УДК 550.8.838

ЦИФРОВОЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ МАГНИТОМЕТР МНТ-3

Нехорошков В.Л., Вдовин А.Г. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматривается устройство и принцип работы наземного трехкомпонентного магнитометра МНТ-3. Описана разработанная методика подготовительных работ и наблюдений составляющих магнитного поля. Выполнены экспериментальные измерения вблизи искусственного магнитного объекта, приведена последовательность обработки получаемых данных. Результаты измерений магнитометром МНТ-3 сопоставлены с данными, полученными с помощью серийного протонного магнитометра ММП-203.

Трехкомпонентный магнитометр, магнитная съемка.

DIGITAL THREE-COMPONENT MAGNETOMETER MNT-3

Nekhoroshkov V.L., Vdovin A.G. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. This article describes the device and the principle of ground three-component magnetometer MNT-3. The developed method of preparatory work and ordinary components of the magnetic field are description The experimental measurements near the artificial magnetic object given the sequence of processing the data. Measurements magnetometer MNT-3 were compared with data obtained using serial proton magnetometer MMP-203.

Three-component magnetometer, magnetic survey.

Введение

Протонный магнитометр позволяет измерять только модуль полного магнитного поля. В Институте геофизики УрО РАН был создан магнитометр МНТ-3 (рис. 1, цветная вкладка), предназначенный для измерений составляющих вектора геомагнитного поля в диапазоне ±70000 нТл в условиях стационарного режима наземной съемки (Нехорошков и др, 2006). В состав магнитометра входят: измерительный пульт и блок датчиков составляющих поля.

С помощью этой аппаратуры возможно решение следующих задач: наземная съёмка геомагнитного поля; поиск магнитных объектов; поиск и картирование участков, перспективных на обнаружение рудных полезных ископаемых; магниторазведочные работы в условиях шахт; инженерные изыскания и мониторинг магнитного поля; определение пространственного положения измерительных систем в аэрогеофизических комплексах.

Устройство и принцип работы магнитометра МНТ-3

Чувствительным элементом прибора является одноэлементный феррозонд, в котором для возбуждения и измерения используется одна обмотка. Принцип измерения основан на изменении временных интервалов между импульсами, возникающими при перемагничивании сердечника феррозонда (Нехорошков, 2001).

Для измерения составляющих вектора геомагнитного поля **T** и для определения пространственного положения измерительного блока разработана конструкция, состоящая из двух измерительных систем:

- осевая система, в которой феррозонд Z_{oc} расположен вдоль оси измерительного блока, а два других X_{oc} и Y_{oc} – взаимно ортогональны и расположены перпендикулярно оси измерительного блока; при этом все феррозонды жестко закреплены в корпусе системы ориентации;
- вертикальная система, в которой один феррозонд Z_s отвешивается вертикально, а два других H_{xs}, H_{ys} – взаимно ортогональны и устанавливаются горизонтально.

При такой конструкции составляющие постоянного магнитного поля Земли – вертикальная Z, горизонтальные X и Y, угол отклонения измерительного блока от вертикали φ и магнитный азимут A_m, вычисляются по формулам:

$$Z = Z_{OC}\cos\varphi - H_{OC}\cos\theta \cdot \sin\varphi ,$$

$$X = Z_{OC}\sin\varphi + H_{OC}\cos\theta\cdot\cos\varphi\ ,$$

$$Y = H_{OC}\sin\theta\ ,\ \theta = \mathrm{arctg}\frac{Y_{OC}}{X_{OC}} - \mathrm{arctg}\frac{H_{YS}}{H_{XS}}\ ,$$

$$\varphi = \mathrm{arctg}\frac{\sqrt{(H_{XS})^2 + (H_{YS})^2}}{Z_S}\ ,$$

$$H_{OC} = \sqrt{(X_{OC})^2 + (Y_{OC})^2}\ ,\quad A_m = \mathrm{arctg}\frac{Y}{X}\ .$$

Аппаратура МНТ-3 разработана на основе современной микроконтроллерной техники, что позволяет максимально автоматизировать всю работу измерительного блока. Управление аппаратурой осуществляется с помощью 16-кнопочной клавиатуры, расположенной на лицевой панели измерительного пульта. Результаты измерений высвечиваются на экране двухстрочного символьного жидкокристаллического индикатора (ЖКИ) и сохраняются во внутренней твердотельной памяти измерительного блока емкостью 256 кБ (>4000 измерений). Передача информации с измерительного блока магнитометра на ПК выполняется через COM-порт или USB-порт (Нехорошков и др., 2006).

