

УДК 524.1-52:523.9

## ВОЗМУЩЕНИЕ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА В ЯСНУЮ ПОГОДУ НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ

© 2021 г. Н. С. Хаердинов<sup>1</sup>, \*, Д. Д. Джаппуев<sup>1</sup>, К. Х. Канониди<sup>2</sup>, А. У. Куджаев<sup>1</sup>,  
А. Н. Куреня<sup>1</sup>, А. С. Лидванский<sup>1</sup>, В. Б. Петков<sup>1</sup>, М. Н. Хаердинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: khaerdinovns@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.06.2021 г.

После доработки 05.07.2021 г.

Принята к публикации 28.07.2021 г.

Зарегистрировано свечение ночного неба на  $43^\circ$  северной широты во время глобальных магнитосферных возмущений. Свечению предшествовала сейсмическая активность, сгенерировавшая подземный отрицательный заряд выходящим на поверхность земли положительным током,  $20\text{--}25 \text{ нА/м}^2$ .

DOI: 10.31857/S0367676521110144

### ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] были представлены результаты регистрации установкой “Арагац” ночного наблюдения (с 1 на 2 сентября 2019 г.) яркого непрерывного свечения грозных облаков, сопровождаемого значительным возмущением интенсивности гамма-квантов, генерированных электрическим полем. Этот эффект имел место в отсутствие дождя, и, естественно, возникает вопрос об источнике энергии для порождающего процесса. Географически, Арагац и Баксанская нейтринная обсерватория (БНО) ИЯИ РАН расположены в Кавказском регионе, в 340 км друг от друга. Демонстрация того, что в этот период происходило в БНО, посвящена настоящая работа.

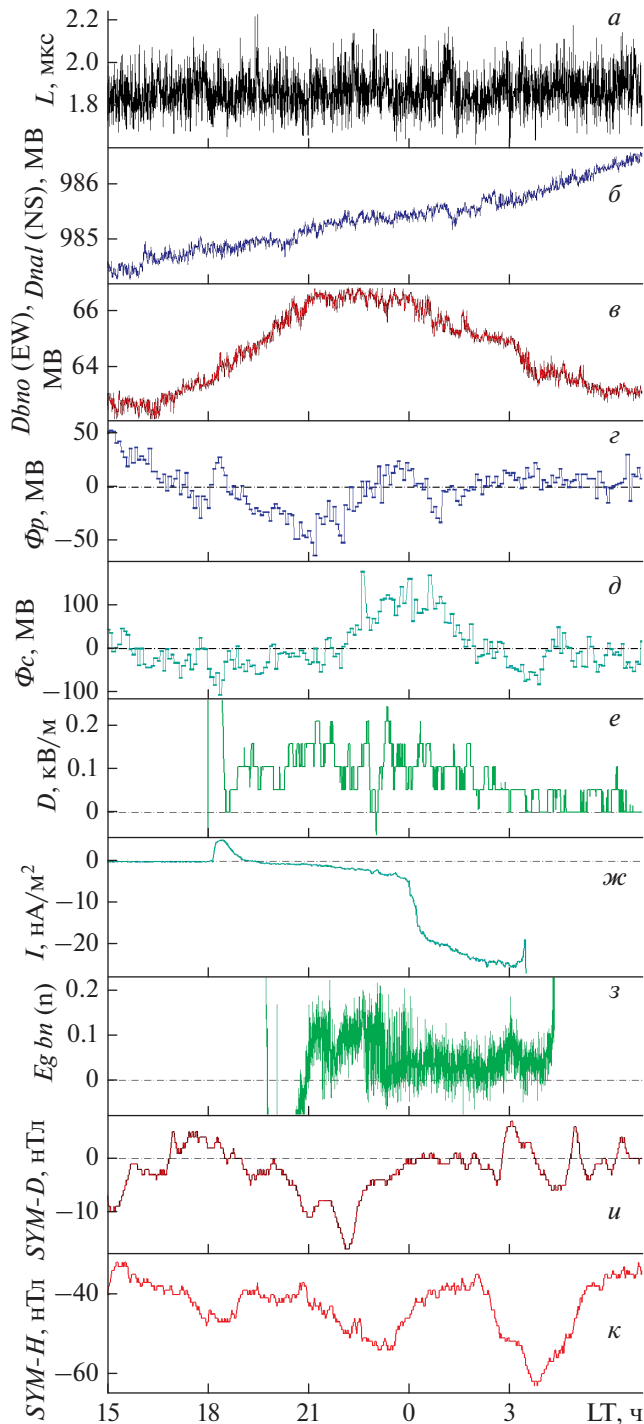
### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЫ

