

Тем самым, можно предположить, что в нашем случае речь идет о культе «двух вод» – положительной и отрицательной. Тогда родник «Большой» и Камень характеризуются прямо противоположными мифологическими категориями (система бинарных оппозиций) (табл.)

Итак, перед нами древний (энеолит – бронза) реконструированный (и продолжающийся) миф. Добавим, что в 2012–2015 г. у посетителей объекта зафиксировано культовое отношение не только к Камню (приношения), но и к Роднику (омовения в обнаженном виде, молитвенные действия). Существовали (и существуют) определенные представления о сакральности самой горы Чека [Петров, 2002].

Авторы признательны Е.А. Анфёровой (Фонд «Аркаим») и А.Л. Плаксиной (ЧелГУ) за помощь, оказанную в обследовании памятника и подготовке рукописи к публикации.

Светлая память. Скорбим об уходе из жизни нашего соавтора и спутника по жизни – Александра Иосифовича Левита, замечательного человека, ученого, преподавателя и неравнодушного гражданина. Обследование Камня на г. Чека стало одной из последних его полевых работ.

Литература

Маковский М.М. Сравнительный словарь мифологической символики в индоевропейских языках. М.: ВЛАДОС, 1996. 416 с.

Овчинников А.М. Общая гидрология. М.: Гос. научно-технич. изд-во лит-ры по геологии и охране недр, 1955. 384 с. (2-е изд.).

Петров Ф.Н. Гора Чека – природный и сакральный объект Зауральской степи // Вестник Открытого общества изучения древностей. Челябинск, 2002. Вып. 2. С. 75–80.

Хедин С.В. Сердце Азии. Памир – Тибет – Восточный Туркестан. Путешествие в 1893–1897 годах. М.: Ломоносовъ, 2010. 528 с.

Mallory J.P. In search of the Indo-Europeans: Language, archaeology and myth. London: Thames and Hudson, 1991. 288 p.

С.В. Снопков

*«Центр развития дополнительного образования детей»,
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет», snopkov_serg@mail.ru*

Использование петрофизических методов в археологических исследованиях

Внедрение методов естественных, в том числе физических, наук в археологические исследования является закономерным процессом, интенсивность которого неизбежно возрастает. Этому способствуют большие потенциальные возможности физических методов для научного поиска. Происходит постепенное расширение области взаимодействия археологии и естественных наук, усовершенствование и появление новых естественнонаучных методик полевых и лабораторных исследований в археологии.

Широкое распространение получило использование геофизических методов разведки при исследованиях территорий на наличие археологических памятников, и их дальнейшего изучения. Это особенно важно в тех случаях, когда необходимо либо экстренное изучение, либо обследование больших территорий, когда ни в рельефе местности, ни в растительности нет каких-либо признаков погребенных объектов. Геофизическая разведка помогает выбрать перспективный участок для раскопок и провести предварительную реконструкцию памятника. Применение геофизической разведки может в несколько раз сократить объ-

ем земляных работ и соответственно снизить их стоимость. Археологические памятники в этом случае рассматриваются как некая совокупность физических тел, распределенных в четвертичных отложениях. Формирование рационального комплекса физических методов, применяемых для изучения археологических памятников, начинается с выяснения условий применимости каждого метода: достаточная контрастность физических свойств; благоприятные геометрические параметры объектов; слабопересеченный рельеф; относительно низкий уровень природных и антропогенных помех и др. [Смекалова, 1992].

Для того чтобы оценить возможности применения геофизических методов и затем правильно истолковывать измеренные физические поля, необходимо знать физические свойства археологических объектов и среды, формирующих физическое поле. Прикладной наукой, изучающей различные физические свойства горных пород, взаимосвязи их между собой и с физическими полями Земли, является – **петрофизика**. Физические свойства веществ (горных пород, артефактов и т.д.) определяются прежде всего свойствами твердой, жидкой и газообразной фаз, их количественным соотношением в веществе и взаимодействием, а также температурой. Свойства твердой фазы определяются, в основном, атомным строением химических элементов минералов, из которых состоит вещество [Физические..., 1984].

