

УДК 550.380.2

## Способ диагностики и визуализации интенсивности магнитных возмущений и созданные устройства для его реализации

Любимов Владимир Валерьевич, старший научный сотрудник  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук

**Аннотация.** Работа посвящена описанию способа визуализации геомагнитных возмущений и магнитных бурь на основе использования простых и недорогих магнитометров, созданных на основе феррозондовых компонентных датчиков магнитного поля. Приборы, созданные в результате реализации различных вариантов предложенного способа, позволяют проводить геомагнитные исследования не только в условиях магнитных обсерваторий, но и эффективно использоваться для исследований в медицине и магнитобиологии, а также предназначены для определения величины и местонахождения "вредных" электромагнитных возмущений искусственного происхождения в различных условиях.

**Ключевые слова:** магнитное поле, магнитные измерения, компонентные измерения, феррозондовые магнитометры, диагностические магнитометры.

### ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа относится к магнитометрии, точнее к методам измерения составляющих модуля полного вектора магнитной индукции (**ВМИ**) поля Земли, - как в стационарных условиях магнитной обсерватории (**МО**), так и в различных условиях их применения.

В настоящее время широко известно достаточно много различных способов и методов применяемых для диагностики и визуализации степени возмущенности магнитного поля Земли (**МПЗ**) [1-7]. При реализации этих методов регистрируют три элемента земного магнетизма (например, вариации составляющих **ВМИ D, H и Z**), а затем обрабатывают полученные магнитограммы с целью составления стандартных для всех **МО** отчетов о поведении **МПЗ**, его активности и магнитных возмущений (**МВ**) в данной измерительной точке и за определенный промежуток времени. При этом считают, что возмущенность **МПЗ** тем больше, чем больше амплитуда колебаний элементов земного магнетизма, а также чем больше этих колебаний происходит в единицу времени. Эта возмущенность **МПЗ** характеризуется различными индексами магнитной активности (**ИМА**) [2].

Иногда для более точной оценки возмущенности **МПЗ** (например, в геофизике, медицине) удобнее использовать именно **ИМА**, то есть характеристику изменения поля на каком-то известном временном интервале. Например, индекс **R** представляет собой характеристику максимального изменения значений элементов земного магнетизма в течение часа, индекс **Q** - это мера изменения составляющих **ВМИ** в течение 15-минутного интервала. **K**-индекс представляет собой численную характеристику, выраженную в баллах, где каждому баллу соответствует амплитуда колебаний элемента земного магнетизма за трехчасовой промежуток времени, исправленная за спокойный суточный ход и выраженная в логарифмическом масштабе, а **A**-индекс, - соответствует индексу **K**, но имеет линейную шкалу и выражается в единицах магнитного поля, **наноТеслах** [2].

Реализация каждого из известных способов диагностики возмущенности **МПЗ** имеет как несомненные преимущества, так и определённые недостатки.

Так, например, при профессиональном использовании компонентных магнитометрических датчиков в условиях **МО** их чувствительные оси должны быть определенным образом установлены относительно плоскости магнитного меридиана (**ПММ**), которая, как известно, не сохраняет свое положение неизменным [3]. Поэтому при ориентации чувствительных осей каждого из датчиков относительно **ПММ**, за ее направление принимают, как правило, некоторое условно вычисленное за достаточно длительный отрезок времени, значение, относительно которого и производят установку и юстировку чувствительных осей датчиков магнитных вариометров. При этом считают (учитывая конечно же вековой ход **МПЗ**) [1], что, практически, направление **ПММ** в спокойный в магнитном отношении день совпадает с этим вычисленным значением. Точность ориентации чувствительных осей датчиков магнитных вариометров относительно истинных направлений соответствующих измеряемых элементов земного магнетизма для обеспечения требуемой погрешности проводимых измерений должна быть в этом случае, например, при установке **D**- или **H**-вариометра в средних магнитных широтах, не хуже 35 угловых минут ( $\leq 175$  нТл). При использовании же магнитометрической аппаратуры в различных локальных или производственных помещениях (например, имеющих достаточно большой пространственный градиент магнитного поля внутри), - нет возможности точной установки датчиков приборов относительно истинного значения **ПММ** и это значение должно определяться для каждого места установки датчиков и каждого помещения по-разному и быть различным.

Предлагаемый способ диагностики возмущенности **МПЗ** позволяет успешно решить

поставленную техническую задачу - повышение оперативности диагностики и визуализации **МВ** и момента начала магнитной бури (**МБ**) при одновременном уменьшении габаритов и потребляемой мощности реализующей предлагаемый способ аппаратуры, что позволяет проводить диагностику **МВ** в любом районе Земного шара и в любом стационарном помещении (без предъявления особых требований к помещению, где проводится измерение).

Следует отметить, что идея данного способа и его реализации была высказана автором ещё в начале 90-х годов прошлого столетия. В связи с финансовыми трудностями научных учреждений в те времена не оказалось финансовых средств в институте для её реализации и патентования. Однако, несмотря на это, в инициативном порядке на протяжении многих лет автором и коллективом коллег в ИЗМИРАН велись работы по реализации предложенного способа и созданию уникальных научных приборов [7-14]. Ниже приводится описание нескольких вариантов ранее созданных устройств и приборов.

### СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ МВ

Суть предложенного способа заключается в следующей последовательности проводимых операций. Сначала предварительно определяют максимально возможные амплитуды МВ, связанные со среднесуточными вариациями каждого из элементов земного магнетизма и зависящие от геомагнитной широты места проведения измерений. Затем производят градуировку измерителя, диапазон измерений МПЗ каждого из измерительных каналов которого подразделяют на три градации - предела, соответствующих минимальным величинам малой, средней и большой МБ. Производят установку диапазона измерений каждого из измерительных каналов с учетом того, что максимальная амплитуда среднесуточной вариации МПЗ для каждого из измеряемых элементов земного магнетизма в месте проведения измерений не должна превышать минимального из этих пределов. После этого производится установка и юстировка измерителя относительно ПММ в невозмущенное время суток, когда амплитуда суточной вариации имеет минимальное значение. И далее непрерывно регистрируют и анализируют состояние возмущенности МПЗ, - в момент начала МБ последовательно выделяют и визуализируют по каждому из измерительных каналов измерителя моменты, соответствующие малой, средней или большой МБ.

