

УДК 629.783; 520.6.05

**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ В ЧАСТИ
МЕТЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Воробьев Дмитрий Даниилович

*Магистр 2 года,**кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: Е.В. Тумакова,**старший преподаватель кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Целью данной работы является анализ структуры и характеристики данных, необходимых для измерения параметров космической погоды, а также средств измерений, применяемых в этой области.

К основным факторам возникновения физических явлений, вызванных солнечной и геомагнитной активностью, влияющими на состояние околоземного пространства и Землю, относят:

- возрастание потоков солнечных космических лучей (СКЛ);
- магнитные бури и ионосферные суббури;
- ионизирующее электромагнитное излучение солнечных вспышек;
- возрастание потоков электронов во внешнем радиационном поясе земли

РПЗ [1].

Эти физические явления могут привести к увеличению радиационной опасности во время космических и авиационных полетов, вызывать нарушения в радиосвязи, приводить к сбоям в целевой аппаратуре космических аппаратов, линий электропередач и энергосетей, а также вызывать недомогания у метеочувствительной части населения.

Первичным источником возмущений, которые передаются через волны и частицы в межпланетной среде, магнитосфере и ионосфере Земли является изменение Солнечного возмущение [2]. Эти возмущения влияют на процессы, связанные с равновесием электрических токов и магнитных полей, что может привести к нештатным ситуациям в различных отраслях, включая навигацию, связь, электроэнергетику, перекачку нефти и здравоохранение. Отметим, что под геофизической обстановкой понимается комплекс явлений и процессов в верхней атмосфере, ионосфере, магнитосфере и околоземном космическом пространстве (ОКП) [3].

В работах [3] и [4] в рамках создания системы мониторинга геофизической обстановки были выделены геофизические объекты и процессы, данные о которых необходимы для формирования модели планетарной экосистемы (таблица 1).

Таблица 1. Геофизические объекты и задачи

Объект	Задача	Параметры
Солнце, солнечный ветер	Прогноз потоков солнечных космических лучей (СКЛ), магнитосферных бурь, ионосферных возмущений	1. Изображение Солнца, солнечной короны в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах; 2. Излучение Солнца, солнечной короны в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах; 3. Межпланетное магнитное поле;

		4. Скорость, температура и концентрация плазмы в межпланетной среде.
Магнитосфера радиационные пояса	Контроль состояния и прогноз радиационной обстановки; диагностика и краткосрочный прогноз магнитосферных суббурь и бурь, ионосферных бурь, возмущений в верхних слоях атмосферы, выявление предвестников землетрясений	5. Интенсивность и энергетические спектры корпускулярных потоков; 6. Магнитосферная плазма; 7. Магнитные поля; 8. Плазменные волны
Ионосфера	Диагностика и прогноз условий распространения радиоволн, условий связи, контроль активных воздействий природного и антропогенного характера	9. Пространственно-временное распределение электронной концентрации; 10. Динамика ионосферных неоднородностей; 11. Тонкая структура ионосферы; 12. Волновая активность
Верхняя атмосфера. Озоносфера	Прогноз состояния атмосферы и ионосферы, прогноз движения ИСЗ на малых высотах, состояние озонового слоя	13. Плотность 14. Температура 15. Ионный и нейтронный состав 16. Малые газовые составляющие 17. Волновая активность 18. Распределение концентрации озона
Литосфера	Прогноз состояния атмосферы, контроль воздействий	19. Гравитационное поле 20. Гравитационные аномалии

Также в работе [3] был проведен анализ каждой из выделенных выше задач, что позволило сформировать перечень параметров, мониторинг которых с помощью средств космического базирования обеспечивает контроль состояния «космической погоды» и её изменений, которые порождают возмущения геофизических сред. В таблице 2 приведены основные параметры, измеряемые с целью контроля космической погоды, средства их измерений.

Таблица 2. Основные параметры контроля космической погоды, средства измерений.

