

УДК 681.7.528.8:89.57.25

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ГРУППИРОВКИ ДЕТЕКТОРОВ МОЛНИЙ

© 2024 г. А. Л. Филатов\*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук», Фрязинский филиал, Фрязино, Россия

\* E-mail: a.filatov@fireras.su

Поступила в редакцию 23.05.2024

После доработки 25.06.2024

Принята к публикации 31.07.2024

Рассмотрены различия размеров зон покрытия геостационарных детекторов молний, изготовленных специалистами разных национальных космических агентств. Спрогнозировано создание в ближайшем будущем полноценной геостационарной группировки, оснащенной такими детекторами. Для такой группировки предложены новые перспективные задачи, не входящие в перечень NASA для одиночного геостационарного детектора: мониторинг в системах двойного применения; использование молний в качестве источника электромагнитных волн при исследованиях плазменных процессов в ионосфере; всепланетный мониторинг мега молний.

DOI: 10.31857/S0367676524110134, EDN: FKODWR

### ВВЕДЕНИЕ

Первые системные наблюдения молний из космоса были выполнены в 1965 году в оптическом диапазоне телескопами с фотометрами, установленными на низкоорбитальном спутнике OSB-B2 серии Orbiting Solar Observatory [1]. Полученные результаты показали, что регистрация излучения гроз в ночное время мешает освещение городов, а в дневное – солнечный свет, отраженный от облаков и земной поверхности. Данные были дополнены спектральными измерениями, полученными при выполнении программы Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) в период 1970–1977 гг. [2, 3]. Новый этап изучения молний начался после появления прогнозов о глобальном потеплении [4], одним из индикаторов которого является усиление глобальной молниевой активности.

В 1988 году при участии Организации Объединенных Наций (ООН) в целях предоставления объективных научных данных была создана Межправительственная группа экспертов по изучению изменения климата [5]. При поддержке Национального управления по аeronавтике и исследованию космического пространства (NASA, National Aeronautics and Space Administration) для низкоорбитальных спутников были разработаны два типа приборов, которые позволяют круглосуточно излучать локальную молниевую активность [6]. В 1995 году был введен в эксплуатацию детектор переходных процессов (OTD The Optical Transient

Detector), который использовал специализированный процессор для выделения быстрых вспышек молний на медленно изменяющемся фоне солнечного света [7]. Кроме того, в 1997 году был задействован датчик изображения молний (LIS Lightning Imaging Sensor), использующий для фильтрации узкополосный оптический фильтр, который соответствует излучению одной из самых интенсивных линий излучения молний на длине волны 777.4 нм [7]. По-видимому, OTD оказался менее эффективным чем LIS, который был установлен на Международную космическую станцию (МКС) в 2017 [8] и выбран в качестве прототипа при создании геостационарного картографа молний (GLM Geostationary Lightning Mapper) [9].

NASA с 2017 года начала устанавливать GLM на геостационарных эксплуатационных спутниках наблюдения за окружающей средой (GOES, Geostationary Operational Environmental Satellites). Кроме задач получения данных для долгосрочных исследований изменчивости климата в разделе benefits and applications GOES [10] заявлено еще 17 приложений: прогноз траектории и интенсивности ураганов; раннее предупреждение о сильных штормах и торнадо; обнаружение, мониторинг и оценка интенсивности пожара; определение ударов молний, которые с наибольшей вероятностью могут привести к возгоранию; обнаружение низкой облачности и тумана; мониторинг атмосферных явлений, которые могут вызвать наводнения и оползни; мониторинг дыма, пыли и аэрозолей; сбор данных

для предупреждений и оповещений о качестве воздуха; получение данных для планирования авиационных маршрутов и сокращения задержек рейсов, связанных с погодными условиями; обнаружение извержений вулканов и мониторинг пепла и диоксида серы; обнаружение рисков сильных дождей и ливневых паводков; сбор данных о температуре поверхности моря для мониторинга рыболовства и изучения жизни морских организмов; мониторинг вегетативного здоровья. Кроме того, в этот перечень входит: обнаружение метеоров, входящих в атмосферу Земли; обнаружение корональных дыр, солнечных вспышек и областей источников корональных выбросов массы; предупреждение об опасностях космических явлений, вызывающих сбои в связи и навигации, а также отключения электроэнергии; мониторинг энергичных частиц, ответственных за радиационную опасность.