Эксперимент по изучению вариаций космических лучей во время гроз включает комплекс измерительной аппаратуры, размещенный на базе установки “Ковер” БНО ( $43.3^\circ$  с.ш.,  $42.7^\circ$  в.д.). Установка расположена в низине горного ущелья, на высоте 1.7 км над уровнем моря, в 40 м от реки. Соседние вершины гор (4 км над уровнем моря) находятся на расстоянии 4–5 км.

На установке Ковер ведется непрерывная регистрация вторичных частиц космических лучей. По их вариациям во время гроз, методом, разработанным ранее [2, 3], определяется разность потенциалов электрического поля в тропосфере

над установкой и в стороне, по кругу, в радиусе от  $\sim 10$  до  $\sim 20$  км. Ошибка метода  $\sim 20\%$ . Используя одночастотные 6 канальные спутниковые часы GPS170PCI, позволяющие программным образом, в режиме on line, организовать запрос системе спутников GPS на получение от них сигнала точного времени, определяется полное электронное содержание ионосферы (ПЭС) над установкой. В эксперименте измеряется время ( $L$ ), затраченное на исполнение команды. Скважность  $5 \text{ с}^{-1}$ . Используя данные глобальных ионосферных карт [4], метод корреляционного анализа и прямую калибровку возмущения измеряемых задержек по возмущению ПЭС, в момент фазы развития магнитной бури был получен коэффициент связи, отвечающий локальному возмущению ПЭС над установкой и задержке времени исполнения команды  $\beta_{Ne/\Delta L} = 0.195 \pm 0.009$  [ТЕС/нс]. ПЭС измеряют в единицах ТЕС (total electron count).  $1 \text{ ТЕС} = 10^{16}$  электронов/м<sup>2</sup>. Ежесекундно измеряются атмосферное давление, температура, приземная напряженность электрического поля, электрический ток дождя. Регистрируются импульсные электромагнитные помехи.

В 4.5 км от базовой установки в горизонтальном горном тоннеле расположен измерительный комплекс Северокавказской геофизической лаборатории ИФЗ РАН (описание см. в работе [5]). В этой работе используются данные наклонной станции, представленной двумя прецизионными маятниковыми наклономерами, измеряющими угол наклона плоскости постамент



к плоскости горизонта в направлениях Восток–Запад и Север–Юг. Превышение над горизонтом соответствует положительному значению датчиков. Уровень выходного электрического сигнала  $\pm 0.2$  (В/с дуги).

Для непрерывной регистрации оптического свечения над установкой два внешних пункта видео регистрации просматривают область неба с

**Рис. 1.** Событие 01.09–02.09 2019 г. Время местное, опережает мировое на 3 ч. Время на получение сигнала точного времени от системы спутников GPS, усреднение 20 с (а). Вариации наклона земной поверхности в г. Нальчик (NS – направление Север–Юг), 1В соответствует 5 с дуги, усреднение –20 с (б). Вариации наклона земной поверхности в п. Нейтрино (EW – направление Восток–Запад), 1В соответствует 5 с дуги, усреднение 20 с (в). Восстановленная по вариациям “периферийных” мюонов с энерговыделением более 70 МэВ разность потенциалов в тропосфере в стороне (10–20 км) от установки, усреднение 5 мин (г). Восстановленная по вариациям “вертикальных” мюонов с энерговыделением 30–60 МэВ разность потенциалов в тропосфере над установкой, усреднение 5 мин (д). Напряженность приземного электрического поля, усреднение 20 с (е). Электрический ток дождя, усреднение 20 с (ж). Яркость (измерение в каналах) свечения центральной области снимка (п. Нейтрино, скважность 10 с), усреднение 20 с (з). Y-компонента симметричной составляющей магнитного поля [7] (скважность 1 мин), (SYM-D индекс), скважность 1 мин (и). X-компонента симметричной составляющей магнитного поля [7] (скважность 1 мин), (SYM-H индекс), скважность 1 мин (к).

