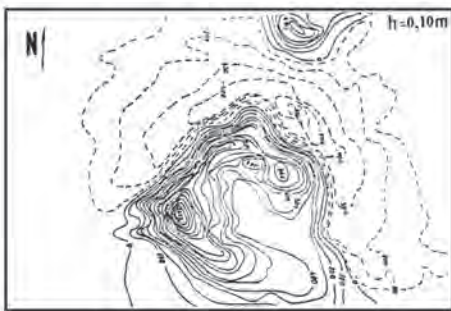
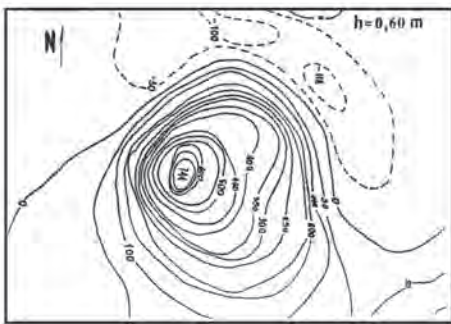
Крым. Керамические центры VIII-X вв.



Коллекция пифосов из Алушты VIII-X вв.



Алушта.  
Гончарный центр VIII-X вв.  
Магнитное поле над печью  
«№1», которое мы измеряли  
на нескольких высотах:  
0,6 м, 0,3 м, 0,1 м над уров-  
нем поверхности, а также  
в раскопе после снятия  
дернового слоя  
на уровне -0,3 м.  
Внизу – план раскопа этой  
печи