Вследствие того, что физические свойства вещества определяются минеральным и химическим составом, характером физических воздействий на него (температура, давление и др.), петрофизические исследования артефактов могут быть использованы не только для интерпретации геофизических полей, но и для изучения самих археологических объектов. Измерение (особенно экспресс-методами) физических свойств, таких как плотность, магнитные, электрические, упругие, тепловые и ядерные свойства, могут быть использованы для классификации артефактов по химическому и минералогическому составу, оценки температурного воздействия на них. Исследования физических свойств артефактов совместно с изучением петрографических, минералогических и химических особенностей позволяет выявить их взаимосвязь. Петрофизические исследования дают богатую информацию при изучении древней металлургии, керамического производства, древних кострищ и очагов и т.д. В археологии наиболее известным петрофизическим методом является изучение естественной остаточной намагниченности остатков древних памятников материальной культуры исторического и доисторического периодов с целью определения возраста артефактов (обожженная глина и керамика) [Трухин, 1973].

Большая часть петрофизических исследований проводится в лабораторных условиях и подразумевает первичную подготовку образцов (артефактов). Но существуют и экспресс-методы, позволяющие получать петрофизические данные непосредственно в ходе полевых работ. В качестве примера археологических реконструкций с помощью петрофизических экспресс-методов можно указать изучение магнитных свойств веществ, подвергшихся температурному и химическому воздействию (металлургия, обжиг керамики, очаги и кострища).

1) **Магнитная восприимчивость** – это физическая величина, характеризующая связь между намагничивающим магнитным полем и возникающей под его действием намагниченностью вещества. Магнитная восприимчивость определяется отношением намагниченности единицы объёма вещества к напряжённости намагничивающего магнитного поля и по своему смыслу является величиной безразмерной. Все вещества, по характеру реакции на воздействие магнитного поля, делятся на диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Магнитная восприимчивость диамагнетиков и парамагнетиков очень мала (–0.1–0.1 милиед. СИ) по сравнению со свойствами ферромагнетиков (0.25–25000 милиед. СИ), поэтому магнитные свойства веществ, в основном, зависят от содержания в них ферромагнетиков (чистое железо, магнетит (8800–25000 милиед. СИ), маггемит (380–25000 милиед.

СИ), пирротин (13–130 миллиард. СИ), титаномагнетит (13–100 миллиард. СИ), гематит (1.3–13 миллиард. СИ), сидерит (2.5–7.5 миллиард. СИ); гётит (0.25 миллиард. СИ)). [Физические ..., 1984]

Глины и суглинки являются материалом, который широко использовался человеком в древности (изготовление посуды, металлургия, печи, кирпичи и т.д.). Эти горные породы содержат гидроокислы железа (гидрогематит, гётит, гидрогётит и др.). Указанные минералы имеют низкую магнитную восприимчивость (менее 1 миллиард. СИ). Резкое увеличение магнитной восприимчивости происходит при дегидратации вышеуказанных минералов, которая возникает при воздействии высокой температуры или при попадании в восстановительную среду (например, под воздействием угарного газа происходит восстановление железа до чистого металла). В этом случае гидроокислы железа превращаются в маггемит и гематит, магнитная восприимчивость которых значительно выше (в 10–10000 раз). Температурные превращения гидроокислов железа и, соответственно, увеличение магнитной восприимчивости приблизительно пропорциональны температуре, что позволяет изучать степень прогрева стенок горнов, печей и др.

Для измерения магнитной восприимчивости используется специальный геофизический прибор – каппаметр. Им производится измерение магнитного потока датчика при внесении исследуемого образца в его рабочее пространство. Используются серийно выпускаемые приборы марки ИМВ-2, КТ-5, КТ-6, КТ-7 и др.

На рисунке 1 приведены результаты измерения магнитной восприимчивости грунта (б), вокруг стенок железо-восстановительного горна (а), испытавшего сильное нагревание. Измерения проводились каппаметром КТ-5 по сети 10 × 10 см. Фоновая магнитная восприимчивость грунта изменяется в пределах от 0.2 до 0.8 миллиард. СИ. Магнитные свойства прогретого грунта повышаются до 10 и более миллиард. СИ. На плане изолиний магнитной восприимчивости хорошо видно, что прогрев грунта происходил неравномерно. Наиболее сильное температурное воздействие происходило в центральной части рабочей камеры горна.