На рис. 1 показаны зоны покрытия геостационарных детекторов молний (ГДМ), разработанных и введенных в эксплуатацию различными национальными космическими агентствами. На рис. 1 $a$  представлена совместная область покрытия GLM, установленных на спутниках GOES – West и GOES – East [11]. На рис. 1 $b$  отображена зона покрытия датчика Lightning Imager (LI), установленного Европейским космическим агентством (ESA) на спутнике Meteosat 12 (MTG-I1) в рамках программы Meteosat Third Generation [12]. На рис. 1 $c$  приведены совмещенные зоны датчика Lightning Mapping Imager (LMI), разработанного Китайским национальным космическим управлением (CNSA) и размещенного на спутнике FY-4A [13].

Цель настоящей работы состоит в анализе причин значительного различия площади зон наблюдения, показанных на рис. 1; оценке возможности создания полноценной геостационарной группировки, оснащенной детекторами молний; изучении перспективных приложений для такой группировки, дополняющих 17 задач раздела benefits and applications GOES.

## АНАЛИЗ

Все рассматриваемые ГДМ используют узкополосный оптический интерференционный фильтр с центральной полосой на длине волны 777.4 нм. Для обеспечения фиксации 70% вспышек в дневное время оптимальной считается полоса пропускания 1 нм. Технически возможно изготовление фильтра с меньшей полосой 0.35 нм [14], который при нормальном падении полностью пропускает излучения триплета ионизированного кислорода 777.19, 777.42 и 777.54 нм, формирующего изучаемую линию 777.4 нм. Однако, как показано в сделанном для МКС расчете [15], при наклонном падении излучения на фильтр существует значительное смещение полосы пропускания. Заявленные полосы пропускания фильтров, установленных на спутниках GOES – West и GOES – East, Meteosat 12, FY-4A, составляют 1 нм, 1.9 нм, 1 нм. соответственно. На рис. 2 показаны оптические конструкции ГДМ для спутников GOES (рис. 2 $a$ ) [16], Meteosat 12 (рис. 2 $b$ ) [17] и FY-4A (рис. 2 $c$ ) [13].

Из совместного анализа рис. 1 и 2 видно, что двоеный детектор LMI на спутнике FY-4A обеспечивает минимальную, локальную зону покрытия. Счетверенный детектор LI, использующий более широкополосный фильтр, дает возможность контролировать максимальную поверхность, которая близка к стандартной зоне покрытия с геостационарной обиты без использования узкополосных фильтров. Детектор GLM, имеющий такую же как у LMI полосу пропускания фильтра, обеспечивает более широкую зону покрытия, возможно, за счет использования мультифокусной оптики. Кроме того, видно, что NASA и ESA использовали технические решения для увеличения зоны покрытия отдельных спутников, что при увеличении количества таких спутников приведет к созданию полноценной геостационарной группировки, обеспечивающей возможность наблюдения за всей поверхностью Земли кроме полярных регионов.