Перед юстировкой измерителя относительно ПММ, устанавливают измеритель так, чтобы максимальное (минимальное) значение измеряемой суточной вариации МПЗ по каждому измерительному каналу не выходило за пределы измерительного диапазона измерителя. Затем определяют среднесуточное значение вариации МПЗ по каждому измерительному каналу. Для этого фиксируют дискретные часовые значения вариации поля в течение суток, вычисляют максимальные амплитудные и средние значения поля и соответствующие им моменты времени по каждому измерительному каналу, после чего производят юстировку измерителя относительно ПММ в моменты времени, соответствующие вычисленному среднесуточному значению вариации поля по каждому измерительному каналу.

Одновременно с регистрацией элементов земного магнетизма и мгновенной визуализацией интенсивности МБ осуществляют анализ уровня возмущенности МПЗ путем определения и визуализации

Q, R или A-индексов магнитной активности, соответствующих состоянию возмущенности МПЗ, по каждому измерительному каналу на некоторой временной измерительной базе. По полученным значениям ИМА судят об уровне МВ и об интенсивности МБ.

### ИНДИКАТОР МБ И ЕГО ВАРИАНТЫ

Индикатор магнитной бури (ИМБ), созданный для реализации предлагаемого способа диагностики и визуализации интенсивности МБ, а также его устройство, принцип работы и примеры визуализации получаемых данных с его помощью поясняется **рис.1...рис.4**.

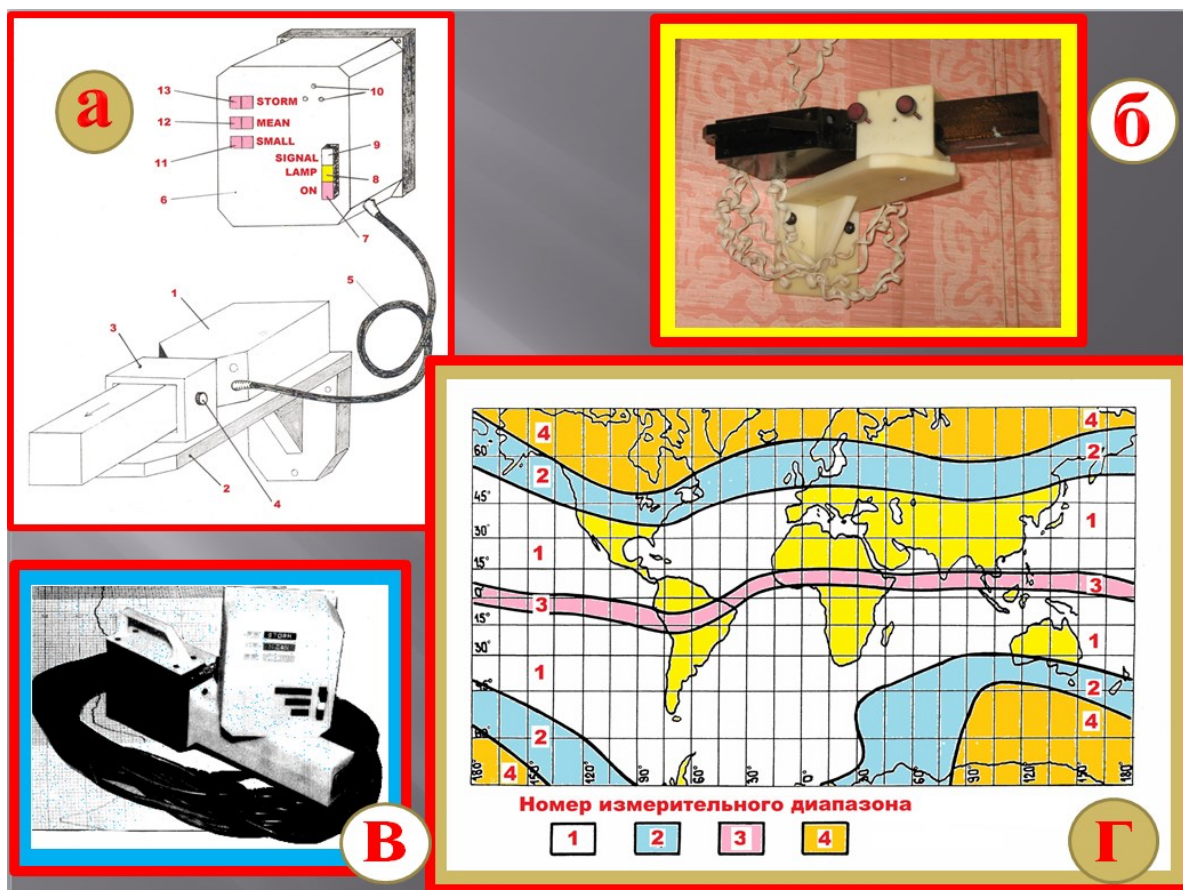
На **рис.1** представлена конструкция (а) и общий вид созданных ИМБ (б, в), а также показана схема использования (включения) измерительных диапазонов ИМБ при его установке в любой точке Земного шара.

На **рис.2** показаны два варианта блок-схемы построения ИМБ (а) и (б), одна из которых имеет более сложное построение схемы индикатора (б) и позволяет кроме регистрации составляющих ВМИ поля Земли реализовать определение и визуализацию ИМА.

На **рис.3** показаны примеры реальной записи элементов земного магнетизма в МО, - в спокойный в геомагнитном отношении день (а), в сильно возмущённые дни (б) и (в). Здесь также приведён фрагмент месячной записи (г) элементов МПЗ с зарегистрированными в этот период времени МБ.

На **рис.4** приведены примеры установки измерителя ИМБ относительно ПММ (а) при реализации предложенного способа диагностики, а также показан пример определения ИМА (б) и фрагмент реальной записи Rh-индекса (в) с помощью ИМБ в МО в период регистрации МБ.