Другим примером использования каппаметрии при археологических реконструкциях является изучение железосиликатных металлургических шлаков. В сыродутных горнах под воздействием угарного газа происходит восстановление зерен железа из руды, которые под действием высокой температуры свариваются в крицу (сгусток губкообразного железа). При температурах близких к 1000 °С происходит плавление посторонних минералов и образование жидкого железосиликатного шлака, представленного, в основном, фаялитом. Доля окиси железа, переходящая в шлак, изменяется в широких пределах в зависимости от состава шихты и температуры в горне. Чем выше нагревается жидкий шлак, тем больше он растворяет в себе закись железа [Колчин и др., 1965]. Если фаялит является практически немагнитным минералом, то зерна восстановленного железа, часть которых оказывается в массе шлака, обладают очень высокими магнитными свойствами. Измерение магнитной восприимчивости позволяет оценивать содержание чистого железа в шлаках, и тем самым делать выводы о технологических особенностях металлургического процесса.

Результаты измерения магнитной восприимчивости шлаков из горнов раннего железного века, раскопанных в Прибайкалье, показывают, что выпускные шлаки имеют значения 0.5–5 миллиард. СИ, а свойства горновых (донных) шлаков изменяются в широком диапазоне – от 2 до 30 миллиард. СИ.

2) **Остаточная намагниченность.** Вследствие особенностей строения ферромагнетиков магнитные моменты всех атомов этих веществ даже при отсутствии внешнего магнитного поля располагаются параллельно друг другу и одинаково ориентированы. При исчезновении намагничивающего поля намагниченность не исчезает полностью. При малых амплитудах

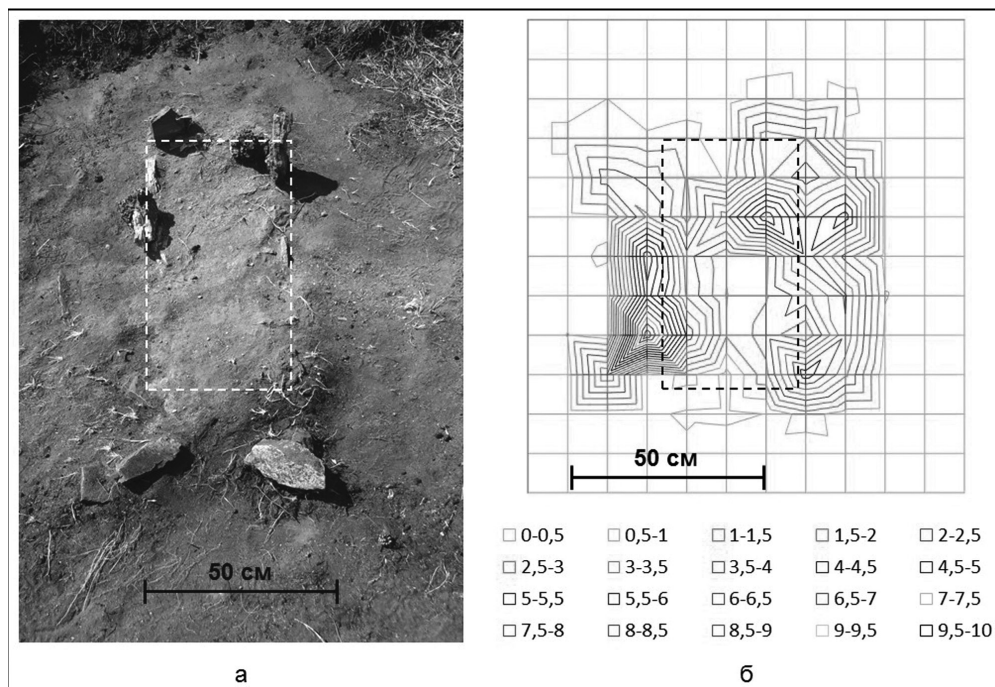


Рис. 1. Остатки железовосстановительного горна, обнаруженного в Приольхонье (западное побережье Байкала) (а), и результаты измерения магнитной восприимчивости грунта вокруг стенок рабочей камеры горна (б). Пунктирным контуром показаны границы рабочей камеры горна.

