

Любимов В.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова Российской академии наук*

К 45-ЛЕТИЮ ГЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМИРАН НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ: ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МАГНИТОМЕТРОВ (ОБЗОР)

ВВЕДЕНИЕ

Исследования в районе Крайнего Севера (КС), в которых участвовали сотрудники ИЗМИРАН со своими магнитометрическими приборами, были начаты в 1973 г. в рамках проекта «*Геомагнитный меридиан*» [6]. В начале 80-х годов прошлого века стали активно внедряться в практику геофизических исследований цифровые магнитовариационные станции (ЦМВС) на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД). По техническому заданию ИЗМИРАН Специальным конструкторским бюро физического приборостроения (СКБ ФП) АН СССР был осуществлён серийный выпуск 53-х ЦМВС на базе КМД под коммерческим названием ЦМВС-2 [2, 3], которые при активном участии сотрудников института [1, 4, 6] затем были установлены на сети магнитных обсерваторий (МО) СССР, в том числе и на пунктах наблюдений (ПН) в районе КС (см. *рис.1*). В этот период времени бригада научных сотрудников ИЗМИРАН под руководством А.Н. Зайцева 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 [1, 6]. Начиная с 1985 года часть установленных в районе КС станций ЦМВС-2 длительное время вели цифровую регистрацию данных [23, 28], 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. [8].

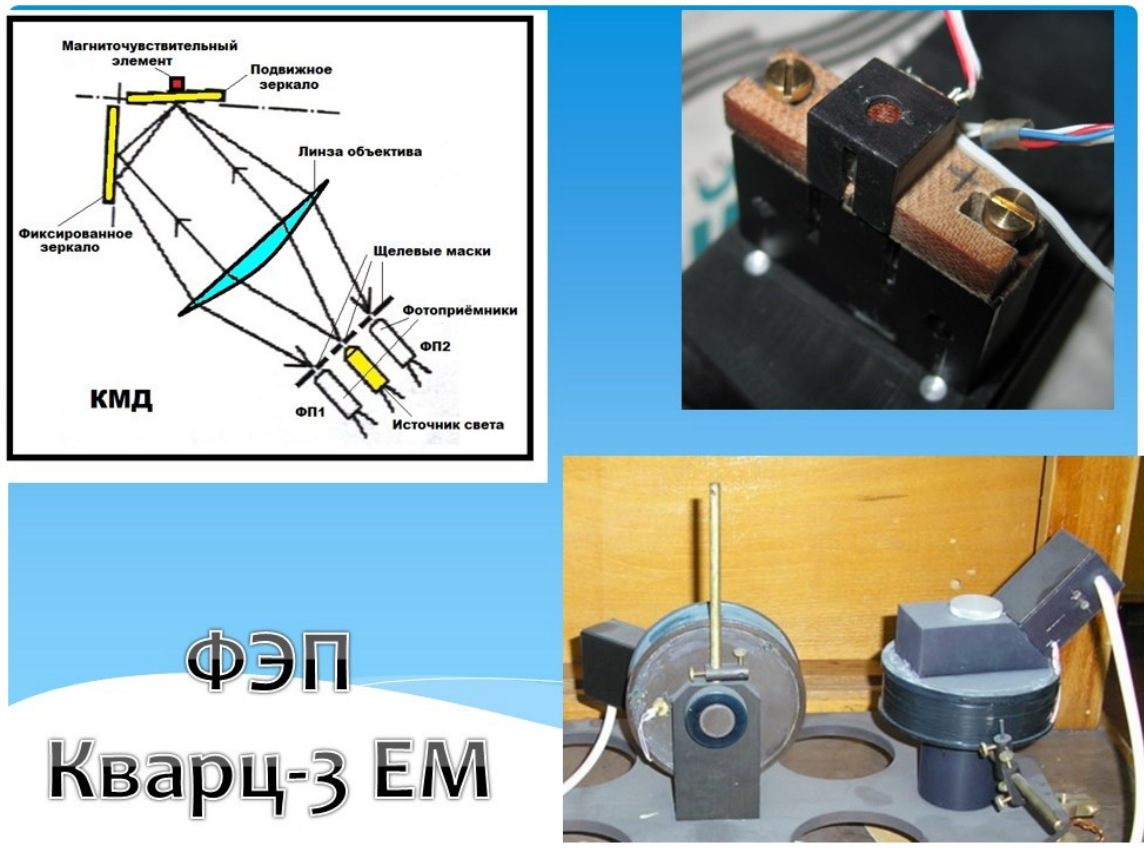
В настоящее время на некоторых МО эти приборы в рабочем состоянии, например, в обсерватории «Мыс Шмидта» и ПН «Мыс Каменный» [23, 28]. Но в большинстве обсерваторий ЦМВС-2 уже не используется, так как этот прибор имеет довольно большие физические размеры (юстировочная платформа с датчиками ЦМВС-2 показана на фото на *рис.1*), потребление энергии (от сети переменного тока порядка 100 ВА), а электроника устарела и не имеет прямой стыковки с современным компьютером.



