

Любимов В.В.

ИЗМИРАН

# МАГНИТОМЕТРЫ ИЗМИРАН В ГЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ: БЫЛОЕ И СОВРЕМЕННОСТЬ

## Введение

В начале 80-х годов прошлого века в районе Крайнего Севера (КС) стали активно внедряться в практику геофизических исследований цифровые магнитовариационные станции (ЦМВС) на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД). Специальным конструкторским бюро физического приборостроения (СКБ ФП) АН СССР был осуществлён серийный выпуск 53-х ЦМВС на базе КМД под названием ЦМВС-2 [1], которые при активном участии сотрудников ИЗМИРАН [2, 3] затем были установлены на сети магнитных обсерваторий (МО) СССР, в том числе и на пунктах наблюдений (ПН) в районе КС (точки обозначенные красными кружками на карте слева сверху на *рис.1*).



**Рис.1.** Сеть пунктов и точек наблюдений с помощью различных ЦМВС в районе КС в период с 1971 по 1991гг (схема взята из публикации А.Н. Зайцева [3]) и в период после 1992 г (схема взята из публикации Б.А. Белова и др.).

В этот период времени бригада научных сотрудников ИЗМИРАН совместно с сотрудниками отдела геофизики Арктического и Антарктического научно-

исследовательского института (ААНИИ) курировала работы связанные с обеспечением работоспособности ЦМВС на ПН, проводила экспедиционные и исследовательские работы на точках наблюдений на КС [2]. Начиная с 1985 года часть установленных в районе КС станций ЦМВС-2 длительное время вели цифровую регистрацию данных [3], в результате которой была создана и опубликована база цифровых 1-минутных данных МО и ПН расположенных в районе КС, которые были включены в базу цифровых данных МО России за период 1984-2000 гг. [4].

В работе Б.А. Белова и соавторов [5] представлена таблица, в которой показаны основные технические характеристики всех кварцевых ЦМВС созданных в период с 1980 по 2000 гг. (на основе КМД из ИЗМИРАН) различными отечественными и зарубежными организациями.

### **Кварцевые магнитовариационные станции**

В период с 1990 по 1993 гг. коллективом сотрудников ИЗМИРАН была создана новая модель ЦМВС под названием «Кварц-3». Магнитоизмерительный преобразователь (МИП) ЦМВС «Кварц-3» показан на фото на *рис.1* [6]. Эта новая модель ЦМВС превосходила ЦМВС-2 по многим основным техническим характеристикам и отличалась запатентованной оригинальной конструкцией фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) в КМД [7]. Такая конструкция ФЭП позволяла эффективно решить проблему стабильности долговременной работы КМД в меняющихся температурных условиях применения, что характерно для эксплуатации ЦМВС на КС. В результате ЦМВС серии «Кварц-3» (различные её модификации «Кварц-3Е», «Кварц-3ЕМ» и «Кварц-3Д»), выпущенные общим количеством 35 приборов [5], широко использовались как в России, так и в МО за рубежом. Например, на КС (в зоне полярных сияний) ЦМВС серии «Кварц-3» установлены (см. карту внизу на *рис.1* и *табл.1*) от ПН на мысе Уэлен на востоке до МО «Соданкюля» (Финляндия). Общее количество установленных на КС станций – 12. Согласно имеющейся информации из всех ЦМВС серии «Кварц-3», установленных в районе КС, работают в штатном режиме в настоящее время только 7, которые регулярно снабжают необходимой информацией магнитологов ААНИИ.

В начале 21-го века, после очевидного застоя в приборостроении в конце 90-х годов прошлого века, процесс создания новых магнитометрических приборов в ИЗМИРАН оживился. Необходимо было восстановить утерянные ранее темпы в создании новых современных МИП и магнитометров на основе современных технологий, на базе различного типа магниточувствительных датчиков (МЧД) и имеющегося многочисленного опыта в применении магнитометрической аппаратуры, в том числе и в условиях КС.

Таблица 1.