намагничивающего поля, возникающая намагничённость обратима, в случае сильного магнитного поля – изменение намагничённости необратимо. Такая намагничённость получила название *остаточной*. Остаточная намагничённость горной породы определяется остаточной намагничённостью ферромагнитных минералов, входящих в его состав.

Остаточная намагничённость исчезает при нагревании вещества до определенной температуры, названной точкой Кюри (для железа – 770 °С, магнетита – 578 °С, пирротина – 325 °С, маггемита – 675 °С). Выше этой температуры, ферромагнетики обладают только индуцированной намагничённостью (то есть ведут себя как парамагнетики, но с очень высокой магнитной восприимчивостью). При снижении температуры ниже точки Кюри, вновь происходит образование остаточной намагничённости, называемой *термоостаточной*. Термоостаточная намагничённость отличается сравнительно большой величиной и устойчивостью. Как правило, она в несколько раз превышает индуцированную намагничённость. Соотношение остаточной и индуцированной намагничённости изменяется, в среднем, от 5 до 20, иногда достигая 100 и более. Направление термоостаточной намагничённости совпадает с направлением внешнего магнитного поля, которое действовало на ферромагнетик во время его охлаждения. Кроме остаточной намагничённости, вызванной температурным воздействием, может появляться намагничённость, связанная с химическим преобразованием. Одна из форм преобразования – дегидратация гидроокислов железа (описана выше). Если при химическом преобразовании из неферромагнитных минералов образуются ферромагнетики, то новые минералы намагничиваются по направлению геомагнитного поля, существовавшего во время химических превращений, если ферромагнитный минерал преобразуется в минерал, не

обладающий ферромагнитными свойствами, то будет наблюдаться разрушение остаточной намагниченности.

В природе встречается много горных пород, которые обладают остаточной намагниченностью, возникшей в древнем магнитном поле Земли за счет различных физико-химических процессов. При нагревании или химических преобразованиях горных пород, возникающих в процессе антропогенного воздействия (очаги, кострища, печи, горны), происходит преобразование остаточной намагниченности. Этим свойством можно воспользоваться при археологических реконструкциях. Определение направления вектора остаточной намагниченности позволяет определить первоначальное пространственное расположение артефактов (обожженной обмазки горна, кирпича, шлака и др.). Измерение вектора остаточной намагниченности можно проводить с помощью аstaticеских (лабораторных) магнитометров.

3) **Суперпарамагнетизм.** Весь объем ферромагнетика, находящегося при температуре ниже точки Кюри, разбивается на небольшие, самопроизвольно намагниченные до насыщения, области – домены, линейные размеры которых имеют порядок 100–1000 мкм. В каждом домене атомные магнитные моменты спонтанно ориентированы в одном направлении. Результирующей намагниченностью образца ферромагнетика является векторная сумма намагниченностей всех доменов.

При уменьшении размера ферромагнитной частицы, наступает момент, когда разделение частицы на несколько доменов становится энергетически невыгодным, и вся частица превращается в зерно с однородной намагниченностью, то есть в один домен. При дальнейшем уменьшении размера однодоменной частицы (либо увеличении температуры) наступает момент, когда вследствие тепловых флуктуаций направление намагниченности частицы начинает легко переходить из одного стабильного состояния в другое. При снятии магнитного поля, либо при его изменении, намагниченность таких частиц разрушается за определенное время. Такое специфическое свойство однодоменных частиц ферромагнитных минералов называется **суперпарамагнетизм**. Обычно размеры суперпарамагнитных частиц составляют сотые доли микрометра (магнетит – 0.057 мкм, титаномагнетит – 0.07, маггемит – 0.02, гематит – 0.028, пирротин – 0.018). Суперпарамагнитный отклик отдельной частицы характеризуют временем релаксации, зависящим от тепловых флуктуаций (определяемых температурой) и энергетического барьера между стабильными состояниями (определяемого объемом частицы). Совокупность таких частиц ведет себя подобно парамагнитному газу, частицы которого обладают очень высокими магнитными моментами.

