



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ, МАГНИТНЫХ И ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ

В.Т. Минлигареев, А.В. Алексеева, Ю.М. Качановский, В.Л. Кравченко, Е.А. Панышин

В статье рассмотрено современное состояние метрологического обеспечения ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений Государственной наблюдательной сети (ГНС), включая наземный и космический сегменты. Показана реализация решений по выявленным ранее проблемам и предложений по улучшению качества измерений для оперативного реагирования на опасные гелиогеофизические явления (ОГЯ)-космической погоды на современном этапе развития системы геофизического мониторинга.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ДОСТОВЕРНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ, ИОНОСФЕРА, МАГНИТОСФЕРА, ГОСУДАРСТВЕННАЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ, ОПАСНЫЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА.

ВВЕДЕНИЕ

Ионосферные, магнитные и гелиогеофизические наблюдения обеспечивают исходную информацию для анализа параметров и составления прогнозов космической погоды. В связи с этим необходимым условием обеспечения качества перечисленных видов наблюдений является достижение требуемой точности, достоверности и сопоставимости результатов измерений при выполнении наблюдений за состоянием ионосферы, магнитосферы, верхней атмосферы и околоземного космического пространства (ОКП). Высокое качество таких наблюдений может быть улучшено, в том числе, и при совершенствовании нормативного и метрологического обеспечения [1-4].

В ФГБУ «ИПГ» за прошедшие 8 лет проведен ряд работ по метрологическому обеспечению: испытаны и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ионозонды «Парус-А», «Томيون», «САД»), приёмники сигналов низкоорбитальных навигационных и специализированных космических аппаратов СПРБ), создана распределенная эталонная база и проводится калибровка приборов гелиогеофизических комплексов космических аппаратов.

В области нормативного обеспечения и стандартизации на базе ФГБУ «ИПГ» в 2012 г. создан технический комитет по стандартизации ТК-101 - «Метрологическое обеспечение измерений физических полей в околоземном космическом пространстве, магнитосфере, ионосфере и атмосфере» ТК -101 включает 6 профильных подкомитетов, 22 ведущих НИУ Росгидромета, РАН и Росстандарта. За ТК-101 закреплено 47 ГОСТов, создана база данных ГОСТ ТК-101, готовятся обновленные редакции и новые стандарты по ионосфере [5].

Наземный сегмент наблюдений. В соответствии с «Положением о Метрологической службе Росгидромета» ФГБУ «ИПГ» является базовой метрологической организацией Росгидромета по обеспечению единства измерений при наблюдениях за состоянием атмосферы в слоях выше 100 км, ионосферы, магнитосферы, ОКП, межпланетного пространства и Солнца [6]. За более чем 45-летнюю историю служебных ионосферных наблюдений впервые проведены работы по испытаниям в целях утверждения типа ионозондов вертикального зондирования [7].

Испытания в целях утверждения типа ионозондов «Парус-А» (рис. 1) в силу пионерской работы потребовали применения нестандартных подходов в определении метрологических характеристик средств измерений (СИ). Например, при определении диапазона и абсолютной погрешности измерений времени задержки радиоимпульса относительно момента зондирования было предложено использовать специальный блок имитатора задержки радиоимпульса, входящего в состав радиоприемного устройства. Очень важным этапом в проведении испытаний являлось определение абсолютной погрешности воспроизведения шкалы времени ионозонда, относительно секундных импульсов ГНСС [8, 9].