**Размещение ЦМВС и магнитометров в ПН при проведении работ в районе КС**

Название пункта наблюдений	Широта	Долгота	Наименование применяемого прибора
Остров Хейса	80° 37'	58° 03'	ЦМВС «Кварц-3»
Остров Визе	79° 18'	76° 59'	то же
Острова Известия	75° 53'	83° 06'	- “ -
Остров Уединения	75° 30'	82° 13'	- “ -
Остров Диксон	73° 33'	80° 34'	- “ -
Сопочная Карга	71° 55'	82° 42'	- “ -
Бухта Тикси	71° 35'	129° 00'	- “ -
Норильск	69° 24'	88° 06'	- “ -
Остров Преображения	74° 18'	110° 16'	- “ -
Ловозеро	68° 15'	33° 05'	- “ -
МО Соданкюля	67° 22'	26° 38'	- “ -
Уэлен	66° 10'	190° 10'	- “ -
Надым	65° 53'	72° 71'	ЦМВС «Кварц-4», ««MF-03-R»
Сё-Яха	70° 10'	72° 30'	то же
Харасавэй	71° 05'	66° 48'	ЦМВС «Кварц-4»
КС Байдарацкая	69° 18'	68° 03'	««MF-03-RM»
КС Ярынская	66° 51'	66° 53'	то же
Яро-Яха	68° 91'	68° 71'	- “ -

Как итог деятельности в ИЗМИРАН за последние 15 лет было создано несколько моделей различного типа и вида современных магнитометров и вариационных станций, информацию о которых можно узнать из публикаций [8-11]. В этот период времени, на основе опыта разработок и опыта испытаний [2] ранее созданных различных отечественных и зарубежных ЦМВС [5], - была создана новая модель ЦМВС под названием «Кварц-4» [9]. Она отличалась от всех ранее созданных приборов новой конструкцией ФЭП, электронных узлов, компактностью и экономичностью МИП.

Схема построения МИП ЦМВС «Кварц-4» представляет собой функционально законченный узел, а конструктивное исполнение МИП прибора, определяется условиями его применения. Регистрация измеренных ЦМВС данных в различных вариантах её исполнения осуществлялась или на компьютер, или на специально разработанные для работы в необслуживаемых или редко обслуживаемых ПН автономных накопителях цифровых данных: блоке измерения и накопления информации (БИН) или сумматоре цифровых данных (СЦД).

Особенностью ЦМВС серии «Кварц-4» в отличие от всех ранее созданных приборов такого типа являлось то, что все измерительные каналы МИП являлись взаимозаменяемыми с возможностью программной установки и отладки. При

использовании прибора в условиях МО предусмотрена возможность наращивания системы путем увеличения числа измерительных каналов и накопление данных в БИН или компьютер в непрерывном режиме в условиях МО при помощи последовательного канала связи. Таймер, управляющий работой ЦМВС, имел канал синхронизации с GPS и возможность коррекции хода часов реального времени.



**Рис.2. ЦМВС на основе КМД - «Кварц-4» (первая модель) и «Кварц-4МО» для МО и редко обслуживаемых ПН.**

Эта базовая разработка ЦМВС «Кварц-4» и её последующие модификации (было изготовлено 20 комплектов различных вариантов ЦМВС – «Кварц-4-1», «Кварц-4МО» и «Кварц-4УШ») в последние годы были размещены в различных МО и ПН на территории РФ. На *рис.2* показаны самая первая модель ЦМВС «Кварц-4» (стационарный вариант для МО) и более современная модель ЦМВС «Кварц-4МО», которая создана для проведения научных и экспедиционных исследований в необслуживаемых и редко обслуживаемых ПН и для стационарной работы в том числе и в МО. Для района КС в период с 2007 по 2011 гг. было сделано 4 комплекта ЦМВС «Кварц-4МО». Последняя модификация этой ЦМВС под названием «Кварц-4АС» [11] прошла всесторонние метрологические испытания и испытания типа во ВНИИМ и по их результатам в 2016 г. была включена в Государственный реестр средств измерений (№63306-16).

Следует отметить, что в последние годы различными творческими группами сотрудников ИЗМИРАН были (на основе ранних конструкций КМД) созданы другие варианты кварцевых ЦМВС, некоторые из них в настоящее время установлены и работают на МО и ПН в районе КС [3, 12]. Так, например, созданная трёхкомпонентная цифровая МВС [13] прошла метрологические испытания во ВНИИМ и по их результатам в 2007 г. была включена в Государственный реестр средств измерений (№35059-07) и используется для проведения специальных работ на ПН недалеко от г. Нижний Новгород. Аналогичные ЦМВС установлены ещё в 10-ти ПН на территории России, в том числе на ПН в пос. Ваймуша (г. Карпогоры, Архангельской области), где ведутся стационарные наблюдения на научном стационаре ИЗМИРАН [14].