Для решения поставленной технической задачи ИМБ (см. **рис.1а,б,в**) содержит немагнитное поворотное устройство (2), измеритель (1), соединительный кабель (5) и индикатор (6), а измеритель (ИЗМ) выполнен в виде отдельного малогабаритного и немагнитного блока, который располагается на немагнитном поворотном устройстве (НПО), выполненном в виде кронштейна и обеспечивающем вращение измерителя в горизонтальной плоскости с последующей его фиксацией в угловом растворе 360 угл. градусов. Корпус измерителя (см. **рис.2а**) крепится к НПО при помощи поворотного (3) прямоугольного кольца (ППК), крепежного винта (НКВ) и трех немагнитных юстировочных винтов (4). В корпусе измерителя, соосно магниточувствительному датчику (МЧД), который выполнен на основе феррозонда, расположен преобразователь поле-напряжения (ППН), удаленный от МЧД на расстояние, обеспечивающее его минимальное магнитное влияние на результаты измерений и, по крайней мере, в 2,5 раза превышающее поперечный размер (В) МЧД. В состав схемы измерителя входят также блок управления (БУ), схема индикации направления на магнитный меридиан (СИММ) и автономный блок питания (АБП).



**Рис.1.** Конструкция (а) и общий вид ИМБ (б, в), которые реализуют предлагаемый способ, а также схема включения (г) измерительных диапазонов ИМБ в зависимости от точки его установки на Земном шаре (см. Табл.1).

Выход измерителя 1 подключен (см. **рис.1а**) при помощи соединительного кабеля 5 длиной от 1,5 до 10 м к входу индикатора 6, на корпусе которого расположены клавиша 7 ("ON") для включения индикатора 6, а также две клавиши 8 ("LAMP") и 9 ("SIGNAL") для включения соответственно световой и звуковой сигнализации. На корпусе индикатора 6 также имеются три отверстия 10 для звукового сигнализатора (ЗС) и три световых индикатора (СИ) 11 ("SMALL"), 12 ("MEAN") и 13 ("STORM"), индицирующих (при нажатии клавиши 8) соответственно величины малой, средней и большой МБ.

В состав схемы индикатора 6 (см. **рис.2а**) входят: анализатор амплитуды сигнала (ААС), содержащий инвертор (ИНВ), дизъюнктор (ДИЗ), компаратор (КОМ), схему синхронизации (СС) и генератор тактовых импульсов (ГИ), схема управления (СУ), источник опорного напряжения (ИОН), схема световой индикации (ССВ), звуковой сигнализатор (ЗС) и второй АБП.

В другом варианте ИМБ (см. **рис.2б**), предназначенном для определения и визуализации ИМА Q, R и A, схема индикатора 6 дополнительно содержит таймер (ТА), цифровой индикатор времени (ЦИВ), первый, второй и третий измерители индексов магнитной активности (ИИМА) и световое табло (СТ).

Для простоты описания способа диагностики и устройства его реализующего - ИМБ, покажем их работу на примере измерения и визуализации одной из

составляющих МПЗ, например, канала измерения магнитного склонения D.

Каждый из измерительных каналов ИМБ имеет четыре измерительных диапазона (см. **рис.1г**), которые позволяют использовать его для измерения вариаций составляющих ВМИ в любой точке Земного шара. Так, при проведении измерений на пунктах в средних и низких магнитных широтах, следует использовать измерительные диапазоны 1 и 2, величина которых равна соответственно  $\pm 300$  и  $\pm 500$  нТл. А для проведения измерений в районе магнитного экватора, следует включать 3-й измерительный диапазон ИМБ ( $\pm 800$  нТл). При проведении работ в высоких магнитных широтах, следует включать 4-й измерительный диапазон ИМБ, равный  $\pm 2000$  нТл.

Перед началом проведения измерений в выбранной точке (месте), по данным близлежащей МО или по карте (см. **рис.1г**), а также используя данные **Таблицы 1**, определяют максимально возможную величину амплитуды среднесуточной вариации магнитного склонения D в районе проведения работ. Например, для района г. Москвы, амплитуда суточной вариации магнитного склонения D по данным ЦМО МОСКВА в невозмущенные (спокойные или нормальные) в геомагнитном отношении дни, лежит в пределах от 80 до 140 нТл (см. **рис.3а** и **рис.3г**).



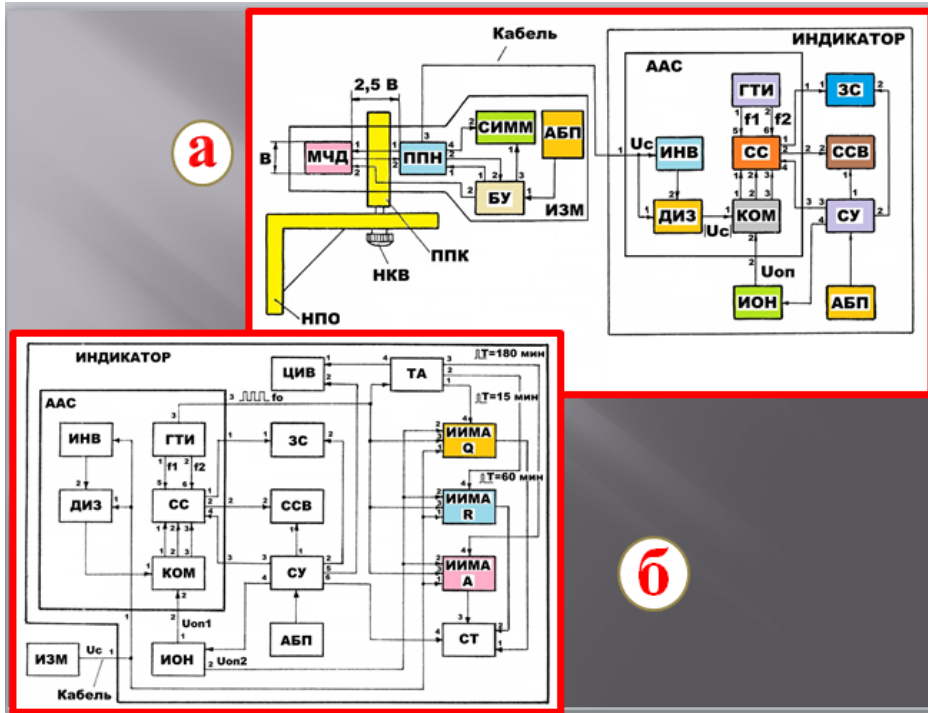


Рис.2. Блок-схема ИМБ (а) и блок-схема индикатора ИМБ (б), позволяющая реализовать определение и визуализацию Q, R и А-индексов магнитной активности.