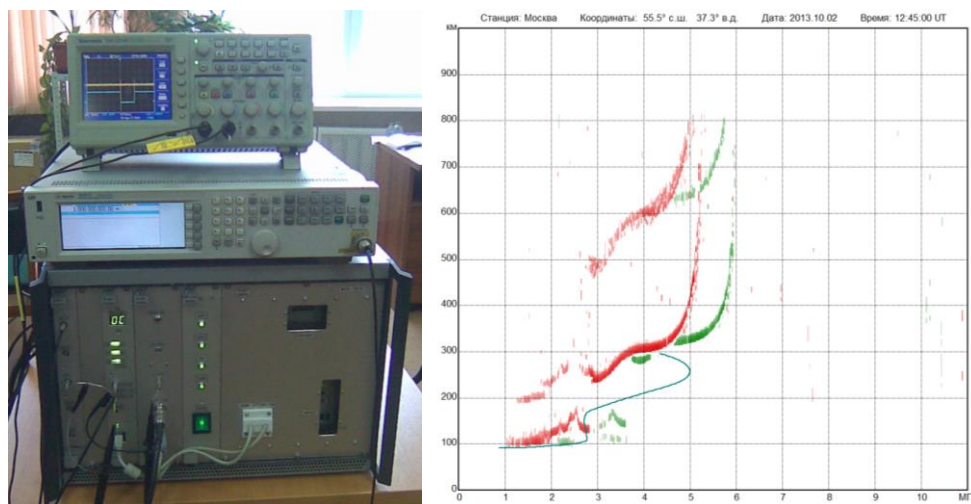


Рис. 1. Ионозонд «Парус-А» во время испытаний (слева) и характерная ионограмма ионосферной станции (справа)

Особое место в повышении качества выявления ОГЯ занимает *метрологическое обеспечение магнитных наблюдений*. Для многих отраслей науки и техники крайне важной является информация о магнитном поле Земли и его вариациях. Необходимо отметить, что значительные изменения магнитного поля, происходящие, в первую очередь, во время интенсивных солнечных вспышек, провоцируют магнитные бури, относящиеся к категории ОГЯ [10]. Магнитные бури по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения могут представлять серьезную угрозу энергетическим системам, протяженным трубопроводам, системам связи, навигации, космическим аппаратам, другим высокотехнологическим системам. Кроме того, магнитные бури представляют угрозу здоровью и жизни людей и могут наносить значительный материальный ущерб. Поэтому роль магнитных наблюдений чрезвычайно важна в мониторинге и прогнозе ОГЯ, которую нельзя недооценивать. Магнитные наблюдения являются важнейшей частью ГНС.

В настоящее время отсутствует целостная система метрологического обеспечения, необходимая эталонная база, содержащая средства передачи размера единицы от государственного эталона рабочим средствам измерений, а также нормативная документация, определяющая порядок и правила обеспечения единства измерений магнитных наблюдений. СИ магнитных величин ГНС не внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Решение поставленной проблемы по обеспечению единства измерений в Росгидромете реализуется классическими методами, а также, применяются инновационные научно-технические и инженерные решения в области метрологии и средств измерений магнитных величин (контроль метрологических характеристик магнитометров по встроенным эталонам, сличение геомагнитных индексов и показаний магнитометров ГНС и т.д.) [5].

К перспективному направлению в решении проблемы метрологического обеспечения магнитовариационных станций (МВС) необходимо отнести создание станции с встроенным рабочим эталоном магнитной индукции (ВРЭМИ). Установка ВРЭМИ позволяет проводить поверку МВС на месте эксплуатации без демонтажа измерительных преобразователей, что является чрезвычайно важным условием с учетом труднодоступности станций наблюдений.

Специалистами ФГБУ «ИПГ» рассматривается возможность применения дополнительного метода калибровки стационарных МВС по имеющимся в обсерваториях высокоточным протонным магнитометрам и деклинометрам/инклинометрам, с разработкой соответствующей методики.

Представляют также интерес работы, проводимые в ФГБУ «ИПГ» по сличению геомагнитных индексов, а также работы по региональному и межрегиональному сличению показаний магнитных обсерваторий ГНС. Такие сличения на современном этапе развития метрологического обеспечения крайне необходимы для определения достоверности вариаций магнитного поля Земли на ГНС.

В то же время важным практическим дополнением проводимых сличений может являться проведение регионального районирования территорий по уровню вариаций магнитного поля. Иначе говоря, можно учитывать влияние пространственного распределения вариаций за счет территориальной разбивки районов проводимых наблюдений на отдельные области как меридионального, так и широтного простираения [11].

Космический сегмент наблюдений. В ФГБУ «ИПГ» динамично развивается метрологическое обеспечение космического сегмента ГНС. На данный момент завершен этап СЧ ОКР по созданию распределенной эталонной базы и проведению калибровочных работ целевой аппаратуры гелиогеофизических комплексов космических аппаратов гидрометеорологического назначения [12-14].

Распределенная эталонная база, в создании которой принимали участие ведущие метрологические институты Росстандарта (ВНИИМ, ВНИИФТРИ, СНИИМ) и изготовители приборов, включает в себя:

- комплексы первичных и рабочих эталонов;
- методики калибровки, методики летных испытаний, методики перехода от штатных потоков электрофизических установок к заданным;
- локальные поверочные схемы;
- программу метрологического обеспечения перспективной комплексной целевой аппаратуры гелиогеофизического назначения;
- эксплуатационную документацию рабочих мест.