Задача	Орбитальная позиция	Параметр	Измеряемая величина	Средства контроля
Мониторинг и прогноз геоэффективных вспышек	ВМО	Изображение солнца в белом свете	-	* Телескоп
		Изображение солнца в линии H-Alpha и Call-K	-	* Телескоп
Мониторинг и прогноз геоэффективных		Изображение солнца в рентгеновском и	-	* Телескоп

вспышек; Мониторинг и прогноз магнитных бурь		ультрафиолетовом диапазоне		
		Поток рентгеновского излучения солнца	$\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{ср}^{-1}$.	измерители потока рентгеновского излучения Солнца ДИР-Э Рентгеновский фотометр («СФР»)
		плотность потока энергии ультрафиолетового излучения Солнца	$\text{мВт}\cdot\text{м}^{-2}$	измеритель ультрафиолетового излучения Солнца ВУСС-Э
		Изображение солнечной короны и гелиосферы	-	* Телескоп
		Вектор межпланетного магнитного поля	нТл	Магнитометр
		Температура плазмы	К	*** Низкочастотный волновой комплекс
		Скорость плазмы	Оценка не завершена	*** Низкочастотный волновой комплекс
		Плотность плазмы	Оценка не завершена	*** Низкочастотный волновой комплекс
Мониторинг и прогноз магнитных бурь	ГСО	Поток рентгеновского излучения Солнца	$\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{ср}^{-1}$.	Измеритель потока рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца
		Патруль радиовсплесков солнца	-	-
		Потоки протонов и электронов	$\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	Спектрометры**
		Вектор магнитного поля	нТл	Векторный магнитометр**
Мониторинг и прогноз магнитных бурь; Мониторинг и прогноз ионосферных возмущений	ВЭО	Потоки протонов и электронов	$\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$	Спектрометр**
		Вектор магнитного поля	нТл	магнитометр
		Электромагнитные возмущения	???	
		Параметры аврорального овала в УФ, видимом и ИК диапазонах	-	*** Спектрометры
Мониторинг и прогноз	Низкие орбиты	Высота F области	км	** наземные средства

ионосферных возмущений		Скорость горизонтального дрейфа неоднородности атмосферы	м/с	*** наземные средства
		Высота критическая частота области F2	и МГц	** наземные средства
		Вертикальный размер неоднородности в F области		** наземные средства
		Частота спорадического слоя Es	МГц	** наземные средства
		Амплитуда сцинтилляций	Оценка не завершена	наземные средства
		Полное содержание электронов	-	Измеритель полного электронного содержания («ПЭС»)
		Вектор магнитного поля	нТл	Магнитометр
		Флуктуация фазы радиоволн	Оценка не завершена	-
		Потоки протонов и электронов	см ⁻² с ⁻¹	** Спектрометр
Прогноз вариаций состава и плотности верхней атмосферы	Низкие орбиты	Анализ нейтрального и ионного состава верхних слоев атмосферы	а.е.м	Радиочастотный масс-спектрометр

* не является измерением;

** относится к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений в соответствии с постановлением правительства Российской Федерации от 16.11.2020 г. № 1847;

*** расчетный метод, основанный на результатах измерений сопутствующих величин

Исходя из приведенных выше сведений можно выделить некоторые средства измерений, применяющиеся для контроля параметров "космической погоды" на российских космических системах, а также привести их прослеживаемость к государственным эталонам (таблица 3).

Таблица 3. Средства измерений и эталоны

Средство измерений	Диапазон измерений	Погрешность	Средства калибровки (поверки)	Примечание
Измеритель потока рентгеновского излучения Солнца	от 10 ⁻³ до 10 ⁻⁷ см ⁻² с ⁻¹ в области энергии от 3 до 25	± 15 %	Эталонная дозиметрическая установка УЭД 5-	[5]

ДИР	кэВ		50М ГЭТ	
Измеритель ультрафиолетового излучения Солнца ВУСС	от 1 до 30 мВт·м ⁻²	± 2 %	Комплекс аппаратуры для калибровки ВУСС-Э (монохроматор, накопитель ВЭПП-4, эталонный детектор)	[6]
Феррозондовые магнитометры ФМ	от минус 65000 до 65000 нТл	не превышает ±15 %	Мера магнитной индукции трехкомпонентная ТММИ	Диапазон и погрешность измерений зависит от модификации магнитометра ФМ
Спектрометры корпускулярных излучений СКЛ	Плотность потока протонов: от 2,5·10 ⁻¹ до 10 ⁴ см ⁻² ·с ⁻¹ в различных интервалах энергий (МэВ)	± 40 %	Протонный ускоритель (циклотрон) НИИЯФ МГУ У-120; камера рассеяния осциллографа	Диапазон измерений зависит от модификации спектрометра
	Плотность потока электронов: от 10 до 10 ⁴ см ⁻² ·с ⁻¹ в различных интервалах энергий (МэВ)	± 40 %	НМО2022; прибор пересчетный ПСО2-5; и пр.	Диапазон измерений зависит от модификации спектрометра [7]
Спектрометры корпускулярных излучений СКИФ	Дифференциальный спектр потока протонов и электронов: от 0,05 до 20 кэВ	± 40 %	линейный ускоритель электронов ЛУЭ-10; ускоритель протонов	-
	Суммарная плотность потока протонов с энергиями св. 800 кэВ: от 3·10 ³ до 10 ⁹ см ⁻² ·с ⁻¹	± 40 %	(циклотрон) У-120; тритий ВНЗ.4Х; монохроматор электронов «ИПГ-626»;	-
	Суммарная плотность потока электронов с энергиями св. 40 кэВ: от 0,1 до 10 ⁻³ см ⁻² ·с ⁻¹	± 40 %	бета-спектрометр MD198М; вакуумная камера UNIVEX 350	-