Методики испытаний и метрологическое обеспечение

Целью испытаний магнитометра МНТ-3 является его соответствие техническому заданию, требованиям конструкторской документации и возможности организации выпуска малой серией. Испытания проводились в условиях лаборатории ИГф УрО РАН и на магнитной обсерватории Арти.

Градуировка магнитометров осуществлялась в кольцах Гельмгольца в соответствии с «Инструкцией по эксплуатации магнитометра МНТ-3». В лабораторных условиях температурным испытаниям в термокамере подвергались системы ориентирования датчиков магнитного поля и электронные схемы пульта управления в диапазоне изменения температур -40 ÷ +50 °С.

Проверялось соответствие магнитометра требованиям:

- надежности;
- технологичности;
- безопасности;
- условий эксплуатации;
- транспортирования и хранения.

Для метрологической аттестации цифрового магнитометра были использованы следующие образцовые средства измерения и поверок:

- образцовая мера магнитной индукции 3 разряда ММИ-1 № 302015;
- установка для калибровки инклинометров УКИ-2 № 51 (дата калибровки 8.10.2008 г. сертификат № 190-10/08);
- камера тепла ILKA (диапазон температур от 0 до 200 °С);
- буссоль геодезическая БГ-1;
- квадрант оптический КО-60.

Технические характеристики магнитометра МНТ-3

1. Измеряемые параметры:
а) постоянного магнитного поля: Z_{oc}, X_{oc}, Y_{oc},
б) переменного магнитного поля соленоида Z_c, H_{xc}, H_{yc}.
2. Диапазон измерений всех составляющих поля ±70000 нТл.
3. Чувствительность 4 нТл/бит.
4. Объем памяти 256 кБ (>4000 измерений).
5. Диапазон рабочих температур -40 ÷ +50 °С.
6. Отклонение системы от вертикали до 20°.
7. Основные погрешности измерений:
$\Delta X = \pm 0{,}001X$; $\Delta Y = \pm 0{,}001Y$; $\Delta Z = \pm 0{,}001Z$.
8. Погрешность оптической ориентировки визира 0,1°.
9. Напряжение питания от аккумуляторов 12 В.
10. Потребляемая мощность 1,2 Вт.

Для проверки стабильности работы феррозондового магнитометра производят поочередные измерения горизонтальных составляющих геомагнитного поля X и Y, поворачивая измерительный блок датчиков последовательно на 15° вокруг своей оси.

Положительным результатом проверки стабильности служат две кривые X и Y, каждая из которых имеет идеальную синусоидальную форму, начальная и конечная точки которой имеют равные значения, а также одинаковые абсолютные значения экстремумов (рис. 2).

Положению экстремумов одной гори-

зонтальной составляющей поля соответствует нулевое значение другой составляющей. При этом вертикальная составляющая Z не изменяется.

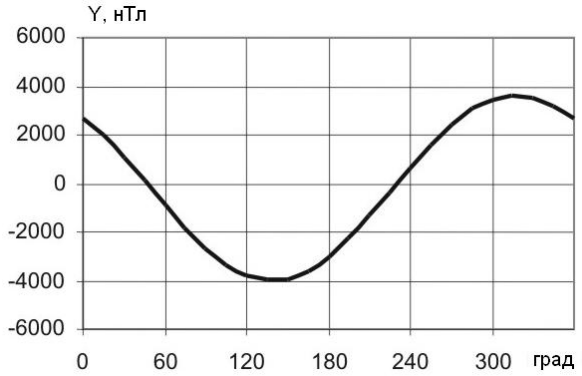

Рис. 2. График зависимости Y составляющей магнитной индукции от угла поворота измерительного блока

Методика измерений составляющих магнитного поля

Предварительно на исследуемом участке выполняются геодезические работы по разбивке сети прямолинейных профилей требуемого масштаба съемки. На конечных пикетах профилей устанавливаются вехи для оптической ориентации измерительной системы блока феррозондовых датчиков.