Основные технические средства и эталоны различных уровней, применяемые в распределенной эталонной базе, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические средства, и эталоны, применяемые на распределенной эталонной базе

Приборы гелиогеофизического назначения	Используемые эталоны и основные технические средства	Организация
ГАЛС - детектор галактических космических лучей	Линейный ускоритель электронов ЛУЭ-10; Монохроматор электронов «ИПГ-626»	ВНИИМ, ИПГ, НИИЯФ МГУ, Атомтех.
СКЛ/СКИФ - спектрометр корпускулярных излучений	Линейный ускоритель электронов ЛУЭ-10. Ускоритель протонов (циклотрон) У-120 РЭ 1 и 2 р. ИИИ - РЭС; третий ВНЗ.4Х; Монохроматор электронов «ИПГ-626». Бета-спектрометр MD198М; Вакуумная камера UNIVEX 350	ВНИИМ, ИПГ, НИИЯФ МГУ
ВУСС - измеритель ультрафиолетового излучения Солнца	Фотодиод эталонный ФДУК-100УВ; Источник синхротронного излучения, накопитель ВЭПП-4; Синхротрон «Космос»	ИЯФ СО РАН, СНИИМ
ДИР - измеритель потока рентгеновского излучения Солнца	Установка эталонная рентгеновского излучения УЭД 5-50 М (ГПЭ ГЭТ 8-2011); РЭ 1 р. ИИИ Fe-55 XFe5.24; Cd-109 XCd9.06; Sr-90 + Y-90	ВНИИМ
ФМ – магнитометр	Мера магнитной индукции (ТММИ); Источник-измеритель прецизионный (В2901А)	ВНИИФТРИ, ИПГ

В частности, на базе ВНИИФТРИ и ИПГ (Москва) сформирована эталонная база для проведения калибровочных работ магнитометров типа ФМ, на базе ИЯФ СО РАН и СНИИМ (Новосибирск) – измерителя ультрафиолетового излучения Солнца типа ВУСС (рис. 2).

На базе НИИЯФ МГУ, ИПГ (Москва) ВНИИМ (Санкт-Петербург), сформирована эталонная база для проведения калибровочных работ детекторов галактических космических лучей типа ГАЛС, спектрометров корпускулярных излучений типа СКИФ, СКЛ, измерителя потока рентгеновского излучения Солнца типа ДИР [12-13].



Рис. 2 Установка для воспроизведения единицы магнитной индукции постоянного магнитного поля для калибровки магнитометров типа ФМ (слева). Калибровка измерителя ультрафиолетового излучения Солнца типа ВУСС на синхротроне (справа).

На данный момент проведены калибровочные работы с использованием протонных и электронных ускорителей (рис. 3).



Рис. 3. Протонный ускоритель (циклотрон) У-120 (слева) и переносной ускоритель электронов (монокроматор) ИПГ-626 (справа), подготовленные для калибровки детектора ГАЛС и спектрометра СКЛ.

Таким образом, метрологическое обеспечение ионосферных, магнитных и гелиогеофизических наблюдений Государственной наблюдательной сети проводится классическими методами, а также впервые используются инновационные методы калибровки и сличений, что способствует повышению их качества выполняемых наблюдений, достоверности прогнозов для предупреждения об опасных гелиогеофизических явлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин, В. Б., Минлигареев, В.Т., Паньшин, Е.А. Нормативное и метрологическое обеспечение гелиогеофизических наблюдений [Электронный ресурс] // Гелиогеофизические исследования: научный электронный журн., 2012. - № 1. - С. 70 - 74. URL: <http://www.vestnik.geospace.ru>. (дата обращения: 10.12.2018).
2. Минлигареев, В.Т., Паньшин, Е.А. Анализ метрологического обеспечения ионосферных наблюдений в целях улучшения функционирования систем управления, связи и навигации [Электронный ресурс]//