расстояния 0.5 км (п. Нейтрино,  $20^\circ$ – $65^\circ$  над горизонтом, преимущественное направление на юг) и 75 км (село Хасанья,  $0^\circ$ – $50^\circ$  над горизонтом, преимущественное направление на запад). В каждом пункте регистрация проводится двумя камерами в цветном (камера Cs280) и инфракрасном (камера Cs265) диапазонах. Для количественного описания регистрации свечения, определена функциональная связь яркости свечения удаленной непрерывной поверхности со средней яркостью пикселей его изображения на фотографии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 1 представлены графики вариаций различных геофизических параметров, анализируя которые можно понять, что происходило. Наклону 01.09.2019, вечером с 17:30 по 18:45, прошло локальное облако с полем грозового характера. Напряженность приземного электрического поля представлена на рис. 1е. Датчик электрического тока дождя зафиксировал положительный ток, характерный для гроз (рис. 1ж). Само грозовое облако фиксировалось видеокameraми лишь в период с 17:30 по 18:20, в остальное время была обычная погода с небольшой облачностью. С 20:30 фиксировались звезды. Причин формирования в атмосфере значительного заряда не наблюдалось. Вместе с тем разность потенциалов в тропосфере, оцениваемая по вариациям мюонов (над установкой – рис. 1д и на периферии – рис. 1з), на протяжении ночи имела значения характерные для гроз. На расстоянии ~10–20 км друг от друга проходили зарядовые волны разного знака. На графике разности потенциалов периферии отчетливо проявляются следы от импульсных раз-

рядов 21:14, 22:05, 01:00. Правда, шумовой канал их не зарегистрировал, что бывает, если разряд горизонтальный или медленный. Первый разряд обозначил начало роста широкомасштабной положительной составляющей поля. Он совпал с остановкой роста наклона литосферной плиты в районе БНО (рис. 1б). Третий разряд обозначил начало резкого снижения, до переполюсовки, разности потенциалов над установкой. В тот же момент время на получение сигнала от системы спутников GPS (рис. 1а) стало наращивать задержку. Возмущение длилось 20 мин. Максимум,  $120 \pm 3$  нс, был достигнут в 01:10. Соответствующий прирост ПЭС составил  $23.3 \pm 1.2$  ТЕС. В 01:05 случился излом наклона, измеренный в г. Нальчик (рис. 1б). Измеритель электрического тока дождя (рис. 1ж) все это время наращивал отрицательное значение  $\sim -1$  нА/м<sup>2</sup>, а в районе полуночи испытал резкое усиление на  $\sim -20$  нА/м<sup>2</sup>. И это все под небом, на котором камерами засняты звезды. Около 03:00 камера в БНО зарегистрировала усиление свечения всего неба (рис. 1з). Измерены параметры свечения. Предшествующий возмущению фон, в интенсивности фотонов красного цвета ( $R_{630}$  нм):  $0.33 \times (2^{\pm 1})$  кРл, зеленого ( $G_{525}$  нм):  $1.53 \times (2^{\pm 1})$  кРл, синего ( $B_{430}$  нм):  $= 4.50 \times (2^{\pm 1})$  кРл. В фотометрических единицах, соответственно,  $R$ :  $1.51 \times (2^{\pm 1}) \times 10^{-5}$  [кд/м<sup>2</sup>],  $G$ :  $2.47 \times (2^{\pm 1}) \times 10^{-4}$  [кд/м<sup>2</sup>],  $B$ :  $1.31 \times (2^{\pm 1}) \times 10^{-5}$  [кд/м<sup>2</sup>]. Суммарно:  $2.7 \times (2^{\pm 1}) \times 10^{-4}$  [кд/м<sup>2</sup>]. Это соответствует обычной яркости ночного безлунного неба. Здесь ( $2^{\pm 1}$ ) — методическая ошибка, определенная при калибровке измерений, полученная в логарифмическом масштабе, одинаковая для всех цветов. Максимум свечения в виде острого пика пришелся на момент 03:03. Статистически значимая максимальная амплитуда возмущения, оцененная за период 03:02–03:04, выражена в процентах фоновой яркости имеет значения:  $R$ :  $(3.53 \pm 0.32)\%$ ,  $G$ :  $(3.20 \pm 0.42)\%$ ,  $B$ :  $(4.22 \pm 0.65)\%$ . Суммарно, в фотометрических единицах:  $0.9 \times (2^{\pm 1}) \times 10^{-5}$  [кд/м<sup>2</sup>]. Глазом эффект не заметен. Камера в с. Хасанья эффект не выделяет, по причине городской засветки. Эффективный период возмущения, 02:50–03:20, взятый на полувысоте от максимальной яркости, совпал с периодом временной стабилизации кольцевого тока магнитосферы, динамику которого отражают вариации индекса *SYM-H* (см. рис. 1к). Пиковое значение свечения совпало с максимумом межполушарного тока (индекс *SYM D* (см. рис. 1и) и началом резкого спада отрицательных показаний измерителя тока дождя до момента 03:30. Обычно, в хорошую погоду, примерно в это время, утренняя роса нарушает электрическую изоляцию антенны датчика измерителя тока.