## ЛИТЕРАТУРА:

- 1) *Abrahamsen, N.* Arkaeomagnetisme og jernalderslagge. Kuml, Aarhus, 1965, p. 115-132.
- 2) *Abrahamsen, N.* Palaeomagnetic methods and their application in archaeomagnetic dating. Proc. Of the Nordic conference on thermoluminescent dating and other archaeometric methods. Uppsala University, Sweden, 1976, p. 153-167.
- 3) *Abrahamsen, N., Breiner, N.* Archaeomagnetic investigations in Denmark: a review.// *Archaeology and Natural Science*, 1993,1, p. 5-17.
- 4) *Abrahamsen, N., U. Jacobsen, V. Mejdahl, U. Mejdahl,* Magnetic investigations and dating of a brick kiln at Veldbæk near Esbjerg (Denmark). // *Phys. Chem. Earth*, Vol. 23, No 9-10, 1998 , p. 1015-1019.
- 5) *Bevan, B.W.* Selecting a magnetometer. // *SAS bulletin*. V. 14. No. 4. 1991, p. 2-5
- 6) *Bevan, B.W.* The magnetic anomaly over a brick foundation.// *Archaeological Prospecting*. V. 1. No. 2. 1994, p. 93-104.
- 7) *Bevan, B.W.* The magnetic properties of archaeological materials.// *Geosight Technical report* No. 5. 19 August 1999.
- 8) *Breiner, S.* Application Manual for Portable Magnetometers. GeoMetrics, U.S.A, 1973.
- 9) *Crew, P., Smekalova, T., Bewan, B.W.* High Resolution Magnetic Surveys of Prehistoric and Medieval Iron-Smelting Furnaces in North-West Wales. In: "Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and science". Ed. Lars Nørbach. Aarhus University Press. 2002, p. 209-222, 315-321.
- 10) *Christensen, T.* Lejre - syn og sagn. Roskilde Museum Roflag, 1991.
- 11) *Dehn, T., Hansen, S. I.* Doubtfulness in the Construction of Danish Passage Graves. In A. Ritchie (Ed.), *Neolithic Orkney in its European context*. Cambridge. 1999, p. 215-221.
- 12) *Frandsen, L.* Vestjysk vikingetid.// *Skalk*. Nr. 4, 2005, p. 11-16.
- 13) *Hansen, B. Als and Sørensen, M.A.* The Bistrup tilework. // *Hikuin 6*, Prehistoric Museum Moesgaard, Århus. 1980, p. 221-264.
- 14) *Hansen, T.E.* Hammerslag.// *Skalk*. 1992, N 3, p. 4-7.
- 15) *Henriksen, M.B.* Danske koge-gruber og koge-grubefelter fra yngre bronzealder og ældre jernalder.// *Varia*. Kulturhistorisk museum fornmineseksjonen. L. Gustafson, T. Heibreen, J. Martens (Eds.). Artikkelsamling. Oslo. 2005, p. 77-102.
- 16) *Jensen, S.* The Vikings of Ribe. Den antikvariske Samling. Ribe. 1991.
- 17) *Kovacheva, M.* Inclination of the earth's magnetic field during last 2000 years in Bulgaria.// *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*. V. 20, No. 3. 1969.
- 18) *Kovacheva, M., Veljovich, D.* Geomagnetic field variations in Southeastern Europe between 6500 and 100 years B.C.// *Earth and Planetary Science Letters*. V. 37, p. 131-138.
- 19) *Kristensen, H.K.* Middelalderens klostre. En kompleks anlægstype med et mangearartet trusselsbillede.// *Arkæologiske udgravninger i Danmark 2000*, p. 5-19.
- 20) *Lange, K.E.* Unearthing Ancient Syria's Cult of the Dead.// *National Geographic*. February, 2005, p. 108-123.
- 21) *Mills, A.J., Kaper, O. E.* 'Ain el-Gezzareen: Developments in the Old Kingdom Settlements. In: G. Bowen and C.A. Hope (Eds). *Proceedings of the Third International Conference of the Dakhleh Oasis Project*. The Oasis Papers 3. Dakhleh Oasis Project: Monograph 14. Oxbow Books. Oxford and Oakville 2004, p. 121-129.
- 22) *Mitchell, S., Wealkens, M.* Pisidian Antioch. The Site and its Monuments. Duckworth with The Classical Press of Wales. 1998. 249 p.
- 23) *Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., Herzog, I.* *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, 1990.
- 24) *Skaarup, J.* Megalithic graves, In S. Hvass, B. Storgaard (Eds.), *Digging into the past*. Aarhus: Aarhus Universitetsforlag. 1993, p. 104-109.
- 25) *Skriver, J.B.* Moesgård. Historien om en herregård. Forlaget Moesgård, 2001. 263 p.

