

## **Эффекты геомагнитной бури 01.12.2023 по данным оптических инструментов НК и фотоснимкам Иркутского астрономического общества**

Т.Е. Сыренова<sup>1</sup>, А.Б. Белецкий<sup>1</sup>, Р.В. Васильев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а.*

*E-mail: [angata@mail.iszf.irk.ru](mailto:angata@mail.iszf.irk.ru)*

*Представлены результаты исследований сильной геомагнитной бури 1 декабря 2023 года с использованием снимков астрономов-любителей Иркутской области. На основе методики географической привязки кадров и стереометрии выполнено определение пространственных параметров среднеширотных сияний. Обсуждается перспектива совместного использования фотографий астрономов-любителей и специализированных оптических инструментов для исследования геомагнитных бурь.*

*Ключевые слова: полярные сияния, геомагнитные бури, свечение атмосферы, географическая привязка, астрономы-любители*

## **Effects of 01.12.2023 geomagnetic storm according to NHK optical instruments and photographs of the Irkutsk Astronomical Society**

*T.E. Syrenova<sup>1</sup>, A.B. Beletsky<sup>1</sup>, R.V. Vasiliev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova st., 126a.*

*The results of the December 1, 2023 strong geomagnetic storm studies are presented using images from citizen astronomers in the Irkutsk region. Based on the method of frames georeferencing and stereometry, the spatial parameters of mid-latitude auroras were determined. The prospect of joint use of photographs by amateur astronomers and specialized optical instruments for studying geomagnetic storms is discussed.*

*Keywords: auroras, geomagnetic storm, airglow, georeferencing, amateur astronomers*

### **Введение**

На сегодня существует множество любителей-фотографов, увлекающихся астрономией, которые наблюдают за звездами, планетами, полярными сияниями и другими событиями. Одним из первых в мире известных “гражданских” ученых был фермер Бентли из США, который более ста лет назад наблюдал и каталогизировал более 700 полярных сияний [1]. Например, относительно новые оптические явления в верхней атмосфере, такие как STEVE [2, 3] или “dunes” [4], первоначально были обнаружены именно “гражданскими” учеными. Также стоит отметить российских ученых-любителей, внесших значительный вклад в историю открытий и наблюдений в астрономии. Например, Энгельгардт В.П., построивший в XIX в. собственную обсерваторию с крупнейшим телескопом и описавший более десятка комет, астероидов и сотни туманностей [5].

В связи с тем, что в данное время солнечная активность приближается к максимуму 11-летнего цикла, на Земле наблюдается достаточно большое количество геомагнитных бурь, сопровождающихся как полярными, так и среднеширотными сияниями (СС). Последнее явление было принято считать довольно редким [6], но благодаря появлению более чувствительной аппаратуры, можно полагать, что СС является частым геофизическим явлением и, скорее всего, не относящимся к экстремально наблюдаемым, как предполагалось ранее [7]. Об этом говорит статистика регистрации СС на юге

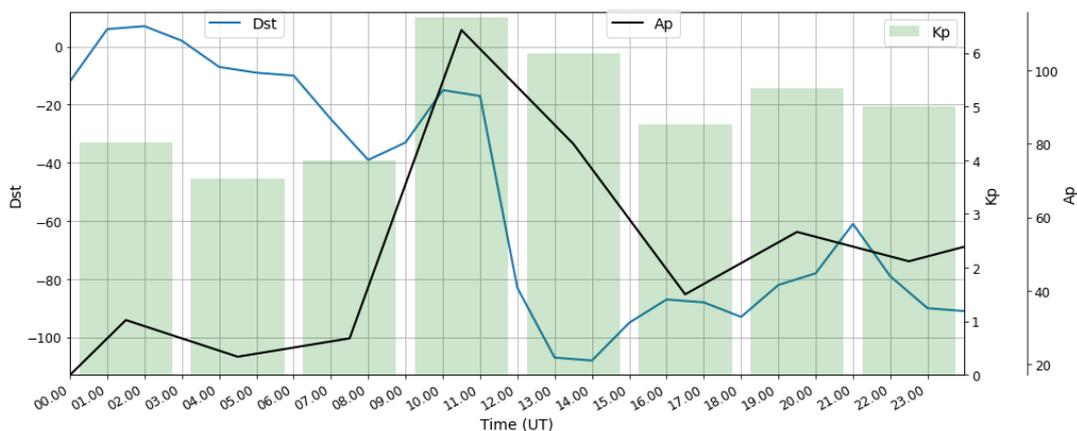
Восточной Сибири, в Геофизической обсерватории (ГФО) ИСЗФ СО РАН (103°04' в.д., 51°48' с.ш.) за период с 2021 года по настоящее время. В 2021 году были введены в эксплуатацию Оптические инструменты Национального гелиогеофизического комплекса (НГК) (рис. 1), в состав которых входят интерферометры Фабри-Перо, спектрометры, фотометры и камеры всего неба. С момента ввода в эксплуатацию по настоящее время с помощью камер всего неба ГФО ИСЗФ СО РАН зарегистрировано 38 СС, что составляет в среднем около 12 случаев в год.