### **Феррозондовые магнитометры**

Наряду с приборами на основе КМД сотрудниками ИЗМИРАН в последние 25 лет активно проводились работы по созданию магнитометров на базе МЧД на других физических принципах их работы, например, на основе феррозондовых МЧД. Работы в этом направлении были успешными, в результате чего была создана серия различных многоцелевых малогабаритных магнитометров на основе феррозондовых МЧД [8, 10], общий вид которых показан на *рис.3*. Так созданный в ИЗМИРАН малогабаритный цифровой компонентный магнитометр МФ-03-М [8] в 2001 году был включён в перечень основных средств измерений интенсивности геомагнитного и гипогомагнитного полей, рекомендованных для использования в рамках ГОСТ Р51724-2001.

В 2004 году на основе феррозондовых магнитометров серии МФ-03 «MAGIC» была создана новая модель малогабаритного цифрового регистрирующего магнитометра под названием «MF-03-R» модель «М» [10]. Этот магнитометр, созданный на базе феррозондового МЧД типа FLC 100, имел высокую чувствительность, малые габариты и вес, был очень экономичным (потребление от источника постоянного тока не более 0,05 Вт), что позволило с его помощью проводить различные научные исследования и использовать при проведении экспедиционных работ в различных условиях и средах. Общий вид магнитометра «MF-03-R» модель «М» показан на *рис.3*. Количество выпущенных в ИЗМИРАН феррозондовых магнитометров различного вида для нужд института и сторонних организаций на окончание 2015 года составило 19 приборов.

### **Применение ЦМВС и магнитометров на КС**

В этом году исполняется 45 лет с момента начала проведения сотрудниками ИЗМИРАН научных исследований в районе КС с применением цифровых



магнитометрических приборов, которые были начаты в 1973 году в рамках международного проекта «Геомагнитный меридиан» [2].



**Рис.3. Малогабаритные цифровые феррозондовые магнитометры для научных исследований созданные в ИЗМИРАН.**

В районе КС описанные выше ЦМВС серии «Кварц-4» использовались в разные годы начиная с сентября 2007 года в рамках проведения научно-исследовательских медицинских и геофизических работ в ПН «Надым», «Сё-Яха» и «Харасавэй» [12, 15], координаты которых указаны в *табл.1*. Применение ЦМВС «Кварц-4», например, в ПН организованном на территории НИИ Медицинских проблем КС РАМН (ПН «Надым») имело целью создание на территории НИИ собственного пункта слежения за вариациями магнитного поля, за электромагнитной обстановкой окружающей среды для связи этих данных с медицинскими исследованиями и работами, проводимыми врачами и научными сотрудниками в НИИ. Работы продолжались в течение полутора лет.

На протяжении более десятка лет недалеко от г. Карпогоры (Архангельской области) в пос. Ваймуша сотрудниками ИЗМИРАН был организован научный стационар для проведения постоянных обсерваторских наблюдений. Координаты этого ПН 63°58'N и 44°30'E. Там была установлена ЦМВС конструкции К.Х. Канониди [12-14], которая является современным обсерваторским цифровым магнитометрическим прибором с возможностью передачи измеренных данных по сети сотовой телефонной связи.

Цифровые данные с этого ПН в настоящее время поступают в реальном времени в ИЗМИРАН.

В ноябре 2016 г. пресс-службой губернатора Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) была опубликована информация, из которой следовало, что 2 новых магнитометра для прогнозирования северных сияний и магнитных бурь были установлены в селе Гыда и городе Надым в ЯНАО. Эта работа была проведена сотрудниками ИЗМИРАН под руководством А.Н. Зайцева и при содействии сотрудников ААНИИ в рамках проекта по созданию сети приборов на территории региона. Установка магнитометров - один из основных этапов научно-образовательного проекта по созданию виртуальной лаборатории геофизических исследований в ЯНАО, инициированного российскими учеными-геофизиками и поддержанного правительством ЯНАО. На сегодняшний день на территории ЯНАО работает 5 ЦМВС, осуществляющих передачу в реальном времени в ИЗМИРАН данных о состоянии магнитного поля Земли. Первый прибор установлен в 2013 году в пос. Харасавэй, второй и третий в 2015 году - на острове Белый и в пос. Горнокнязевск на территории природно-этнографического комплекса. Цифровые и визуализируемые суточные (и многосуточные) аналоговые данные некоторых из этих ЦМВС на ПН в районе КС в настоящее время можно видеть на сайте геофизических данных ИЗМИРАН: <http://forecast.izmiran.ru/index.php>.