Детектор галактических космических лучей ГАЛС	Плотность потока протонов с энергиями св. 600 МэВ: от 1 до $5 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	$\pm 40 \%$	Эталонная установка рентгеновского излучения УЭД 50-320;	-
	Суммарная плотность потока электронов с различными энергиями: от 0,5 до $10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	$\pm 40 \%$	Государственный рабочий эталон 1-го разряда единиц мощности кермы в воздухе, экспоненциальной дозы, амбиентного и направленного эквивалента; и пр.	Диапазон измерений зависит от модификации детектора
	Суммарная плотность потока протонов с различными энергиями: от 0,5 до $10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	$\pm 40 \%$		Диапазон измерений зависит от модификации детектора
Радиочастотный масс-спектрометр РИМС	Регистрация ионного и нейтрального состава верхней атмосферы Земли: от 1 до 20 а.е.м	-		-
Низкочастотный волновой комплекс (НВК) «НВК 2»	От 0 Гц до 20 кГц	Информация отсутствует	Информация отсутствует	Средствами измерений являются электрические и магнитные датчики из состава НВК

Следует отметить, что метрологическое подтверждение пригодности для средств измерений, используемых для мониторинга космической погоды, осуществляется с некоторыми затруднениями. Так, например для КС "Ионозонд", из 11 позиций целевой аппаратуры, требующих калибровки в соответствии с российской системой калибровки Р РСК 002 на существующей распределенной эталонной базе, можно откалибровать только 2. Для остальных метрологическая пригодность частично осуществляется в рамках проверки функционирования.

Таким образом, в ходе анализа были выявлены и структурированы величины, измеряемые с целью определения космической погоды. Приедены некоторые средства измерений, применяемые в этой области, а также средства их калибровки.

Литература

1. Основные факторы космической погоды [Электронный ресурс] URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/cosmw/cosmw3.htm>
2. Шейнер О.А., Выборнов Ф.И. Высокоскоростные потоки солнечного ветра как причина возникновения ионосферных возмущений // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2021. С. 425. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a

3. Программа наблюдения геофизических процессов и технология построения космических средств перспективной системы мониторинга геофизической обстановки / В. А. Буров, С. В. Журавлев, В. Б. Лапшин [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2014. – Т. 142, № 5. – С. 53-59. – EDN TRKDCX.
4. *Асташкин А.А., Буров В.А* Структура параметров геофизических процессов в околоземной среде. Основные принципы концепции перспективной космической системы мониторинга геофизической обстановки, Гелиогеофизические исследования выпуск 13, 10 – 28, 2015
5. *Нусинов А. А., Качановский Ю. М., Минлигареев В. Т., Юдкевич И. С.* Измерения рентгеновского излучения солнца на космических аппаратах гелиогеофизического назначения. Гелиогеофизические исследования выпуск 16, 8 – 19, 2017
6. *Нусинов А.А., Алексеева А.В., Заверткин П.С., Ивлишкин Д.В., Качановский Ю.М., Кузин С.В., Минлигареев В.Т., Николенко А.Д., Панышин Е.А., Перцов А.А.* Метрологические характеристики аппаратуры для спутникового мониторинга геоэффективного ультрафиолетового излучения солнца. Гелиогеофизические исследования. 2020. №26. С.31-35.

Создание распределенной эталонной базы для радиометрической аппаратуры гелиогеофизических комплексов космических аппаратов гидрометеорологического назначения / В. Т. Минлигареев, Ю. М. Качановский, Е. А. Панышин [и др.] // Мир измерений. – 2016. – № 1. – С. 51-59. – EDN VKZJRH