**Рис. 1 а) - Общий вид крыши технического корпуса ГФО ИСЗФ СО РАН, б) - камера всего неба с подъемником**

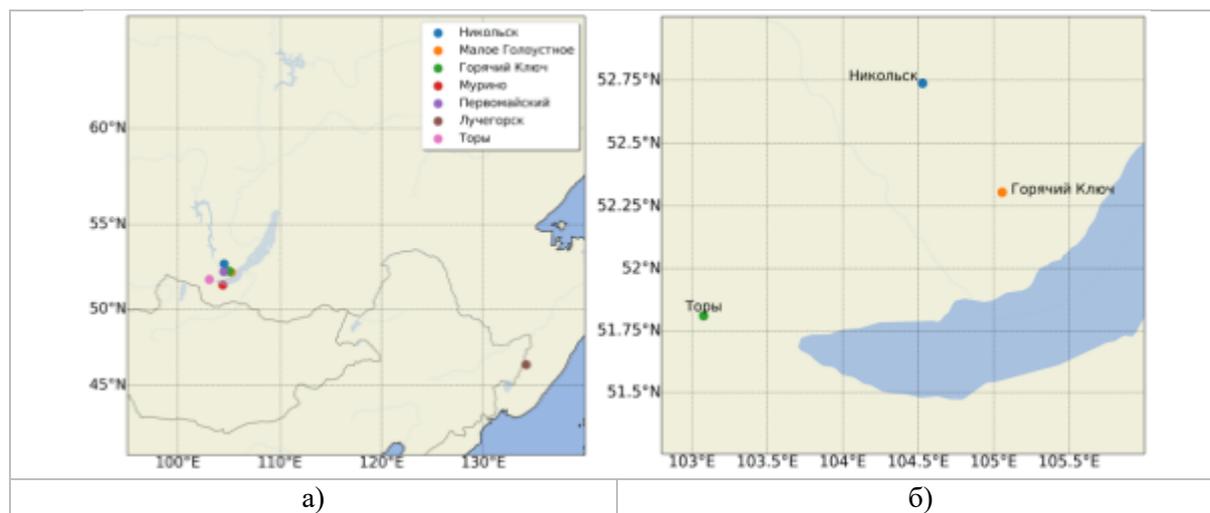
В работе рассматривается геомагнитная буря 01.12.2023 года, во время которой было зарегистрировано СС, вызванное вспышкой на Солнце класса М9.82, произошедшей 28 ноября 2023 г. Усредненный планетарный индекс составлял  $K_p=7$ , что относится к уровню G3 - сильной магнитной буре. Минимальное значение Dst-индекса равнялось -107 нТл (рис.2). В работе [6] показано, что существует зависимость регистрации СС в авроральной эмиссии 630 нм от Dst-индекса. На рис.2 можно видеть, что минимальное значение Dst-индекса наблюдалось в 12.00-13.00 UT и в этот же период времени наблюдалось наиболее яркое красное свечение на средних широтах. Согласно классификации, принятой в [8], СС такого типа можно отнести к типу “d”. Высыпаяющиеся из кольцевого тока тяжелые частицы с энергиями 1–100 кэВ при перезарядке вызывают на геомагнитных широтах  $\leq 40^\circ$  низкоширотные (нейтралы) и  $\geq 40^\circ$  среднеширотные (ионы) сияния. Потоки электронов с энергиями  $\leq 10$  эВ вызывают такое явление, как SAR-дуга, а высыпания электронов с энергиями  $\sim 10$ –1000 эВ приводят к СС типа “d” [7].