- 26) *Smekalova, T., Voss, O.* Field Procedure for Magnetic Investigations of Iron-Smelting Sites with Slag Pits. In: "Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and science". Ed. Lars Nørbach. Aarhus University Press. 2002, p. 223-226, 322-335.
- 27) *Smekalova, T., Voss, O.* Magnetisk kortlægning af arkæologiske anlæg i Danmark 1992-2000. In J. Nordquist (Ed.), Nationalmuseets Arbejdsmark 2001. Nationalmuseet. Paul Kristensen Grafisk Virksomhed A/S. 2001, p. 148-161.
- 28) *Smekalova, T., Voss, O., Smekalov, S., Myts, V., Koltukhov, S.* Magnetometric Investigations of Stone Constructions within Large Ancient Barrows of Denmark and Crimea.// *Geoarchaeology*. 2005. Vol. 20, No. 5, p. 461-482.
- 29) *Taşlıalan, M.* Yalvaç. Pisidia Antiocheia. Göлтаş kültür dizisi 3. 1997. 74 p.
- 30) *Voss, O., Smekalova, T.* Nye muligheder. *Skalk*, Nr. 3, 2002, s. 10-12.
- 31) *Watanabe, N., DuBois, R.L.* Some results of an Archaeomagnetic Study on the Secular Variation in the Southwest of North America.// *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*. V. 17, No. 3-4. 1965, p. 395-397.
- 32) *Weymouth J.W.* Geophysical surveying of archaeological sites. In: *Archaeological Geology*. G.Rapp, J.A. Gilford. (Eds.) Yale University Press. New Haven and London, 1985, p. 191-235.
- 33) *Weymouth J.W.* Geophysical methods in archaeological sites surveying. In: *Advances in Archaeological Methods and Theory*. M.B. Schiffer (Ed.) Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. Orlando, San Diego, New York, Austin, London, Montreal, Sydney, Tokyo, Toronto. 1986, p. 311-395.
- 34) *Wolfman, D.* Archaeomagnetic dating in Arkansas. *Archaeo-Physika*. V. 10, 1979, p. 522-533.
- 35) *Ödman, A.* Borgar i Skåne. *Historiska Media och författaren*. 2002.
- 36) *Бурлацкая С.П.* Археомagnetизм. Исследование магнитного поля Земли в прошлые эпохи. М. «Наука», 1965, 107 с.
- 37) *Глазунов В.В., Пелевина-Манчева, О.Л.* Опыт дистанционной датировки гончарной печи по магнитной аномалии  $\Delta T$ . Археологически институт и музей НА БАН. Интердисциплинарни изследвания. XVII, 1990, с. 42-52.
- 38) *Загний Г.Ф., Русаков О.М.* Археовековые вариации геомагнитного поля в юго-западной части СССР. Киев. «Наукова Думка», 1982 г., 128 с.
- 39) *Ломтадзе Г.А., Масленников А.А.* Поселение «Пустынный берег II». Древности Боспора. № 6 . 2003, с. 191-216.
- 40) *Смекалова Т.Н., Мельников А.В., Мыц В.Л., Беван Б.В.* Магнитометрические исследования гончарных печей средневековой Таврики. СПб. Из-во Санкт-Петербургского университета. 2000. 164 с.
- 41) *Паркинсон У.* Введение в геомагнетизм. М. «Мир», 1986.

# СОДЕРЖАНИЕ:

Благодарности.....	2
Часть 1. Принципы магнитной разведки.....	5
Предисловие.....	5
Введение.....	6
Метод магнитной разведки.....	8
Магнитное поле Земли.....	8
Магнитные аномалии.....	9
Полевая методика магнитной разведки.....	12
Стадии магниторазведки.....	13
Ограничения магниторазведки.....	14
Магнитометры.....	16
Протонные магнитометры.....	16
Оверхаузеровские магнитометры.....	17
Цезиевые магнитометры.....	18
Феррозондовые магнитометры.....	19
Многодатчиковые системы.....	20
Археологическая магниторазведка в Дании.....	22
Часть 2. Результаты.....	23
Поселение эпохи Ранней династии в оазисе Дахла в Египте.....	24
Поселение эпохи Древнего Царства в оазисе Дахла в Египте.....	26
Кухонные ямы бронзового века на острове Фюн в Дании.....	27
Неолитические шахты по добыче кремня в Хоу. Ютландия. Дания.....	28
Риспедьберг на острове Борнхольм в Дании.....	30
Мегалитические гробницы в Северной Зеландии в Дании.....	32
Курганы скифской знати в Крыму.....	34
Курганы на западном пограничье Боспора в Крыму.....	36
Семибратнее городище на Кубани. Южная Россия.....	37
Тель Банат на реке Евфрат в Сирии.....	38
Калидон. Этолия. Греция.....	40
Тегея на Пелопоннесе. Греция.....	41
Асея и Арахамиты. Греция.....	42
Римские города Тримизис и Келлис в оазисе Дахла в Египте.....	44
Антиохия – римская столица Писидии и библейский город. Турция.....	46
Греческие усадьбы в Крыму.....	48
Римская вилла в Македонии. Греция.....	49
Исследования остатков древней металлургии.....	50
Древние железоделательные центры в юго-западной Ютландии. Дания.....	52
Юго-Западная Ютландия – район производства железа в позднее римское время.....	56
Гюдсванг – железоделательный центр римского времени со следами «длинных» полей.....	58
Производство железа в Норвегии в раннее средневековье.....	60
Лайре – важный центр эпохи викингов в Зеландии. Дания.....	62
Поселения эпохи викингов с полуземлянками.....	64
Хенне Киркебю.....	64
Нюрре Фаруп, у старейшего датского города Риббе.....	65
Магнитная съемка на памятниках средневековья в Дании.....	66
Роскилле.....	66
Замок в Неббе.....	67
Эбельхольт – крупнейший августинский монастырь в Дании.....	68
Холм кузнеца. Мусгард. Дания.....	69
Горный Крым. Средневековые гончарные центры.....	70
Литература.....	72
Содержание.....	74