Таблица 1

| Номер диапазона ИМБ | Величины градаций МВ, нТл |              |               |                |
|---------------------|---------------------------|--------------|---------------|----------------|
|                     | Нормальное                | Слабое       | Среднее       | Сильное        |
| 1                   | 0...±100                  | ±(100...140) | ±(140...200)  | ±(200...300)   |
| 2                   | 0...±170                  | ±(170...230) | ±(230...330)  | ±(330...500)   |
| 3                   | 0...±270                  | ±(270...370) | ±(370...530)  | ±(530...800)   |
| 4                   | 0...±670                  | ±(670...930) | ±(930...1300) | ±(1300...2000) |

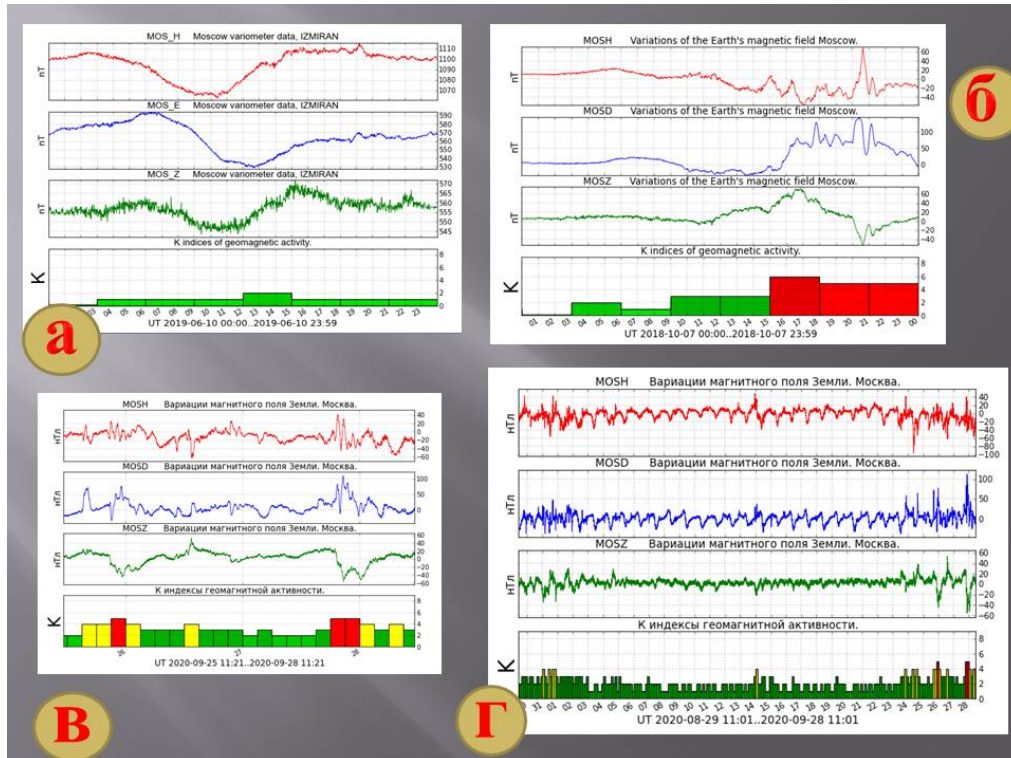


Рис.3. Примеры реальной регистрации элементов земного магнетизма соответственно в спокойный в геомагнитном отношении день (а) и в сильно возмущённые дни (б, в), а также показан пример (г) месячной записи в ЦМО МОСКВА с зарегистрированными МБ.

Затем с помощью **Таблицы 1** определяют номер измерительного диапазона ИМБ и устанавливают величину измерительного диапазона для измерителя 1 при помощи переключателей, которые расположены в БУ. При этом градуировка ИМБ на три градации-предела осуществляется автоматически при помощи схемы КОМ, расположенного в индикаторе 6, то есть осуществляется подразделение всего измерительного диапазона измерителя 1 на четыре измерительных поддиапазона, соответствующих величинам МВ различной амплитуды. Так, для района г. Москвы (измерительный диапазон 2 ИМБ в **Таблице 1**) эти градации-пределы, соответствующие величинам малой, средней и большой МВ, будут выглядеть следующим образом:  $\pm 140$ ,  $\pm 230$  и  $\pm 330$  нТл, а измерительные поддиапазоны ИМБ будут соответствовать следующим величинам амплитуд МВ:

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| нормальное | $0 \pm 140$ нТл,      |
| слабое     | $\pm(140...230)$ нТл, |
| среднее    | $\pm(231...330)$ нТл, |
| сильное    | $\pm(331...500)$ нТл. |

При определении и установке измерительного диапазона ИМБ, следят за тем, чтобы максимальная амплитуда среднесуточной вариации магнитного склонения  $\Delta Dh$  max в месте проведения измерений не превышала бы минимального из пределов, соответствующего величине малой МВ  $\Delta D_{сл}$ . (например, для района г. Москвы  $\pm 140$  нТл). В этом случае величину номера диапазона ИМБ выбирают из расчета:

$$\Delta D_{сл} \geq \Delta Dh \text{ max. (1)}$$

После этого устанавливают измеритель 1 на НПО и крепят его при помощи ППК, НКВ и юстировочных винтов 4, как показано на **рис.1а** и **рис.2а**. НПО затем устанавливают на улице или в помещении, по возможности, вдали от металлических масс и магнитных предметов и крепят его вертикальную плоскость при помощи немагнитных гвоздей или шурупов к столбу или к стене таким образом, чтобы его ортогональная плоскость с установленным на ней измерителем 1 была бы расположена горизонтально. Следует заметить, что при установке НПО в помещении для его крепления выбирают места не подверженные вибрации и, по возможности, вдали от источников электроэнергии и электромагнитных излучений.

Установку индикатора 6 осуществляют в помещении, где располагается обслуживающий персонал или в том же помещении, где и измеритель 1, но на расстоянии не менее 1,5 м от него.