Начальный и конечный пункты наблюдения каждого профиля привязываются с помощью системы GPS-навигации к географическим координатам. Измерительный блок магнитометра с помощью треноги устанавливается на постоянном уровне для контролирования его высоты над поверхностью Земли, которая должна быть одинаковой при передвижении по пунктам наблюдений. Ориентировка блока датчиков по профилю выполняется с помощью оптического визира.

В случае, когда ориентировка на конечную визирную веху невозможна из-за сложности рельефа, на профиле устанавливаются промежуточные вехи для ориентации оптического визира.

Устройство системы ориентирования феррозондовых датчиков позволяет не горизонтировать магнитометр с помощью уровней при измерениях на каждой точке, а устанавливать измерительную систему примерно горизонтально, т.к. конструкция системы датчиков, измеряющих переменное магнитное поле соленоида, направляется системой ориентации за счет грузиков, один – вертикально, а два других – горизонтально.

Выполнение измерений осуществляется командами, запускаемыми кнопочной клавиатурой с панели измерительного пульта, в соответствии с «Инструкцией по эксплуатации магнитометра МНТ-3».

Контрольные измерения проводятся на одном или нескольких профилях в объеме, требуемом для подтверждения стабильности работы прибора при выполнении рядовых измерений.

Перед началом и после окончания измерений обязательно проводятся измерения на контрольных пунктах для контроля стабильности работы с ориентацией системы на один и тот же удаленный объект.

Обработка результатов измерений магнитного поля

При работе с магнитометром измеряют три составляющие магнитного поля Z, X, Y. Для каждой составляющей поля вводят поправки на вариации, путем их исключения из результатов наблюдений во всех точках на площади работ, сопоставляя время рядовых наблюдений и время измерения вариаций.

Вариации составляющих магнитного поля измеряются магнитометром аналогичного класса, с учетом ориентации горизонтальных осей. Точность рядовых измерений определяется по результатам основных и контрольных наблюдений.

Обработка наблюдений, выполненных с использованием феррозондовых магнитометров сводится к вычислению аномального магнитного поля вертикальной составляющей $Z_a=Z-Z_o$ и векторов горизонтальных составляющих $X_a=X-X_o$ и $Y_a=Y-Y_o$. Элементы нормального поля Z_o, X_o, Y_o являются постоянными для данного района работ.

По вычисленным значениям строят карты и графики составляющих аномального магнитного поля на исследуемом участке.

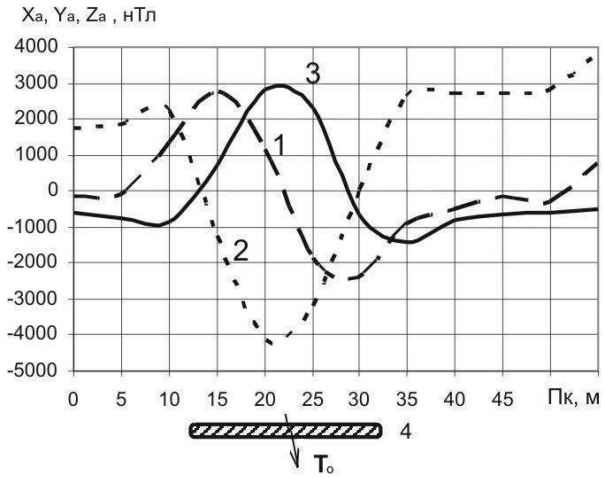

Рис. 3. Графики составляющих аномального геомагнитного поля: X_a (кривая 1), Y_a (кривая 2), Z_a (кривая 3) по профилю №1; 4 – искусственный магнитный объект «Tank» (стрелка – направление намагниченности)

Результаты магнитной съемки на полигоне магнитной обсерватории Арти

На полигоне геофизической обсерватории Арти выполнены измерения магнитного поля искусственного магнитного объекта «Tank», залегающего около земной поверхности, на площади 60×15 м. с шагом 5×5 м. Проведены измерения на трех профилях на разном расстоянии от объекта при помощи двух приборов: феррозондовым магнитометром МНТ-3 и серийным протонным магнитометром ММП-203.

Графики результатов измерений вертикальной и двух горизонтальных составляющих аномального магнитного поля Z_a, X_a, Y_a объекта «Tank», полученные с помощью магнитометра МНТ-3 приведены на рис. 3 по первому профилю.