## ЛИТЕРАТУРА:

- 1) *Abrahamsen, N.* Arkaeomagnetisme og jernalderslagge. Kuml, Aarhus, 1965, p. 115-132.
- 2) *Abrahamsen, N.* Palaeomagnetic methods and their application in archaeomagnetic dating. Proc. Of the Nordic conference on thermoluminescent dating and other archaeometric methods. Uppsala University, Sweden, 1976, p. 153-167.
- 3) *Abrahamsen, N., Breiner, N.* Archaeomagnetic investigations in Denmark: a review.// *Archaeology and Natural Science*, 1993,1, p. 5-17.
- 4) *Abrahamsen, N., U. Jacobsen, V. Mejdahl, U. Mejdahl,* Magnetic investigations and dating of a brick kiln at Veldbæk near Esbjerg (Denmark). // *Phys. Chem. Earth*, Vol. 23, No 9-10, 1998 , p. 1015-1019.
- 5) *Bevan, B.W.* Selecting a magnetometer. // *SAS bulletin*. V. 14. No. 4. 1991, p. 2-5
- 6) *Bevan, B.W.* The magnetic anomaly over a brick foundation.// *Archaeological Prospecting*. V. 1. No. 2. 1994, p. 93-104.
- 7) *Bevan, B.W.* The magnetic properties of archaeological materials.// *Geosight Technical report No. 5*. 19 August 1999.
- 8) *Breiner, S.* Application Manual for Portable Magnetometers. GeoMetrics, U.S.A, 1973.
- 9) *Crew, P., Smekalova, T., Bewan, B.W.* High Resolution Magnetic Surveys of Prehistoric and Medieval Iron-Smelting Furnaces in North-West Wales. In: "Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and science". Ed. Lars Nørbach. Aarhus University Press. 2002, p. 209-222, 315-321.
- 10) *Christensen, T.* Lejre - syn og sagn. Roskilde Museum Roflag, 1991.
- 11) *Dehn, T., Hansen, S. I.* Doubtfulness in the Construction of Danish Passage Graves. In A. Ritchie (Ed.), *Neolithic Orkney in its European context*. Cambridge. 1999, p. 215-221.
- 12) *Frandsen, L.* Vestjysk vikingetid.// *Skalk*. Nr. 4, 2005, p. 11-16.
- 13) *Hansen, B. Als and Sørensen, M.A.* The Bistrup tilework. // *Hikuin 6*, Prehistoric Museum Moesgaard, Århus. 1980, p. 221-264.
- 14) *Hansen, T.E.* Hammerslag.// *Skalk*. 1992, N 3, p. 4-7.
- 15) *Henriksen, M.B.* Danske koge-gruber og koge-grubefelter fra yngre bronzealder og ældre jernalder.// *Varia*. Kulturhistorisk museum fornmineseksjonen. L. Gustafson, T. Heibreen, J. Martens (Eds.). Artikkelsamling. Oslo. 2005, p. 77-102.
- 16) *Jensen, S.* The Vikings of Ribe. Den antikvariske Samling. Ribe. 1991.
- 17) *Kovacheva, M.* Inclination of the earth's magnetic field during last 2000 years in Bulgaria.// *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*. V. 20, No. 3. 1969.
- 18) *Kovacheva, M., Veljovich, D.* Geomagnetic field variations in Southeastern Europe between 6500 and 100 years B.C.// *Earth and Planetary Science Letters*. V. 37, p. 131-138.
- 19) *Kristensen, H.K.* Middelalderens klostre. En kompleks anlægstype med et mangearartet trusselsbillede.// *Arkæologiske udgravninger i Danmark 2000*, p. 5-19.
- 20) *Lange, K.E.* Unearthing Ancient Syria's Cult of the Dead.// *National Geographic*. February, 2005, p. 108-123.
- 21) *Mills, A.J., Kaper, O. E.* 'Ain el-Gezzareen: Developments in the Old Kingdom Settlements. In: G. Bowen and C.A. Hope (Eds). *Proceedings of the Third International Conference of the Dakhleh Oasis Project. The Oasis Papers 3. Dakhleh Oasis Project: Monograph 14*. Oxbow Books. Oxford and Oakville 2004, p. 121-129.
- 22) *Mitchell, S., Wealkens, M.* Pisidian Antioch. The Site and its Monuments. Duckworth with The Classical Press of Wales. 1998. 249 p.
- 23) *Scollar, I., Tabbagh, A., Hesse, A., Herzog, I.* *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney, 1990.
- 24) *Skaarup, J.* Megalithic graves, In S. Hvass, B. Storgaard (Eds.), *Digging into the past*. Aarhus: Aarhus Universitetsforlag. 1993, p. 104-109.
- 25) *Skriver, J.B.* Moesgård. Historien om en herregård. Forlaget Moesgård, 2001. 263 p.