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 [28]) и в период после 1992 г (схема взята из публикации Б.А. Белова и др.[18]).

В период с 1990 по 1993 гг. коллективом сотрудников ИЗМИРАН под руководством Б.А. Белова и Ю.А. Бурцева была создана новая модель ЦМВС под коммерческим названием «Кварц-3». Магнитоизмерительный преобразователь (МИП) ЦМВС «Кварц-3» показан на фото на *рис.1* [11]. Эта новая модель ЦМВС превосходила ЦМВС-2 по многим основным техническим характеристикам и отличалась запатентованной авторами оригинальной конструкцией фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) в КМД (конструкция ФЭП ЦМВС «Кварц-3» показана на *рис.2*) [14]. В результате ЦМВС серии «Кварц-3» (различные её модификации общим количеством 30 приборов) нашли применение как в России, так и за рубежом. Например, на КС (в зоне полярных сияний) ЦМВС серии «Кварц-3» установлены (см. *рис.1* и *табл.1*) от ПН мыса Уэлен на востоке до МО «Соданкюля» (Финляндия) [17-19]. Общее количество установленных на КС станций – 12. Согласно имеющейся информации из всех ЦМВС серии «Кварц-3», изготовленных в ИЗМИРАН и установленных в районе КС,

работают в штатном режиме в настоящее время только 7 [24], которые регулярно снабжают необходимой информацией магнитологов ААНИИ [24, 25].



ФЭП Кварц-3 ЕМ

Рис.2. Схема и конструкция фотоэлектрического преобразователя одной из модификаций ЦМВС «Кварц-3» - «Кварц-3ЕМ».

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. Из оставшихся ведущих специалистов в области магнитного приборостроения в конце 2004 года была создана научно-производственная лаборатория геомагнитных приборов и измерений (НПЛ). Задача лаборатории состояла в том, чтобы максимальным образом восстановить связь времён поколений, опыта и идей в магнитном приборостроении ИЗМИРАН. 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 (см. сайт: <http://www.pribory-dlya.narod.ru/999.htm>).

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

Название пункта наблюдений	Широта	Долгота	Наименование прибора	Литературные источники
Остров Хейса	80° 37'	58° 03'	«Кварц-3»	[11, 14, 17-19, 24]
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'	«Кварц-4», «MF-03-R»	[13, 15, 16, 21-23, 25, 26, 28, 29]
Сё-Яха	70° 10'	72° 30'	то же	
Харасавэй	71° 05'	66° 48'	«Кварц-4»	
КС Байдарацкая	69° 18'	68° 03'	«MF-03-RM»	[15, 22, 26]
КС Ярынская	66° 51'	66° 53'	то же	
Яро-Яха	68° 91'	68° 71'	- “ -	

В процессе проведения работ и исследований перед сотрудниками НПЛ ставились вопросы помощи в оснащения имеющихся и временно прекративших работу в связи с финансовыми трудностями того периода времени МО и ПН (в том числе и в районе КС) современным методическим материалом и магнитоизмерительным инструментарием [12], а также разработка новых ЦМВС адаптированных к местным условиям применения. Как итог деятельности лаборатории в институте за последние 15 лет было создано несколько моделей различного типа и вида современных магнитометров и вариационных станций, информацию о которых можно узнать из публикаций [7, 10, 13, 15-18, 20, 26, 30]. При этом главное внимание было уделено модернизации традиционных для ИЗМИРАН приборов – ЦМВС на основе КМД. В этот период времени сотрудниками НПЛ на основе опыта разработок и опыта испытаний [1, 4, 6] ранее созданных различных отечественных и зарубежных ЦМВС [5, 14, 19] была создана новая модель ЦМВС под коммерческим названием «Кварц-4» [16], отличающаяся от всех ранее созданных новой конструкцией ФЭП, электронных узлов, компактностью и экономичностью. Эта базовая разработка ЦМВС «Кварц-4» и её последующие модификации (было изготовлено 20 комплектов