Суперпарамагнетизм среды проявляется в электромагнитном поле. Наиболее отчетливо этот эффект наблюдается в переходных процессах при выключении (либо включении) магнитного поля, создаваемого индуктивным источником. Геофизический метод изучающий такие процессы, так и называется – метод переходных процессов (МПП). Измерение суперпарамагнитного отклика на образцах горных пород либо артефактах можно проводить с помощью аппаратуры МПП, к которой подключают две катушки (диаметром несколько сантиметров): питающую – через которую пропускают импульс тока, за счет чего в пространстве возникает импульсное магнитное поле, и приемную – с помощью которой измеряется скорость изменения намагниченности образца после выключения намагничивающего поля. Диапазон подобных измерений обычно составляет от 10 до 1000 мкс после выключения (либо включения) магнитного поля. При размерах образца в несколько сантиметров, в случае если он не является проводником, возникающее за счет проводимости вихревые токи в объеме образца оказываются настолько малыми, что практически не сказываются на результатах измерений, а вот присутствие в образце суперпарамагнитных частиц приводит к появлению значимого сигнала.

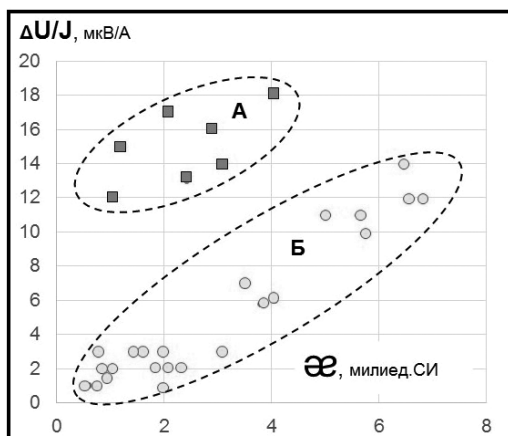


Рис. 2. Диаграмма значений суперпарамагнитного эффекта (ось ординат) и магнитной восприимчивости (ось абсцисс), измеренных на образцах обматки сыродутного горна. Пунктирным контуром показаны группы образцов, находившиеся в различных температурных и химических условиях во время металлургического процесса.

Суперпарамагнитные зерна появляются в процессе роста ферромагнитных частиц при химических преобразованиях. Примером может служить появление чистого железа в условиях высоких восстановительных условий, а также в результате дегидратации гидроокислов железа. [Трухин, 1973].

На рисунке 2 приведены результаты измерения на образцах обматки сыродутного горна магнитной восприимчивости и амплитуды переходного процесса, измеряемого через 100 мкс после выключения тока. Хорошо видно, что совокупность образцов, имеющих близкие диапазоны изменения магнитных свойств, при комплексном анализе магнитной восприимчивости и суперпарамагнитного эффекта разделяется на две группы. Однозначно указать причину, разделяющую образцы на две группы – сложно, но очевидно, что образцы этих групп находились в различных температурных и химических условиях. Данный пример наглядно демонстрирует, что анализ совокупности физических свойств обматки, позволяет оценивать физико-химические условия, в которых находилась обматка, что визуально сделать невозможно.

В заключении следует отметить, что петрофизические исследования *in-situ* позволяют выполнять ряд археологических реконструкций. Выше показано, что на примере изучения магнитных свойств артефактов возможно решение следующих задач: оценка степени прокаливания глин; определение пространственного положения кирпичей и глиняной обматки; оценка содержания зерен железа в железосиликатных шлаках, выделение групп керамики и шлаков; и т.д. Описанные методы далеко не исчерпывают всю совокупность петрофизических исследований, которые могут быть использованы для решения задач археологической реконструкции.

Литература

- Кожевников Н.О., Снопков С.В. Суперпарамагнетизм в геоэлектрике. Деп. в ВИНТИ № 4584-В90. Иркутск: 1990. 32 с.
- Колчин Б.А., Круг О.Ю. Физическое моделирование сыродутного процесса производства железа. // Археология и естественные науки. М.: Наука, 1965. С. 196–215.
- Смекалова Т.Н. Физические методы в полевой археологии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата исторических наук. М.: 1992. 44 с.
- Трухин В.И. Введение в магнетизм горных пород. М.: Изд-во МГУ, 1973. 275 с.
- Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. / Под ред. Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1984. 455 с.
- Харинский А.В., Снопков С.В. Производство железа населением Приольхонья в елгинское время. // Известия Лаборатории древних технологий. Вып.2. Иркутск: 2004. С. 167–187.