- 26) *Smekalova, T., Voss, O.* Field Procedure for Magnetic Investigations of Iron-Smelting Sites with Slag Pits. In: "Prehistoric and Medieval Direct Iron Smelting in Scandinavia and Europe. Aspects of technology and science". Ed. Lars Nørbach. Aarhus University Press. 2002, p. 223-226, 322-335.
- 27) *Smekalova, T., Voss, O.* Magnetisk kortlægning af arkæologiske anlæg i Danmark 1992-2000. In J. Nordquist (Ed.), Nationalmuseets Arbejdsmark 2001. Nationalmuseet. Paul Kristensen Grafisk Virksomhed A/S. 2001, p. 148-161.
- 28) *Smekalova, T., Voss, O., Smekalov, S., Myts, V., Koltukhov, S.* Magnetometric Investigations of Stone Constructions within Large Ancient Barrows of Denmark and Crimea.// *Geoarchaeology*. 2005. Vol. 20, No. 5, p. 461-482.
- 29) *Taşlıalan, M.* Yalvaç. Pisidia Antiocheia. Göлтаş kültür dizisi 3. 1997. 74 p.
- 30) *Voss, O., Smekalova, T.* Nye muligheder. *Skalk*, Nr. 3, 2002, s. 10-12.
- 31) *Watanabe, N., DuBois, R.L.* Some results of an Archaeomagnetic Study on the Secular Variation in the Southwest of North America.// *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*. V. 17, No. 3-4. 1965, p. 395-397.
- 32) *Weymouth J.W.* Geophysical surveying of archaeological sites. In: *Archaeological Geology*. G.Rapp, J.A. Gilford. (Eds.) Yale University Press. New Haven and London, 1985, p. 191-235.
- 33) *Weymouth J.W.* Geophysical methods in archaeological sites surveying. In: *Advances in Archaeological Methods and Theory*. M.B. Schiffer (Ed.) Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. Orlando, San Diego, New York, Austin, London, Montreal, Sydney, Tokyo, Toronto. 1986, p. 311-395.
- 34) *Wolfman, D.* Archaeomagnetic dating in Arkansas. *Archaeo-Physika*. V. 10, 1979, p. 522-533.
- 35) *Ödman, A.* Borgar i Skåne. *Historiska Media och författaren*. 2002.
- 36) *Бурлацкая С.П.* Археомagnetизм. Исследование магнитного поля Земли в прошлые эпохи. М. «Наука», 1965, 107 с.
- 37) *Глазунов В.В., Пелевина-Манчева, О.Л.* Опыт дистанционной датировки гончарной печи по магнитной аномалии  $\Delta T$ . Археологически институт и музей НА БАН. Интердисциплинарни изследвания. XVII, 1990, с. 42-52.
- 38) *Загний Г.Ф., Русаков О.М.* Археовековые вариации геомагнитного поля в юго-западной части СССР. Киев. «Наукова Думка», 1982 г., 128 с.
- 39) *Ломтадзе Г.А., Масленников А.А.* Поселение «Пустынный берег II». Древности Боспора. № 6 . 2003, с. 191-216.
- 40) *Смекалова Т.Н., Мельников А.В., Мыц В.Л., Беван Б.В.* Магнитометрические исследования гончарных печей средневековой Таврики. СПб. Из-во Санкт-Петербургского университета. 2000. 164 с.
- 41) *Паркинсон У.* Введение в геомагнетизм. М. «Мир», 1986.