На рис. 2 $c$  показан прототип складного космического телескопа с мембранный оптикой

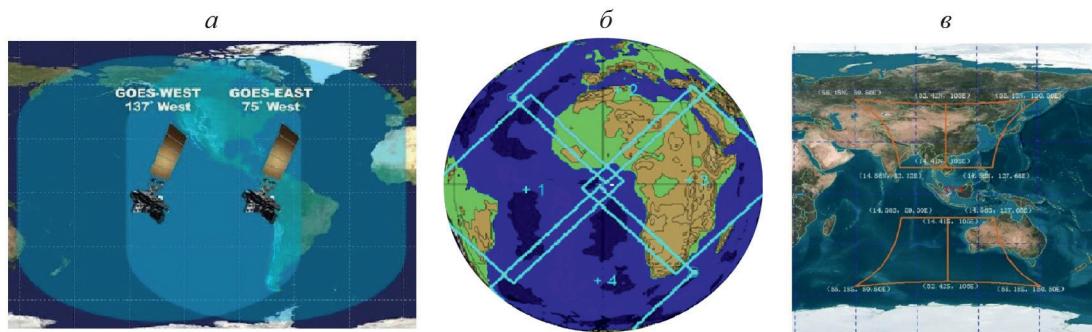


Рис. 1. Зоны покрытия детекторов молний, размещенных на спутниках: GOES – West и GOES – East (a); Meteosat 12 (b); FY-4A (c).

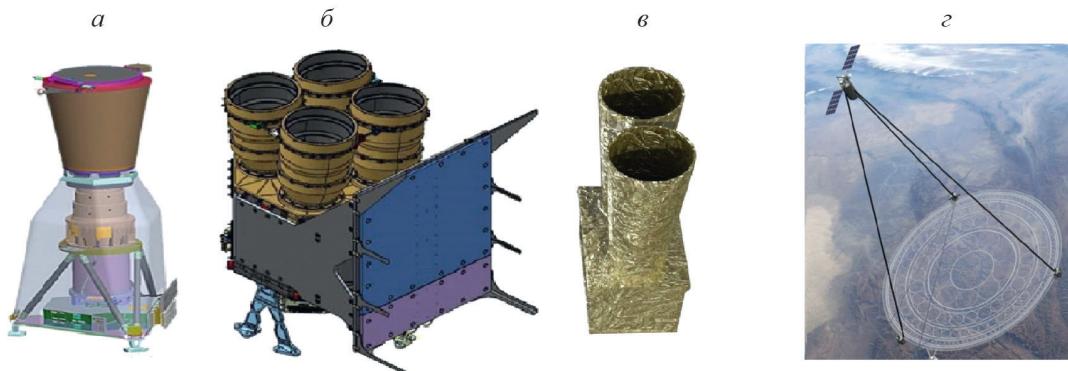


Рис. 2. Оптические конструкции спутников: GOES (а); Meteosat 12 (б); FY-4A (в); складной космический телескоп с мембранный оптикой (г).

геостационарного базирования Membrane Optical Imager for Real-Time Exploitation (MOIRE), разработка которого выполняется по инициативе управления перспективных исследований Министерства обороны США (DARPA) компанией Ball Aerospace & Technologies [18]. Нельзя исключить, что детектор GLM будет работать совместно с оптикой MOIRE в системах мониторинга двойного назначения.

В статьях [19, 20] было предложено использовать данные геостационарного детектора молний для исследования плазменных явлений. В [21] было обоснована гипотеза, что электромагнитный спектр молний может быть получен из анализа скоростной киносъемки оптического излучения. Создание всепланетной системы киносъемки молниевой активности даст возможность использовать мощные источники электромагнитных волн известного спектра для исследования свойств ионосферы [22] и магнитосферы [23].