различных вариантов ЦМВС) в последние годы были размещены в различных МО и ПН на территории РФ. На *рис.3* показана модель ЦМВС «Кварц-4МО» [20], которая создана для проведения научных и экспедиционных исследований в необслуживаемых и редко обслуживаемых ПН и для стационарной работы в МО.



Рис.3. Одна из моделей ЦМВС «Кварц-4МО» для МО и редко обслуживаемых ПН.

Последняя модификация ЦМВС созданная в ИЗМИРАН под коммерческим названием «Кварц-4АС» [30] прошла всесторонние метрологические испытания и по их результатам в 2016 г. была включена в Государственный реестр средств измерений (№63306-16). Общий вид ЦМВС «Кварц-4АС» представлен на *рис.4*.

В районе КС ЦМВС серии «Кварц-4» использовались в разные годы начиная с 2007 г. для проведения научно-исследовательских работ в ПН «Надым», «Сё-Яха» и «Харасавэй» [21, 22, 25, 29], координаты которых указаны в *табл.1*.

Следует отметить, что параллельно работам НПЛ в последние годы различными группами сотрудников ИЗМИРАН были (на основе ранних конструкций КМД В.Н. Боброва и Ю.А. Бурцева) созданы другие варианты кварцевых ЦМВС, некоторые из которых в настоящее время установлены и работают на МО и ПН в районе КС [19, 23, 25,

28, 29]. Цифровые и визуализируемые суточные 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>.



Рис.4. Модель ЦМВС «Кварц-4АС» для использования в МО и редко обслуживаемых ПН.

Наряду с приборами на основе КМД сотрудниками НПЛ в последние 25 лет активно проводились работы по созданию магнитометров на базе МЧД на других физических принципов их работы, например, на основе феррозондовых МЧД. Работы в этом направлении магнитометрического приборостроения были успешными, в результате чего была создана серия различных многоцелевых малогабаритных магнитометров на основе феррозондовых МЧД [7, 10, 13, 15, 26], общий вид которых показан на **рис.5**. Так созданный в ИЗМИРАН малогабаритный цифровой компонентный магнитометр МФ-03-М [7] в 2001 году был включён в перечень основных средств измерений интенсивности геомагнитного и гипогеомагнитного полей, рекомендованных для использования в рамках ГОСТ Р51724-2001 [9, 10]. В 2004 году, на основе феррозондовых магнитометров серии МФ-03 «MAGIC» [13] (которые хорошо зарекомендовали себя при проведении

сотрудниками ИЗМИРАН научно-исследовательских, метрологических и специальных работ), была создана новая модель малогабаритного цифрового регистрирующего магнитометра под коммерческим названием «MF-03-R» модель «М» [15, 26]. 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 показан на *рис.5*.



Рис.5. Малогабаритные цифровые феррозондовые магнитометры для научных исследований созданные в ИЗМИРАН.

Магнитометры «MF-03-R» и «MF-03-R» модель «М» применялись при проведении наземных методических работ на КС в период с 2007 по 2009 гг. и исследовательских наземных и морских экспедиционных работах на территории полуострова Ямал в 2010 г. [22, 27].