На рис. 4 приведены планы изолиний составляющих магнитного поля.

Составляющие поля на графиках рис. 3 уверенно фиксируют данный объект и его положение на профиле, а характерные точки кривых связаны с его геометрией. Асимметрия составляющих поля связана с его косым намагничиванием земным магнитным полем.

Сравнение модуля аномального геомагнитного поля $\mathbf{T}_a$ объекта «Tank» по результатам измерений магнитометрами ММП-203, МНТ-3 и контрольные измерения МНТ-3 по одному и тому же профилю, приведены на рис. 5.

Измеренные кривые демонстрируют хорошую сходимость результатов измерений, полученных феррозондовым магнитометром МНТ-3, разработанным в

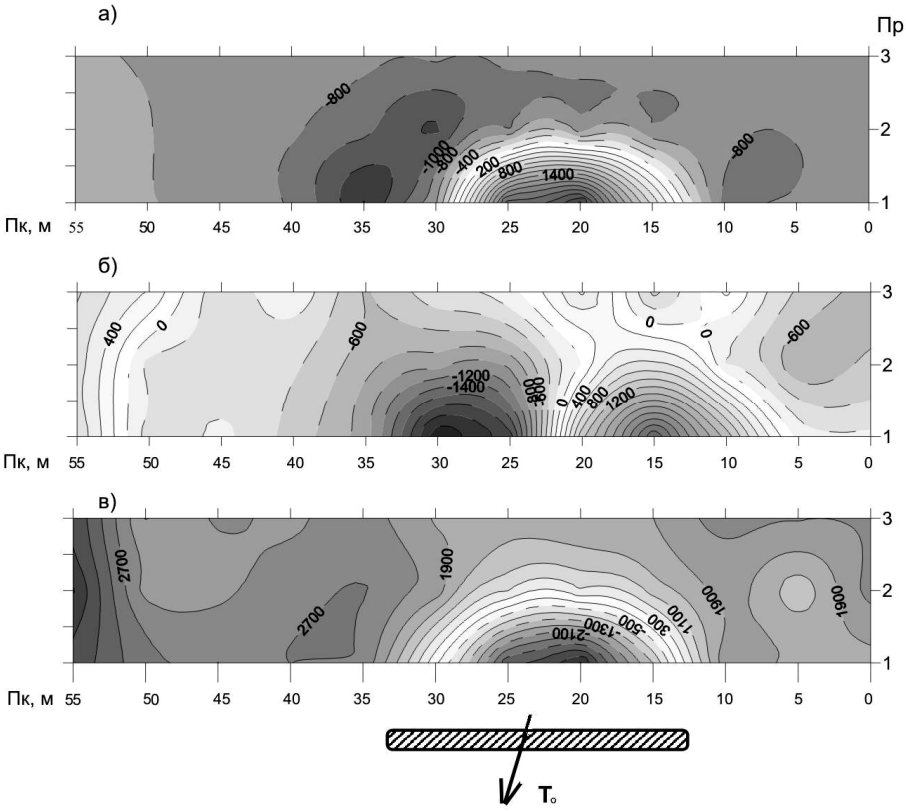

Рис. 4. Планы изолиний составляющих аномального геомагнитного поля (нТл) от объекта «Tank» на исследуемом участке: а) вертикальная – Z_a; б) северная – X_a; в) восточная – Y_a; стрелкой обозначено направление намагниченности

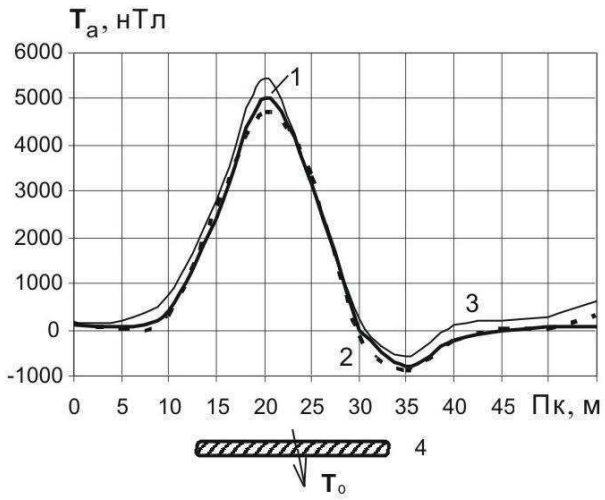

Рис. 5. Сравнительные измерения модуля аномального геомагнитного поля $\mathbf{T}_a$, по профилю №1: 1 – ММП-203, 2 – МНТ-3, 3 – МНТ-3 – контроль, 4 – то же, что на рис. 3

Институте геофизики УрО РАН, с результатами, полученными с серийно выпускаемым протонным магнитометром ММП-203.