- Гелиогеофизические исследования: научный электронный журн. 2012. - № 1. -С. 75 - 80. URL: <http://www.vestnik.geospace.ru>. (дата обращения: 10.12.2018).
3. Совершенствование метрологического обеспечения ионосферных наблюдений для эффективного функционирования систем управления, связи и навигации [Текст]/Минлигареев, В.Т., Лапшин, В.Б., Панышин Е.А., Доренский,С.В. // Известия ЮФУ. Технические науки. Тем. вып. Перспективные системы и задачи управления. – Таганрог, 2012. -№ 3 (128). - С.107-113.
 4. Лапшин, В.Б., Минлигареев, В.Т., Сыроешкин, А.В. Особенности нормативного и метрологического обеспечения гелиогеофизических наблюдений [Электронный ресурс]// Гелиогеофизические исследования: научный электронный журн. - 2013. - № 1. - С. 77 - 86. URL: <http://www.vestnik.geospace.ru>. (дата обращения: 10.12.2018).
 5. Минлигареев В.Т., Панышин Е.А., Штырков А.Ю. Обеспечение единства измерений на государственной наблюдательной сети в целях предупреждения опасных гелиогеофизических явлений [Текст] // Вопросы оборонной техники. Серия 9, 2014. - № 4. (С 29-38).
 6. Положение о Метрологической службе Росгидромета. – Обнинск: ФГБУ “ВНИГМИ-МЦД”, 2013.
 7. Минлигареев, В.Т., Солонецкий, Ю.Г., Панышин, Е.А. Проведение испытаний в целях утверждения типа станций вертикального радиозондирования ионосферы// Сб. материалов Восьмой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» - Таганрог, 2013 - С.151-157.
 8. Минлигареев, В.Т., Панышин, Е.А., Чурилов, С.Н. Проведение испытаний в целях утверждения типа ионозондов «Парус-А» [Электронный ресурс // Гелиогеофизические исследования: научный электронный журн. - 2012. - № 2. - С. 40-46. URL: <http://www.vestnik.geospace.ru>. (дата обращения: 10.12.2018).
 9. Минлигареев, В.Т. Описание типа станций вертикального радиозондирования ионосферы наземных «Парус-А» [Электронный ресурс] // Гелиогеофизические исследования: научный электронный журн. - 2013. - № 3. -С. 71-76.URL: <http://www.vestnik.geospace.ru>. (дата обращения: 10.12.2018).
 10. РД 52.88.699 – 2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений. – Обнинск: ГУ «ВНИГМИ-МЦД», 2008.
 11. Обеспечение единства магнитных измерений на государственной наблюдательной сети [Электронный ресурс]/В.Т. Минлигареев, В.Н. Заболотнов, В.И. Денисова и др. // Гелиогеофизические исследования: научный электронный журн., 2013. - № 6. (С. 8 - 19). URL: <http://www.vestnik.geospace.ru> (дата обращения: 10.12.2018)
 12. Создание распределенной эталонной базы для радиометрической аппаратуры гелиогеофизических комплексов космических аппаратов гидрометеорологического назначения [Текст] В.Т. Минлигареев [и др.] // Мир измерений. – 2016. - № 1. (С. 51 - 59).
 13. И.В. Алексеев, А.В. Оборин, С.Г. Трофимчук., И.И. Цветков, В.Т. Минлигареев. Метрологическое обеспечение гелиогеофизических комплексов космических аппаратов гидрометеорологического назначения [Текст] // Авиакосмическое приборостроение - 2016. -№ 10. (С 32-36).
 14. Лапшин, В.Б., Сыроешкин, А.В., Минлигареев, В.Т. Эталонная база для метрологического обеспечения комплексной целевой аппаратуры космических аппаратов гелиогеофизического назначения // Мир измерений. - 2013. - № 9. - С. 37 – 41

CURRENT STATE OF METROLOGICAL ASSURANCE OF IONOSPHERE, MAGNETIC AND HELIOGEOPHYSICAL OBSERVATIONS OF THE STATE OBSERVATIONAL NETWORK

V.T. Minligareev, A.V. Alekseeva, Yu.M. Kachanovsky, V.L. Kravchenok, E.A. Panshin

The article considers the current state of metrological assurance of ionospheric, magnetic and heliogeophysical observations of the State Observation Network, including the ground and space segments. The implementation of previously identified solutions and proposals for improving the quality of measurements for prompt response to dangerous heliogeophysical phenomena - space weather at the present stage of development of the geophysical monitoring system is shown.

KEYWORDS: METROLOGICAL ASSURANCE, REGULATORY ASSURANCE, MEASUREMENT ACCURACY, IONOSPHERE, MAGNETOSPHERE, STATE OBSERVATION NETWORK, DANGEROUS HELIOGEOPHYSICAL PHENOMENA, SPACE WEATHER.