Среднеширотное сияние 01 декабря 2023 года наблюдались с помощью камер всего неба оптического комплекса НГК, которые предназначены для регистрации пространственной картины интенсивности свечения различных эмиссий верхней атмосферы. Краткие технические характеристики: поле зрения составляет 180 градусов, направление - зенит. В камерах используются сменные фильтры для регистрации излучения различных эмиссий - ОН, атомарного кислорода с линиями 557.7 нм, 630 нм, 427 нм, 865 нм, 589.3 нм. Полуширина пропускания каждого интерференционного фильтра составляет  $\sim 2$  нм (кроме полосы ОН), время экспозиции 55 с, для ОН - 8 с.



**Рис. 2 - Поведение  $D_{st}$ -,  $A_p$ ,  $K_p$ -индексов во время бури 01 декабря 2023 г.**

Представители Иркутского регионального астрономического общества (ИРАО) и любители астрономии проводили съемки с помощью цифровых фотоаппаратов и смартфонов в нескольких точках в пределах Иркутской области и Приморского края. Места наблюдений любителей и ГФО ИСЗФ СО РАН (Торы) указаны на рисунке 3а. Расстояние на карте на рисунке 3б между населенными пунктами, выбранными для анализа - Никольском и Горячим ключом - составляет около 72 км.



**Рис. 3. Местонахождение: а) - всех точек наблюдений геомагнитной бури 01.12.2023 и б) - точек, выбранных для дальнейшего анализа**

Для любителей представителями ИРАО и ИСЗФ СО РАН выработаны некоторые инструкции по съемке сияний. Место наблюдений необходимо выбирать вдали от населенных пунктов и иной засветки, записать точные местоположение и время съемки. Направление визирования должно быть выбрано на север. Среди важных рекомендаций также правильный выбор чувствительности и достаточно длительной экспозиции. На рис. 4 показаны примеры кадров, полученных во время геомагнитной бури 01.12.2023 в разных точках наблюдений.

При использовании двух и более разнесенных в пространстве оптических инструментов является возможность получать пространственные параметры процессов, регистрируемых в атмосфере в поле зрения камер. Поскольку географические координаты и точное время кадров, сделанных любителями, известны, это позволило провести совместный анализ снимков, совпадающих во времени, с использованием стереометрии. Кроме того, для отображения совпадающих кадров и расчета высоты

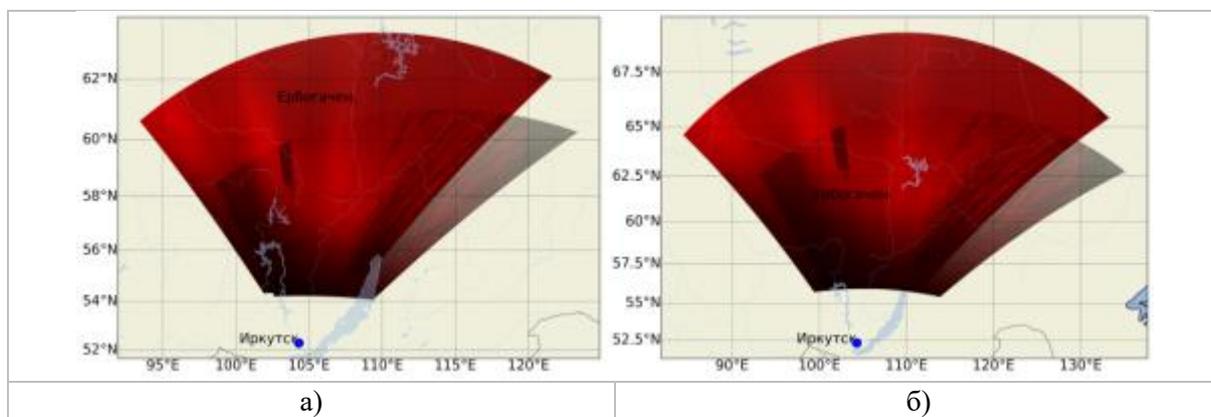
наблюдаемого явления, в анализе была применена методика географической привязки кадров, описанная в работе [9]. Были отобраны наиболее подходящие кадры, сделанные в Никольске и Горячем Ключе, в максимально совпадающий момент времени. Для этих кадров были выполнены проекции на поверхность Земли для разных высот (рис. 5). Далее проводилось сопоставление методом стереовидения, когда для некоторой области сияний находится полное совпадение на определенной высоте. Таким образом, было определено, что для снимков с разнесенной базой совпадение вершин одних и тех же “столбов” свечения наблюдается для высоты около 500 км. Это согласуется с диапазоном высот красных сияний типа «а» или «д», которые, как правило, высвечиваются на гораздо больших высотах, чем обычные формы полярных сияний [5]. Верхняя граница этих СС может достигать высоты ~550 км.