Всемирная метеорологическая организация (WMO World Meteorological Organization) использует данные ГДМ для верификации самых продолжительных и самых длинных одиночных мегамолний. 18 июня 2020 года в течение  $17.102 \pm 0.002$  с. фиксировалось непрерывно развивающееся свечение во время грозы над Уругваем и северной Аргентиной. 29 апреля 2020 горизонтальное расстояние одиночной вспышки составило  $768 \pm 8$  км на юге США [24].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ближайшем будущем ведущие национальные космические агентства создадут полноценные геостационарные группировки детекторов молний, обладающие необходимыми функциональными возможностями для проведения новых научных исследований и мониторинга двойного назначения почти всей поверхности Земли за исключением полярных регионов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sparrow J.G., Ney E.P. et al. // J. Geophys. Res. 1968. V. 73. P. 857
2. <https://www.ncei.noaa.gov/products/satellite/defense-meteorological-satellite-program>
3. Orville R.E., Henderson R.W. // J. Atmosphere. Sci. 1984. V. 41. P. 3180.
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Climate\\_change](https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change)
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental\\_Panel\\_on\\_Climate\\_Change](https://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change)
6. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19990108781>
7. [https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/overview\\_otd.html](https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/overview_otd.html)
8. [https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/overview\\_lis\\_instrument.html](https://ghrc.nsstc.nasa.gov/lightning/overview_lis_instrument.html)
9. Christian H.J., Blakeslee R.J., Goodman S.J. // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. Art. No. 13329.
10. <https://www.goes-r.gov/mission/mission.html>
11. Rudlosky S.D., Virtis K.S // Mon. Weather Rev. 2021. V. 149. No. 4. P. 979.
12. <https://eo.belspo.be/en/satellites-and-sensors/mtg-i1>
13. [https://fy4.nsmc.org.cn/nsmc/en/theme/FY4A\\_instrument.html#LMI](https://fy4.nsmc.org.cn/nsmc/en/theme/FY4A_instrument.html#LMI)
14. Montcalm C., Badeen A., Burbidge D. et al. // Proc. SPIE. 2019. V. 11180. Art. No. 111804Z.
15. Квитка В.Е., Корх А.В. // Вестник РГРТУ. 2018. № 66–1. С. 42.
16. <https://www.goes-r.gov/spacesegment/glm.html>
17. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Meteorological\\_missions/meteosat\\_third\\_generation/Lightning\\_Imager](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Meteorological_missions/meteosat_third_generation/Lightning_Imager)
18. <https://newatlas.com/darpa-folding-telescope/30039/>

19. Филатов А.Л. // Солн.-Земн. физика. 2022. Т. 8. № 3. С. 82; *Filatov A.L.* // Sol.-Terr. Phys. 2022. V. 8. No. 3. P. 76.
20. Филатов А.Л. // Изв. РАН. Сер. физ. 2022. Т. 86. № 11. С. 1654; *Filatov A.L.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. No. 11. P. 1371.
21. Филатов А.Л., Луканина Л.А. // Изв. РАН. Сер. физ. 2023. Т. 87. № 10. С. 1503; *Filatov A.L. Lukanina L.A.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2023. V. 87. No. 10. P. 1537.
22. Локк Э.Г., Герус С.В., Анненков А.Ю. // Изв. РАН. Сер. физ. 2020. Т. 84. № 5. С. 711; *Gerus S.V., Lock E.H., Annenkov A.Y.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 84. No. 5. P. 587.
23. Мингалиев О.В., Сецко П.В., Мельник М.Н. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2022 Т. 86. № 3. С. 316; *Mingalev O.V., Setsko P.V., Melnik M.N. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022. V. 86. No. 3. P. 243.
24. <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-certifies-two-megaflash-lightning-records>

## Promising applications for a geostationary constellation of lightning detectors

**A. L. Filatov\***

*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics  
of the Russian Academy of Sciences, Fryazino Branch, Fryazino, 141190, Russia  
\* e-mail: a.filatov@fireras.su*

The difference in the sizes of coverage areas of geostationary lightning detectors manufactured by specialists from different national space agencies is explained. The creation in the near future of a full-fledged geostationary constellation equipped with such detectors is predicted. New promising tasks for such constellation, not included in the NASA list for a single geostationary detector, have been proposed: monitoring in dual-use systems; using lightning as a source of electromagnetic waves in studies of plasma processes in the ionosphere; planetary monitoring of mega lightning.