Расхождение в основных и контрольных измерениях магнитометром МНТ-3 обусловлено неточной установкой измерительного блока как по высоте над поверхностью Земли, так и в плане, а также погрешностью горизонтальной ориентации блока датчиков и отсутствием учета вариаций составляющих магнитного поля.

Результаты полевых испытаний трехкомпонентного наземного пешеходного магнитометра МНТ-3 на полигоне обсерватории Арти показали хорошие результаты.

Заключение

Разработаны методики подготовительных работ и рядовых наблюдений составляющих геомагнитного поля, проводимых с помощью трехкомпонентного наземного пешеходного магнитометра МНТ-3. Выполнены опытные полевые измерения составляющих магнитного поля на полигоне обсерватории Арти Свердловской области. Измерения составляющих поля сопоставлены с измерениями модуля геомагнитного поля, получаемого с помощью серийного магнитометра ММП-203, которые показали хорошее соответствие.

Литература

Нехорошков В.Л. Время - импульсный магнитометр.//Уральский геофизический вестник. 2001. № 2. С. 42-48.

Нехорошков В.Л., Человечков А.И., Байдиков С.В., Шерендо Т.А. Аппаратурно-методический комплекс для изучения электрических и магнитных свойств геологических сред. // 170 лет обсерваторских наблюдений на Урале, история и современное состояние: мат-лы Междун. семинара / Институт геофизики УрО РАН. Екатеринбург, 2006. С. 147-150.

К статье Бахтерева В.В. – «Исследование импульсной катодолюминесценции серпенти нитов и возможности определения качества (прочности свойств) хризотил-асбеста»

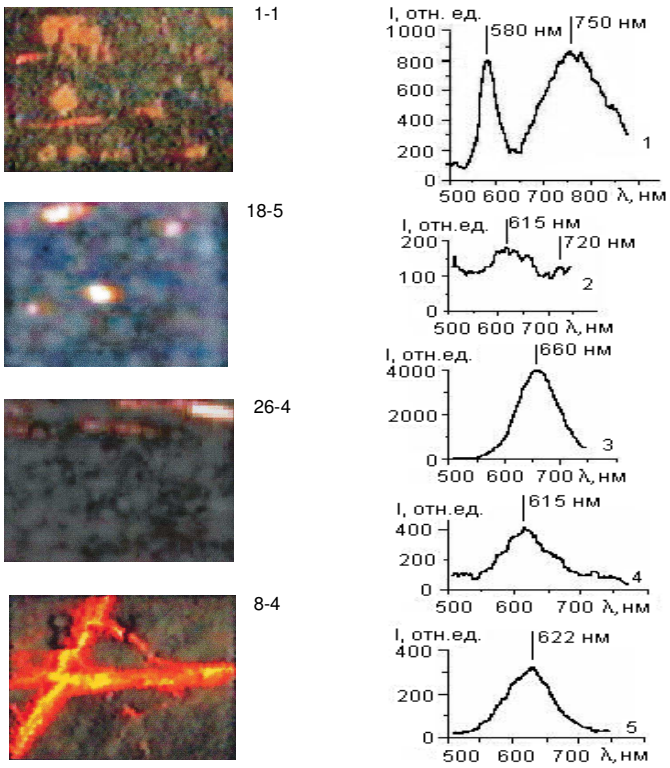

Рис. 1. Фотографии люминесценции образцов серпентинитов (1-1, 18-5, 26-4, 8-4) и типы спектральных кривых (1-5) минеральных включений

К статье Нехорошкова В.Л., Вдовина А.Г. – «Цифровой трехкомпонентный …»

Рис. 1. Общий вид магнитометра МНТ-3