В невозмущенное время суток, например, в вечернее или ночное время, когда изменение амплитуды суточной вариации имеет минимальную величину, проводят установку измерителя 1 относительно ПММ. Для этого включают измеритель 1 и, при помощи переключателей БУ, подают питание от АБП через БУ на первые входы ППН и СИММ. При этом на четвертом (аналоговом) выходе ППН появляется аналоговое напряжение, амплитуда и полярность которого зависят от величины угла отклонения и направления отклонения чувствительной оси МЧД относительно ПММ. В зависимости от полярности аналого-

вого напряжения на четвертом выходе ППН, загораются светодиоды СИММ, показывающие величину и направление отклонения чувствительной оси МЧД относительно ПММ.

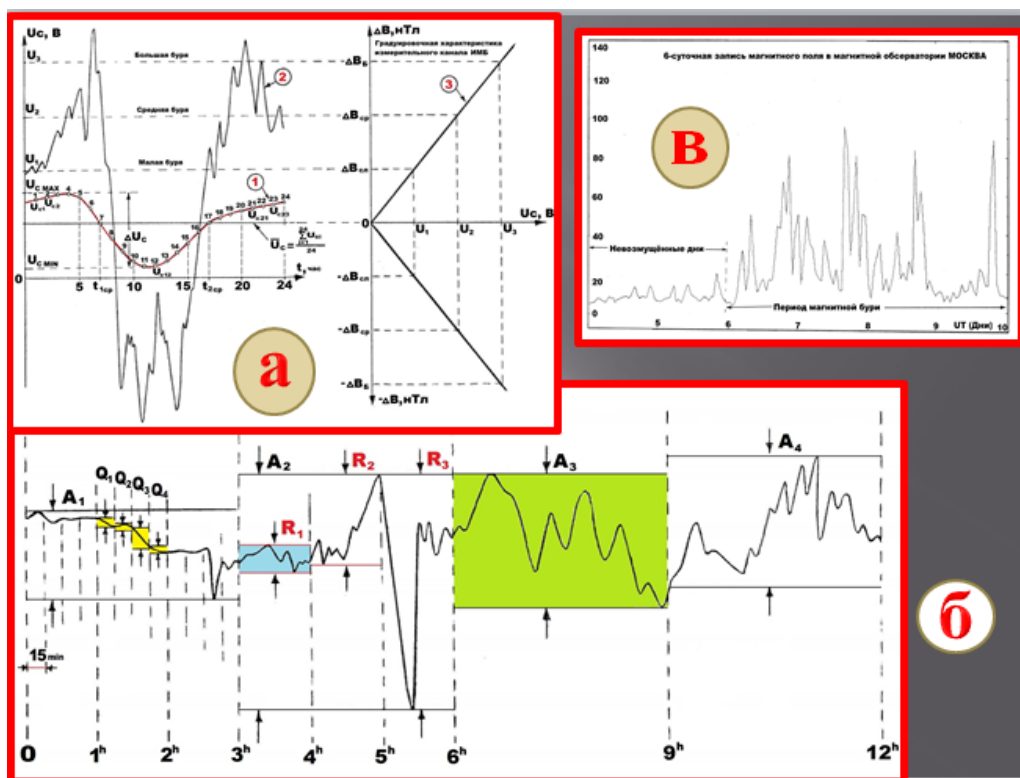
После этого производят плавное вращение измерителя 1 в горизонтальной плоскости, например, по часовой стрелке до тех пор, пока все светодиоды СИММ не погаснут. При этом обеспечивается установка чувствительной оси МЧД измерителя 1 ортогонально ПММ с точностью примерно  $\pm(5...20)$  нТл. С помощью НКВ жестко фиксируют измеритель 1 на НПО и, при необходимости, проводят точную юстировку измерителя 1 относительно ПММ при помощи одного из немагнитных юстировочных винтов 4, следя за тем, чтобы все светодиоды СИММ были погашены.

После проведения установки и юстировки измерителя 1 относительно ПММ, включают индикатор 6 при помощи расположенной (см. **рис.1а**) на его корпусе клавиши 7 ("ON"). При этом питание от АБП через третий выход СУ подается на все схемы ААС и схему ИОН. Включают также световую и звуковую сигнализации при помощи соответственно клавиш 8 ("LAMP") и 9 ("SIGNAL"). При этом на первый вход ССВ и на второй вход ЗС поступает питающее напряжение соответственно с первого и второго выходов СУ. На вход индикатора 6 с третьего (аналогового) выхода ППН измерителя 1 через кабель 5 поступает аналоговое напряжение  $U_c$ , амплитуда и полярность которого соответствуют величине и знаку вариации магнитного склонения  $\Delta D$  в данный момент времени. Это аналоговое напряжение  $U_c$  поступает на первый вход ААС (см. **рис.2а**), то есть на вход ИНВ и на первый вход ДИЗ. Если напряжение  $U_c$  имеет отрицательную полярность, то при помощи ИНВ оно преобразуется в аналоговое напряжение такой же амплитуды, но положительной полярности и с его выхода через второй вход ДИЗ поступает на первый вход КОМ. Если  $U_c$  имеет положительную полярность, то оно через ДИЗ сразу поступает на первый вход КОМ. Одновременно на второй вход КОМ поступает опорное напряжение  $U_{оп}$  с выхода ИОН с помощью которого КОМ формирует три опорных напряжения  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$ , соответствующих величинам трех компарируемых уровней (трех установленным градациям минимальных значений малой, средней и большой МВ). Относительно этих опорных уровней и сравнивается аналоговое напряжение  $U_c$ , поступающее на первый вход КОМ (см. градуировочную характеристику 3 на **рис.4а**). При этом

$$U_{оп} > U_3 > U_2 > U_1 > 0 \text{ (2)}$$

и могут иметь место следующие четыре ситуации (см. **Таблицу 1**):

- 1)  $0 \leq |U_c| \leq U_1$  - магнитное поле не возмущено;
- 2)  $U_1 < |U_c| \leq U_2$  - магнитное поле имеет слабое возмущение;
- 3)  $U_2 < |U_c| \leq U_3$  - магнитное поле имеет среднее возмущение;
- 4)  $U_3 < |U_c|$  - магнитное поле сильно возмущено.