Литература

1. Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Папиташвили В.О., Петров В.Г., Шульгин В.А. Некоторые результаты эксплуатации цифровых магнитовариационных станций // Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977. С. 65-70.
2. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2. Проспект СКБ ФП. М.: НТО АН СССР, 1982. – 2 с.
3. Колесник В.Е., Одинцов В.И. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2 // Геомагнитные исследования. М.: Радио и связь, 1982. №30. С.22-33.
4. Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Петров В.Г. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2: особенности эксплуатации. Препринт №47 (661). М.: ИЗМИРАН, 1986. – 18 с.
5. Станция цифровая автоматическая измерительная ЦАИС. Проспект ЦФП ИОФАН. М., 1988. – 2 с.
6. Зайцев А.Н. Исследования в Арктике и Антарктике // Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли. М.: Наука, 1989. С.315-327.
7. Любимов В.В., Выдрин В.В. Малогабаритный цифровой компонентный магнитометр // *Приборы и техника эксперимента*. М.: Наука, 1995. №5. С.206 - 207.
8. 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.
9. ГОСТ Р 51724-2001 Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле гипогеомагнитное. Методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам. М. 2001.
10. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Новые приборы для исследования гипогеомагнитных полей и помещений // *Медицинская физика*. М., 2004. №.4(24). С.32 – 35.
11. Высокостабильная 3-компонентная кварцевая магнитовариационная станция «Кварц-ЗЕМ». Проспект ИЗМИРАН. Троицк, 2004. – 4 с.
12. Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Вопросы модернизации и оснащения обсерваторий и пунктов наблюдений современным комплексом цифровой магнитометрической аппаратуры // *Экономика и производство* / Журнал организаторов производства / Журнал депонированных рукописей №.5. 28 мая 2004 г.
13. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Малогабаритный цифровой интеллектуальный регистрирующий феррозондовый магнитометр MAGIC МФ-03-Р // Датчики и Системы /

Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. М.: «ООО СенСиДат», 2004. №.10. С.37-38.

14. 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.

15. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Малогабаритный цифровой регистрирующий феррозондовый магнитометр для геофизики, обсерваторских и методических работ // Материалы Международного семинара «170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние». Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. С.91–94.

16. 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.

17. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кузнецов В.Д., Любимов В.В. Кварцевые приборы ИЗМИРАН в полярных геомагнитных исследованиях //Труды научной конференции «Россия в Антарктике» к 50-летию начала регулярных исследований Антарктики российскими (советскими) экспедициями. 12-14 апреля 2006 г., С.-Петербург, АНИИ. С.-Петербург, 2006. С.41-42.

18. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кузнецов В.Д., Любимов В.В. Кварцевые приборы ИЗМИРАН в полярных геомагнитных исследованиях // Материалы Международного семинара «170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние». Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. С.24-28.

19. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кузнецов В.Д. Кварцевые вариометры ИЗМИРАН на мировой сети магнитных обсерваторий // *Экономика и производство /Технологии, оборудование, материалы*/Журнал организаторов производства. М., 2008. № S4.С. 61-64.

20. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Новые разработки: цифровая магнитная обсерватория // *Датчики и Системы* / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. М.: «ООО СенСиДат», 2010. №.4 С.22-24.

21. Интернет-газета ЯНАО «Ямал – Информ» . Апрель 2008.

22. 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.

23. Открытая справочно-информационная система «Полярная геофизика Ямала» // Научная конференция *«Базы данных, инструменты и информационные основы полярных геофизических исследований»* 24-26 мая 2011, г. Троицк, ИЗМИРАН, 2011. С.35-37.

24. Отдел геофизики ААНИИ // Научная конференция *«Базы данных, инструменты и информационные основы полярных геофизических исследований»* 24-26 мая 2011, г. Троицк, ИЗМИРАН, 2011. С.41-42.

25. Петров В.Г., Кузнецов В.Д., Канониди К.Х. Развитие сети магнитных наблюдений ИЗМИРАН и участие в проекте СуперМАГ // Вторая научная конференция *«Базы данных, инструменты и информационные основы полярных геофизических исследований»* 22-26 мая 2012, г. Троицк, ИЗМИРАН, 2012. С.11-12.

26. 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.*

27. ПРОГРАММА комплексных морских инженерных изысканий по объекту «Подводный переход через Байдарацкую губу» в составе стройки «Система магистральных газопроводов Бованенково - Ухта» и для изучения участка 1, 2, 3, 4, 5-ой и 6-ой нитки. ООО «Питер Газ» 2013. -108 с.

28. 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.

29. 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.

30. Любимов В.В. Универсальная цифровая магнитовариационная станция на базе кварцевых магнитных датчиков для работы в широком диапазоне полей // *Бъдещето въпроси от света на науката – 2015*/Материали за XI Международна научна практична конференция 17-22 декември 2015/ Физика. Том 18. София «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015. С.27-36.