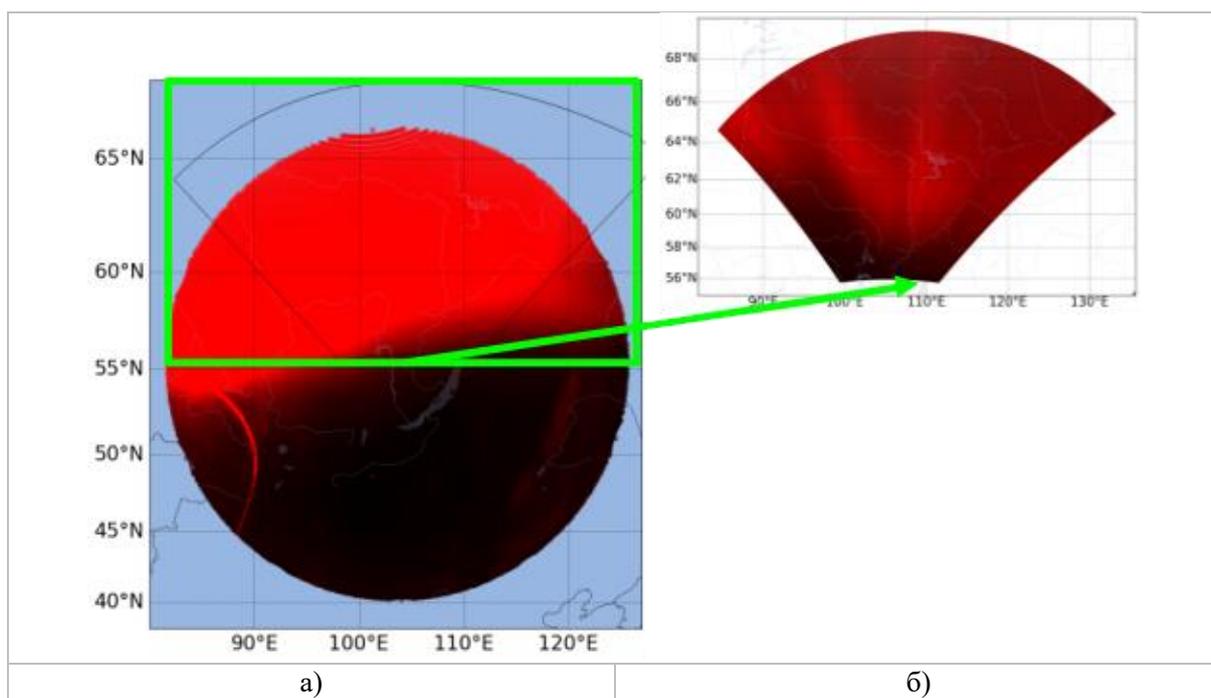
**Рис. 4. Кадры съемок северного горизонта 01.12.2023 г, сделанные астрономами-любителями в разных точках наблюдения: а) - Малое Голоустное - Шевцова, б) - Никольск - Никифоров, Скарднева, в) - Горячий ключ - Турков, г) - Пивовариха - Яхненко, д) - Первомайский - Косарев, е) - Мурино - Провилков, ж) - Лучегорск - Яшнова, з) - Никольск - Никифоров, Скарднева**

Основной доминирующей эмиссией СС является красное сияние (свечение эмиссии атомарного кислорода 630 нм.) Для дальнейшего анализа были выбраны кадры камеры всего неба НГК. Метеоусловия были достаточно благоприятными в ночь 01.12.2023: преимущественно ясно, с небольшой переменной облачностью, луна - убывающая. На рис. ба показана проекция кадра камеры всего неба НГК на поверхность Земли. Можно видеть сияние, занимающее около половины кадра с южной границей, достигающей примерно 54 градусов северной широты. На рис. бб показан снимок камеры, с помощью которой велись наблюдения в Никольске (рис. 4з). Зеленым прямоугольником выделена правая панель (б), на которой отчетливо видна лучистая структура сияния. Тогда как на рис. ба сияние имеет вид широкой диффузной полосы (однородного свечения типа

“вуаль”). Такое различие в структуре сияния объясняется разницей в экспозиции кадров. При длительном времени выдержки, как на камере всего неба - 55 секунд, такие структуры, изменяясь во времени, перекрывают друг друга и в итоге представляют однородное свечение. При этом стоит отметить, что южная граница сияния достаточно хорошо совпадает на обоих снимках. Это хорошо видно на отрезке 100-110 градусов восточной долготы.