**Рис.4. Пример установки измерителя ИМБ относительно ПММ (а), а также пример определения индексов магнитной активности (б) и фрагмент реальной записи Rh-индекса (в) при помощи ИМБ в период регистрации МБ на ЦМО МОСКВА.**

Анализ состояния возмущенности магнитного поля в момент начала МБ сводится к непрерывному последовательному выделению и визуализации ИМБ этих моментов (ситуаций) по каждому из измерительных каналов измерителя 1. Рассмотрим эти все возможные ситуации.

**В первом случае** (см. *рис.3а*) на первом, втором и третьем выходах КОМ будет сформирован потенциал, соответствующий лог."0" и на первом, втором выходах СС также будет сформирован потенциал, соответствующий лог."0", а СИ 11, 12 и 13 не светятся и ЗС не работает.

**Во втором случае** (см. *рис.3б*), когда магнитное поле слабо возмущено, на первом выходе КОМ формируется потенциал, соответствующий лог."1", а на втором и третьем его выходах - потенциал лог."0". При этом на втором выходе СС устанавливается также потенциал, соответствующий лог."1", который поступает на второй вход ССВ, в результате чего загорается СИ 11 (см. *рис.1а*), а ЗС в этом случае не работает.

**В третьем случае**, когда магнитное поле имеет среднее возмущение, на втором выходе КОМ формируется потенциал, соответствующий лог."1", а на первом и третьем его выходах - потенциал, соответствующий лог."0". При этом на второй вход ССВ с первого выхода ГТИ через пятый вход СС поступает сигнал низкой частоты  $f_1$ , который заставляет мигать СИ 12. В это время СИ 11 и 13 не светятся и ЗС не работает.

**В четвертом случае** (см. *рис.3г* и кривую 2 на *рис.4а*), - когда имеет место большая МБ, - на первом и втором выходах КОМ сформирован потенциал, соответствующий лог."0", а на его третьем выходе формируется потенциал, соответствующий лог."1". При

этом на второй вход ССВ со второго выхода ГТИ через шестой вход СС поступает сигнал с частотой  $f_2 \gg f_1$ , который заставляет мигать уже с более высокой частотой СИ 13, а СИ 11 и 12 в этом случае будут погашены. Одновременно на первом выходе СС формируется прерывистый (модулированный низкой частотой) сигнал с частотой  $f_3 \gg f_2$ , который поступает на первый вход ЗС, что вызывает подачу прерывистого громкого звукового сигнала, который распространяется через отверстия 10 корпуса индикатора 6.

Другим вариантом предлагаемого способа диагностики МВ может быть тот случай, когда выбранная точка (место) проведения измерений вариаций МПЗ находится далеко от известных МО. Или место проведения измерений находится в районе, где магнитное поле носит ярко выраженный сильно аномальный характер (например, в условиях промышленного города), и осложнено большим уровнем промышленных помех, когда неизвестно, какой измерительный диапазон измерителя 1 необходимо включать. В этом случае (перед юстировкой измерителя 1 относительно ПММ) включают, при помощи БУ, четвертый измерительный диапазон ИМБ. Далее устанавливают измеритель 1 на НПО так (см. *рис.4а*), чтобы максимальное (минимальное) пиковое значение измеряемой суточной вариации магнитного поля по каждой измеряемой составляющей ВМИ в этом месте (помещении) не выходило бы за пределы первого измерительного поддиапазона измерителя 1 (см. *Таблицу 1*), соответствующего нормальной величине МВ. То есть в этом случае должно выполняться условие (1) или  $0 \leq I_{Uc} \leq U1$ , а СИ 11, 12 и 13 на индикаторе 6 будут погашены.



При помощи НКВ на НПО фиксируют измеритель 1, как было указано выше, и определяют в течение суток реальную величину суточной вариации в данной измерительной точке, для чего фиксируют каждый час дискретные значения вариации поля  $U_{ci}$  по каждому измерительному каналу, используя, например, тестер или внешний аналоговый регистратор, которые подключают к третьему выходу ППН измерителя 1 или ко входу индикатора 6 для измерения величины и знака напряжения  $U_c$ .

По результатам суточных измерений вариации магнитного поля по каждой составляющей ВМИ (см. кривую 1 на **рис.4а**) определяют максимальное  $U_{c \max}$  и минимальное  $U_{c \min}$  суточные значения вариации МПЗ и вычисляют разницу между ними:

$$\Delta U_c = U_{c \max} - U_{c \min} \quad (3)$$

Далее вычисляют среднесуточное значение

$$U_{c \text{ ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{24} U_{ci}}{24} \quad (4)$$

и определяют моменты времени, соответствующие этому среднесуточному значению  $U_{c \text{ ср}}$  (например,  $t_7$  и  $t_{17}$  на **рис.4а**). После этого, при необходимости, устанавливают с помощью переключателей БУ другой измерительный диапазон измерителя 1, руководствуясь условием:

$$|\Delta U_c| \leq U_1 \quad (5)$$

Затем производят установку и окончательную юстировку измерителя 1 относительно ПММ, как показано на **рис.4а** в моменты времени  $t_7$  или  $t_{17}$ , соответствующие вычисленному среднесуточному значению вариации поля  $U_{c \text{ ср}}$ , как было описано выше, с точностью примерно  $\pm(5...20)$  нТл, при помощи светодиодов СИММ.