Магнитометры «MF-03-R» и «MF-03-R» модель «М» применялись при проведении наземных методических работ в период с 2007 по 2009 гг. в ПН «Надым» и ПН «Сё-Яха» [10, 15]. Работы были связаны с поиском оптимального места для установки ЦМВС и исследования электромагнитной обстановки в месте установки КМД.

Модернизированный комплект магнитометра «MF-03-R» модель «М» использовался при проведении геомагнитных исследований трубопровода в районе Байдарацкой губы в 2010 г. (ПН указаны в *табл.1*) в рамках программы комплексных морских инженерных изысканий по объекту «Подводный переход через Байдарацкую губу» в составе стройки «Система магистральных газопроводов Бованенково - Ухта».

## Литература

1. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2. Проспект СКБ ФП. М.: НТО АН СССР, 1982. – 2 с.
2. Зайцев А.Н. Исследования в Арктике и Антарктике // Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли. М.: Наука, 1989. С.315-327.
3. Зайцев А.Н., Зайцев Н.А. Исследования полярных геомагнитных возмущений – от прошлого к будущему // Материалы II школы-семинара «Гординские чтения», Москва, 21–23 ноября 2012 г.. М.: ИФЗ РАН, 2013. С.62-64.

4. Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Одинцов В.И., Петров В.Г. Вариации магнитного поля Земли: База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984-2000 гг. (брошюра и оптический диск CD-ROM). М.: СтройАрт, 2001. – 52 с.
5. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровые кварцевые магнитовариационные станции // Экономика и производство. /Технологии, оборудование, материалы / Журнал организаторов производства. М., 2005. №.4. С.73-77.
6. Высокостабильная 3-компонентная кварцевая магнитовариационная станция «Кварц-ЗЕМ». Проспект ИЗМИРАН. Троицк, 2004. – 4 с.
7. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Мурашов Б.П. Оптическая система фотопреобразования угловых смещений // Авторское свидетельство №1021941. Опубликовано в Б.И. 1983. №21. 1989. С.328-338.
8. Любимов В.В., Выдрин В.В. Малогабаритный цифровой компонентный магнитометр // *Приборы и техника эксперимента*. М.: Наука, 1995. №5. С.206-207.
9. Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитовариационная станция «КВАРЦ-4» // *Датчики и Системы* / Новые приборы. М.: «ООО СенСиДат», 2006. №.1. С.45-48.
10. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровой малогабаритный микропотребляющий магнитометр для различного применения // *Aktualni vymozenosti vedy – 2012* / Materialy VIII Mezinarodni vedecko-prakticka konference 27 cervna-05 cervencu 2012/Fyzika. Dil 20, Praha, 2012.S.12-19.
11. Любимов В.В. Магнитовариационная станция для геофизических исследований // *Геофизический вестник* / Евро-Азиатское геофизическое общество, М.: «ПОЛИПРЕСС», 2016, №6. С.9-12.
12. Канониди К.Х., Канониди Х.Д., Петров В.Г. Развитие сети геомагнитных наблюдений ИЗМИРАН // Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. М.: ИЗМИРАН, 2015. С.77-87.
13. Трёхкомпонентная цифровая магнитовариационная станция МВС. Руководство по эксплуатации. Троицк: ИЗМИРАН, 2006. – 14 с
14. Кузнецов В.Д., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Ружин Ю.Я. Карпогорский научный стационар ИЗМИРАН // Материалы международной конференции «Развитие академической науки на родине М.В. Ломоносова». Архангельск, 2011. С.109-114.
15. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Опыт работы с цифровыми магнитометрами в условиях Ямала и Крайнего Севера // Научная конференция «*Базы данных, инструменты и информационные основы полярных геофизических исследований*» 24-26 мая 2011, г. Троицк, ИЗМИРАН, 2011. С.27.