# СОДЕРЖАНИЕ:

Благодарности.....	2
Часть 1. Принципы магнитной разведки.....	5
Предисловие.....	5
Введение.....	6
Метод магнитной разведки.....	8
Магнитное поле Земли.....	8
Магнитные аномалии.....	9
Полевая методика магнитной разведки.....	12
Стадии магниторазведки.....	13
Ограничения магниторазведки.....	14
Магнитометры.....	16
Протонные магнитометры.....	16
Оверхаузеровские магнитометры.....	17
Цезиевые магнитометры.....	18
Феррозондовые магнитометры.....	19
Многодатчиковые системы.....	20
Археологическая магниторазведка в Дании.....	22
Часть 2. Результаты.....	23
Поселение эпохи Ранней династии в оазисе Дахла в Египте.....	24
Поселение эпохи Древнего Царства в оазисе Дахла в Египте.....	26
Кухонные ямы бронзового века на острове Фюн в Дании.....	27
Неолитические шахты по добыче кремня в Хоу. Ютландия. Дания.....	28
Риспедьберг на острове Борнхольм в Дании.....	30
Мегалитические гробницы в Северной Зеландии в Дании.....	32
Курганы скифской знати в Крыму.....	34
Курганы на западном пограничье Боспора в Крыму.....	36
Семибратнее городище на Кубани. Южная Россия.....	37
Тель Банат на реке Евфрат в Сирии.....	38
Калидон. Этолия. Греция.....	40
Тегея на Пелопоннесе. Греция.....	41
Асея и Арахамиты. Греция.....	42
Римские города Тримизис и Келлис в оазисе Дахла в Египте.....	44
Антиохия – римская столица Писидии и библейский город. Турция.....	46
Греческие усадьбы в Крыму.....	48
Римская вилла в Македонии. Греция.....	49
Исследования остатков древней металлургии.....	50
Древние железоделательные центры в юго-западной Ютландии. Дания.....	52
Юго-Западная Ютландия – район производства железа в позднее римское время.....	56
Гюдсванг – железоделательный центр римского времени со следами «длинных» полей.....	58
Производство железа в Норвегии в раннее средневековье.....	60
Лайре – важный центр эпохи викингов в Зеландии. Дания.....	62
Поселения эпохи викингов с полуземлянками.....	64
Хенне Киркебю.....	64
Нюрре Фаруп, у старейшего датского города Риббе.....	65
Магнитная съемка на памятниках средневековья в Дании.....	66
Роскилле.....	66
Замок в Неббе.....	67
Эбельхольт – крупнейший августинский монастырь в Дании.....	68
Холм кузнеца. Мусгард. Дания.....	69
Горный Крым. Средневековые гончарные центры.....	70
Литература.....	72
Содержание.....	74