Как было описано выше и показано на **рис.1б** и **рис.1в**, корпус измерителя 1 ИМБ выполнен в виде отдельного малогабаритного и немагнитного блока, причем ППН расположен соосно МЧД и удален от

| Q-индекс | баллы | 0 | 1    | 2     | 3     | 4     | 5      | 6       | 7       | 8       | 9        | 10        | 11        |
|----------|-------|---|------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
|          | нТл   |   | 0-10 | 11-20 | 21-41 | 42-80 | 81-140 | 141-240 | 241-400 | 401-660 | 661-1000 | 1001-1500 | 1501-2200 |

Определение R-индекса осуществляется, путем вычисления разницы между его минимальным и максимальным значением на часовом измерительном интервале, в нТл. За сутки определяется 24 значения R-индексов. Определение A-индекса магнитной активности производится аналогично определению R-индекса, но на 3-х часовом измерительном интервале [5]. При этом за амплитуду колебаний элементов

| A-индекс<br>(R-индекс) | баллы | 0 | 1   | 2   | 3     | 4     | 5     | 6      | 7       | 8       | 9       |
|------------------------|-------|---|-----|-----|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
|                        | нТл   |   | 0-4 | 5-9 | 10-19 | 20-39 | 40-69 | 70-119 | 120-199 | 200-329 | 330-499 |

Амплитуда вариаций МПЗ, как показано на **рис.1з**, изменяется от экватора к полюсу и для получения единообразной оценки магнитной активности на всем Земном шаре каждая из МО должна иметь свою собственную, зависящую от широты места, шкалу оценки A-индекса. Предложенная на **рис.2б** схема построения ИМБ, позволяет исключить эту проблему

него на расстояние в 2,5 раза превышающее поперечный размер (B) МЧД. Указанное минимальное расстояние ( $2,5B$ ), на которое необходимо удалить МЧД от ППН, позволило обеспечить минимальное магнитное влияние последнего (порядка 1...2 нТл) на результаты измерений. Это было определено на основании большой статистики результатов экспериментальных исследований макетов измерителя 1. В результате этого общая компоновка схемы измерителя 1 вместе с встроенным АБП оказалась достаточно компактной и малогабаритной (например, длина блока 250 мм, максимальная ширина - 80 мм и толщина - 30 мм), что обусловило успешное ее применение и установку измерителя в помещениях любого типа.

#### ДРУГОЙ ВАРИАНТ ПОСТРОЕНИЯ ИМБ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МВ

На **рис.2б** показана блок-схема ИМБ, которая позволяет одновременно с регистрацией элементов земного магнетизма и мгновенной визуализацией интенсивности МВ, анализировать уровень возмущенности магнитного поля путем определения и одновременной визуализации ИМА (Q, R и A) на различных временных интервалах. Этот вариант построения ИМБ представляет собой простое компактное и малопотребляющее устройство, которое реализует третий пункт предлагаемого способа диагностики МВ, - в части их визуализации и аналитики.

Рассмотрим работу этого варианта ИМБ (см. **рис.2б** и **рис.4б**). Определение указанных выше ИМА в ИМБ осуществляется на различных временных интервалах [2, 5], как показано на **рис.4б**, и формируемых при помощи схемы ТА. Так Q-индекс определяет геомагнитную активность для 15-ти минутных интервалов, центрированных на 0, 15, 30 и 45 мин каждого часа мирового времени [1]. За каждые сутки определяется 96 Q-индексов, которые определяют, как показано на **рис.4б**, и выражают как в условных баллах по 12-балльной шкале, так и непосредственно в нТл:

земного магнетизма принимается максимальная разность между наибольшим и наименьшим отклонениями одного из элементов (H, Z или D) в трехчасовом промежутке. Так, например, для средних магнитных широт эта характеристика МВ может быть выражена как в условных баллах, так и в нТл:

при использовании прибора в любом районе Земного шара. То есть данная конструкция ИМБ позволяет автоматически получать оценку МВ поля в любой измерительной точке (по соответствующей этой измерительной точке шкале) как в условных баллах, так и в нанотеслах. Таким образом, за сутки получается 8 значений A-индексов.

Для определения ИМА Q, R и A используются (см. **рис.2б**) соответственно три ИИМА. Одновременная визуализация всех измеренных ИМА осуществляется на СТ в темпе эксперимента, а индикация текущего времени измерений осуществляется при помощи ЦИВ. Включение схем СТ и ЦИВ осуществляется путем подачи на их четвертый и второй входы питающего напряжения соответственно с шестого и пятого выходов СУ. На вход ТА и третьи входы всех ИИМА поступает сигнал с тактовой частотой **f<sub>0</sub>** с третьего выхода ГТИ, равной 32768 Гц. Эта тактовая частота **f<sub>0</sub>** предназначена для синхронизации работы во времени всех ИИМА измерителя 6, на четвертые входы которых поступают тактовые импульсы положительной полярности с циклом T = 15, 60 и 180 мин соответственно с первого, второго и третьего выходов схемы ТА. При этом на четвертом выходе ТА формируется код, соответствующий текущему времени измерений (или мировому времени **УТ**), который визуализируется на ЦИВ в виде десятичных значений времени (минуты и часы). На вторые входы всех ИИМА со второго выхода ИОН поступает опорное напряжение **U<sub>оп2</sub>**, которое используется для формирования опорных (компарированных) уровней напряжения в блоках ИИМА, относительно которых анализируется входное напряжение **U<sub>с</sub>**, поступающее на первые входы всех ИИМА с выхода измерителя 1.

Все вычисления, связанные с определением разницы между максимальным и минимальным значениями магнитного поля на определенном измерительном интервале T и анализ этой полученной разницы относительно некоторых сформированных при помощи опорного напряжения **U<sub>оп2</sub>** «компарированных уровней», соответствующих определенным уровням (баллам) магнитной возмущенности, производятся каждым из блоков ИИМА на соответствующих измерительных интервалах в 15, 60 и 180 мин, а

результаты этого анализа визуализируются затем на встроенном СТ, выполненном, например, в виде цифрового индикатора или дисплея.

В качестве примера регистрации и визуализации одного из ИМА (**Rh**-индекса) на **рис.4в** показан фрагмент цифровой записи, который включает как период времени когда магнитное поле не возмущено, так и период времени с МВ, - когда была МБ.

Такое построение схемы ИМБ позволило значительно, как было отмечено выше, уменьшить габариты как измерителя, так и индикатора, что, в свою очередь, позволило эффективно использовать его в помещениях различного типа, например, в клиниках в условиях города, в обычных жилых помещениях, в обсерваториях, в кунгах, в полевых условиях в местах, где невозможно было использовать стандартные обсерваторские приборы, такие как [4], а также позволило проводить работы в любых местах и районах Земного шара без проведения дополнительной настройки и регулировки его схемы или МЧД. При этом схема измерителя (магнитометра) получилась достаточно экономичной (потребляет мощность от источника постоянного тока напряжением от 6 до 9 В не более 0,1...0,15 Вт) и может питаться длительное время от малогабаритных сухих элементов или аккумуляторов. Общая масса измерителя и индикатора ИМБ вместе с источником питания не превышает соответственно 0,7 и 0,5 кг.