Поскольку ночью были видны звезды, а утром наблюдалось выпадение росы, т.е., выполнялись

условия “хорошей погоды”, надо признать, что поля в тропосфере, измеренные по вариациям мюонов и измерителем приземного поля, сформированы зарядами, распределенными в земле. А импульсные разряды 21:14, 22:05, 01:00 — подземные. В работе [6] сообщается что при сжатии гранитной плиты до 10% от разрушающего напряжения регистрировались электрические токи до 50 нА/м<sup>2</sup>. Колебание литосферной плиты, измеренное наклономером в БНО (рис. 1б), демонстрирует случай сжатия при столкновении. Равномерный наклон в одну сторону, сменился наклоном в обратную. В промежутке — период постепенного смятия граней. В этот период должно произойти разделение зарядов. Положительный выходит из зоны сжатия, от сильного к меньшему, отрицательный остается, формируя над установкой положительное поле. Тот факт, что длительность периода смятия плиты (3.5 ч) совпадает с периодом аномального положительного тока из земли в атмосферу, дает основание считать, что это тот самый “отжатый” положительный заряд. Транспортное время 3 ч требует объяснений. По-видимому, именно его выход к поверхности земли в Армении спровоцировал сейсмическую грозу, а в БНО вызвал диффузное свечение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зарегистрировано свечение ночного неба во время глобальных магнитосферных возмущений на широте 43° с.ш. на фоне звезд. Период максимального свечения совпал с периодом стабилизации кольцевого тока, пиковое значение — с максимумом межполушарного. Свечению предшествовала местная сейсмическая активность, сгенерировавшая подземный отрицательный заряд выходящим на поверхность земли положительным током, 20–25 нА/м<sup>2</sup>. Этот ток был скомпенсирован межполушарным током.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chilingarian A. et al.* // Phys. Rev. Res. 2019. V. 1. Art. No. 033167.
2. *Khaerdinov N.S., Lidvansky A.S.* // J. Phys. Conf. Ser. 2013. V. 409. Art. No. 012230.
3. *Хаердинов М.Н., Хаердинов Н.С., Лидванский А.С.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2017. Т. 81. № 2. С. 246; *Khaerdinov M.N., Khaerdinov N.S., Lidvansky A.S.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2017. V. 81. No. 2. P. 226.
4. <https://www.izmiran.ru/ionosphere/weather/cat>.
5. *Собисевич А.Л., Гриднев Д.Г., Собисевич Л.Е. и др.* Природные процессы, геодинамика, сейсмогеотектоника и современный вулканизм Северного Кавказа. Нальчик: КБГУ, 2008. С. 274.
6. *Freund F.* // J. Asian Earth Sci. 2011. V. 41. No. 4–5. P. 383.
7. [http://isgi.unistra.fr/indices\\_asy.php](http://isgi.unistra.fr/indices_asy.php).

**Midlatitude night sky glow disturbance under fair weather conditions****N. S. Khaerdinov<sup>a,\*</sup>, D. D. Dzhappuev<sup>a</sup>, K. Kh. Kanonidi<sup>a</sup>, A. U. Kudzhaev<sup>b</sup>,  
A. N. Kurenya<sup>a</sup>, A. S. Lidvansky<sup>a</sup>, and V. B. Petkov<sup>a</sup>**<sup>a</sup>*Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 117312 Russia*<sup>b</sup>*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 108840 Russia**\*e-mail: khaerdinovns@yandex.ru*

A night sky glow has been detected during global magnetosphere disturbances at latitude of 43° N. The glow was preceded by seismic activity, which had generated an underground negative charge through 20–25 nA/m<sup>2</sup> current going out of the ground.