**Рис. 5. Проекция снимков на поверхность Земли с высоты 250 км (а) и 500 км (б) 01 декабря 2023, 13:44:20 UT**



**Рис. 6 а) - проекция кадра камеры всего неба ГФО на поверхность Земли для высоты 500 км. 20231201, 13:41:00 UT, б) - кадр съемки в Никольске (автор - Никифоров) в тот же момент времени**

Совместный анализ полученных снимков показал, что данные цифровых камер от астрономов-любителей являются достаточно информативными для изучения событий, происходящих в атмосфере на разных высотах. Дальнейшее привлечение большего количества фотографов-любителей позволит использовать больше разнесенных в пространстве точек наблюдений, и, соответственно, улучшить точность получаемых в результате характеристик СС.

В связи с растущим интересом к полярным и среднеширотным сияниям гражданские научные наблюдения, несомненно, могут внести значительный вклад в изучение событий космической погоды. В режиме реального времени с предварительным оповещением о предстоящих СС с сайтов прогнозов космической погоды ([https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst\\_realtime/index.html](https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime/index.html), [https://xras.ru/magnetic\\_storms.html](https://xras.ru/magnetic_storms.html), <https://www.swpc.noaa.gov/products/wsa-enlil-solar-wind-prediction>) и от академических учреждений, таких как ИСЗФ СО РАН, появляется возможность охватывать большее пространство наблюдений. Совместный анализ событий с данными обсерваторий, ведущих мониторинговые наблюдения, представляется актуальным для улучшения точности определения характеристик проявлений геомагнитных бурь.

*Снимки среднеширотных сияний получены с помощью представителей Иркутского регионального астрономического общества и любителей астрономии.*

*Экспериментальные данные получены с использованием оборудования ЦКП "Ангара" (ИСЗФ СО РАН) <http://ckp-angara.iszf.irk.ru/>.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278).*

### **Литература**

1. Silverman S. M., Blanchard D. C. Wilson Bentley's auroral observations // Planetary and space science. 1983. Т. 31. №. 10. P. 1131-1135.
2. MacDonald, E. A., Donovan, E., Nishimura, Y., Case, N. A., Gillies, D. M., Gallardo-Lacourt, B., Archer, W. E., Spanswick, E. L., Bourassa, N., Connors, M., Heavner, M., Jackel, B., Kosar, B., Knudsen, D. J., Ratzlaff, C., & Schofield, I. New science in plain sight: Citizen scientists lead to the discovery of optical structure in the upper atmosphere // Science Advances. 2018. 4, eaq0030. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaq003>.
3. Gallardo-Lacourt, B., Nishimura, Y., Donovan, E., Gillies, D. M., Perry, G. W., Archer, W. E., et al. A statistical analysis of STEVE // Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2018. 23. P. 9893–9905. <https://doi.org/10.1029/2018JA025368>.
4. Palmroth M., Grandin M., Helin M., Koski P., Oksanen A., Glad M. A., et al. (2020). Citizen scientists discover a new auroral form: Dunes provide in sight into the upper atmosphere // AGU Advances. 1. e2019AV000133.
5. Трифонов В. А., Трифонова М. А. Любители астрономии и их вклад в науку // Актуальные проблемы физики и технологии в образовании, науке и производстве. 2022. С. 99-102.
6. Михалев А.В. Среднеширотные сияния в 23–24-х солнечных циклах по данным наблюдений на юге Восточной Сибири // Солнечно-земная физика. 2019. Т. 5, № 4, С. 80–89. DOI: 10.12737/szf-54201909.
7. Михалев А.В., Белецкий А.Б., Костылева Н.В., Черниговская М.А. Среднеширотные сияния на Юге Восточной Сибири во время больших геомагнитных бурь 29-31 октября и 20-21 ноября 2003 г. // Космические исследования. 2004. Т. 42. № 6, с. 616-621.
8. Rassoul H.K., Rohrbaugh R.P., Tinsley B.A., Slater D.W. Spectrometric and photometric observations of low-latitude aurorae // J. Geophys. Res. 1993. V. 98, iss. A5. P. 7695–7709. DOI: 10.1029/92JA02269.
9. Сыренова Т.Е., Белецкий А.Б., Васильев Р.В. Географическая привязка кадров широкоугольных систем // Журнал технической физики. 2021. Т. 91, Вып.12, с.1990-1996. DOI: [10.21883/JTF.2021.12.51765.172-21](https://doi.org/10.21883/JTF.2021.12.51765.172-21).