Следует отметить, что в настоящее время при использовании современных элементов и технологий в некоторых случаях можно заметно упростить конструкцию современных ИМБ при этом ликвидировав блоки индикаторов и переложив их функции на современные компьютеры или планшетные ПК.



**Рис.5. Общий вид созданных в ИЗМИРАН диагностических ИМБ и РМА, которые реализуют предложенный способ.**

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданные в ИЗМИРАН на основе предложенного диагностического метода магнитоизмерительные приборы уже нашли своё применение не только в

геофизике, но и в магнитобиологии, а также при проведении различных медицинских научных исследований [7, 9]. Общий вид некоторых моделей диагностических ИМБ и регистраторов магнитной активности (**РМА**), которые были разработаны в институте за



последние 30 лет [8, 10-14], представлен на **рис.5**. При использовании этих приборов лечебными учреждениями и медицинскими центрами диагностики, - появилась возможность для внесения необходимых изменений в курс лечения травматических, психоневрологических, терапевтических и послеоперационных больных, подверженных повышенной чувствительности к изменениям величины интенсивности МБ [10].

При использовании службами санэпидемстанций, - созданные магнитометры применяются для определения величины и местонахождения "вредных" электромагнитных возмущений искусственного происхождения, оказывающих воздействие на человека на его рабочем месте. А применение приборов службами воздушного, морского, железнодорожного и автомобильного транспорта реализует возможность безопасности передвижения пассажиров, которая находится в прямой зависимости от физического и психологического состояния людей, управляющих этим транспортом.

Появилась возможность у индивидуальных пользователей устанавливать у себя дома или на работе

малогабаритные, малопотребляющие магнитоизмерительные приборы, при помощи которых (в различных условиях и помещениях) проводится прогностическая оценка магнитных возмущений (МВ) и воздействия МБ на самочувствие, настроение, работоспособность людей, а также и для определения "неблагоприятных дней" для них.

Опытные образцы описанных выше ИМБ прошли апробацию и клинические испытания в некоторых медицинских центрах различных городов (например, в городах Москва, Кисловодск, Ялта и др.), а также длительное время испытывались в ЦМО МОСКВА и в различных сухопутных научных экспедициях [12-14].

Метод диагностики и созданные на его основе ИМБ и РМА могут быть использованы в геофизическими партиями, научно-исследовательскими институтами при проведении специальных работ. А также могут быть применены службами контроля и эксплуатации протяженных кабельных силовых и связных (в том числе и подводных) линий и трубопроводов для принятия своевременных профилактических мер и исключения выхода из строя обслуживаемой их аппаратуры во время больших МБ.

#### Литература:

1. Инструкция по проведению геомагнитных наблюдений в высокоширотных магнитных обсерваториях. // Под ред. Р.М.Галкина / Л.: ААНИИ, 1975. С.68 - 95, 104 - 129.
2. Дубов Э.Е. Индексы солнечной и геомагнитной активности // Материалы мирового центра данных Б. / Межведомственный геофизический комитет при Президиуме АН СССР. М., 1982. С.29-33.
3. Мансуров С.М. Теория магнитных вариационных приборов // Труды НИЗМИР. М.: Гидрометеорологическое издательство (отделение) 1957. Вып.12 (22). С.111 - 116.
4. Копытенко Ю.А., Ди В.И., Юров В.Е. и др. Диагностический магнитовариационный комплекс (ДМК-1) для наблюдений геомагнитных вариаций и пульсаций // Автоматизация геофизических исследований в высоких широтах. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1983. С.61 - 67.
5. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Изд-во Ленинградского университета. Л., 1978. С.393 - 396.
6. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2006. - 140 с.
7. Гурфинкель Ю.И., Любимов В.В., Ораевский В.Н. Опыт применения диагностического магнитометра в клинике неотложных состояний // Биофизика, М.: Наука, 1995. Том 40. Вып.5. С.1042 - 1049. DOI: 10.5281/zenodo.3723280
8. Зверев А.С., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Регистратор магнитной активности // Приборы и техника эксперимента. М.: Наука, 1997. №1. С.168. DOI: 10.5281/zenodo.2573289
9. Гурфинкель Ю.И., Гусева Т.А., Канониди Х.Д., Любимов В.В., Ораевский В.Н., Шарыгин С.А. Опыт и результаты проведения мониторинговых работ в условиях промышленного города, курортных зон и в клиниках. Препринт №3 (1099) М.: ИЗМИРАН, 1997. - 19 с. DOI: 10.5281/zenodo.3692723
10. Гурфинкель Ю.И., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Применение регистратора магнитной активности IDL-04 в условиях клиники // Международная школа-семинар -ACS'98 "Автоматизированные и компьютерные системы в науке, технике и промышленности" (29 июня-5 июля 1998 г., Москва, МГУ). Тезисы докладов. М.: МГУ, 1998. С.160-162.
11. Lyubimov V.V. Instruments for the natural magnetic fields registration in the city conditions: the magnetic storm indicators // 15th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility (June 27-30, 2000). Abstracts. Wroclaw, 2000. Part 1. PP.379-382. DOI 10.5281/zenodo.3719879
12. Любимов В.В. Приборы для электромагнитного мониторинга и экологических исследований окружающей среды // Датчики и Системы / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. М.: «ООО СенСиДат», 2004. №.9. С.25-27.
13. Любимов В.В. Диагностические магнитометры на основе аморфных феррозондовых датчиков: реализация и проекты // Евразийский союз учёных. (ЕСУ). М., 2018. №12 (57). 3 часть. С.31-36. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2018.3.57.31-36
14. Любимов В.В. Обзор по магнитометрам, созданным в ИЗМИРАН. Часть 3: Приборы для медико-биологических исследований и электромагнитного мониторинга окружающей среды // Евразийское научное объединение. М., 2019. №6 (52). С.91-98. DOI: 10.5281/zenodo.3271160