

УДК 53.082

## ВАРИАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ В 2021 г. ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

© 2022 г. А. К. Морзабаев<sup>1</sup>, В. С. Махмутов<sup>2,3</sup>, Е. А. Тулеков<sup>1</sup> \*, В. И. Ерхов<sup>2</sup>, М. В. Филиппов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, Москва, Россия

\*[yerzhan\\_ta@mail.ru](mailto:yerzhan_ta@mail.ru)

Поступила в редакцию 28.02.2022 г.

После доработки 02.05.2022 г.

Принята к публикации 04.05.2022 г.

В данной работе исследуются вариации вторичных космических лучей совместно с изменениями характеристик приземного электрического поля и метеорологических параметров приземной атмосферы. Данные наземного комплекса, установленного в Евразийском национальном университете имени Л.Н. Гумилева (ЕНУ), позволяют проводить исследования природы вариаций космических лучей на разных временных масштабах и могут качественно дополнить мировой банк данных наряду с данными существующей сети наземных детекторов потоков вторичных космических лучей. Экспериментальные данные комплекса размещены в открытом доступе на сайте университета <https://enu.kz>.

DOI: 10.31857/S0023420622060073

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В процессах, происходящих в атмосфере, влияющих на климат и погоду космические лучи представляют важную роль и обуславливают свойства глобальной электрической цепи Земли. Исследование физической природы вторичных космических лучей, а также их возможного влияния на атмосферные процессы на разных временных масштабах является, в связи с этим, крайне актуальным.

Одна из фундаментальных задач изучения физики атмосферы — исследование атмосферного электричества. Принято считать, что все проявления атмосферного электричества и его взаимосвязи с галактическими космическими лучами и метеоусловиями обусловлены, в основном, электрическим полем (включая условия “*fair weather*”). Непрерывное наблюдение характеристик атмосферного электрического поля особенно актуально для исследования влияния конвекции на электрическую проводимость в приземном атмосферном слое, зависимости от интенсивности потока космических лучей, электрических процессов, происходящих в атмосфере, свойств глобальной электрической цепи.

### 2. МЕТОДЫ

В 2015 г. в Евразийском национальном университете имени Л.Н. Гумилева (ЕНУ), в содру-

жестве с Физическим институтом им. П.Н. Лебедева РАН, был создан научный космофизический комплекс [1, 2], состоящий из двух детекторов CARPET, Нейтронного детектора [3] и электростатического флюксметра EFM-100 (Voltek, США).

EFM-100 предназначен для исследования атмосферно-электрических характеристик вблизи поверхности Земли и мониторинга электрического поля атмосферы [4]. В основу работы этого устройства положен принцип действия электростатического генератора: в проводнике, находящемся в переменном электрическом поле, возникают индуцированные заряды. Величина индукционного тока прямо пропорциональна напряженности поля. Он также регистрирует разряды гроз и способен детектировать высокую напряженность электрического поля, которая предшествует первым разрядам молний.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика измерений экспериментальных данных комплекса ЕНУ и типичные ряды данных электрического поля, полученные на других станциях, показывают характерную периодичность поведения электрического поля в условиях “*fair weather*”, которая обусловлена воздействием потоков космических лучей, изменением баланса ионов во время заката и восхода Солнца и др.

Таблица 1. Сводные данные по событиям июля 2021 г.

Дата	Время (UTC)	КОВЕР, А%						НД, А%	$\Delta E$ , кВ/м	Метеоусловия (UTC)		
		CARPET 1			CARPET 2					гроза	ливни, дожди	облака, высота
		N1-Up	N2-Low	N12-Tel	N1-Up	N2-Low	N12-Tel					
6.VII.2021	~04.00–07.00	~2.1	~1.1	–	~1.2	~1.0	~2.1	–	~–7.5...+10.5	~04.45–05.20	~02.30–03.00, ~05.00–05.30	~900–1500 м
8.VII.2021	~18.30–22.30	~1.2	~1.2	–	~1.5	~1.5	–	–	~–19.5...+12.5	~13.05–20.30	~17.30–21.00	~900–1500 м
10.VII.2021	~00.00–05.00	~1.9	~1.3	–	~2.4	~2.3	–	–	Нет данных	~00.00–01.30	~00.00–00.10	~1380 м
14.VII.2021	~00.00–14.30	~2.1	~2.1	–	~17.8	~16.2	–	–	~–1.5...+0.1	–	~00.00–01.30, ~02.30–04.00, ~05.00–05.30, ~06.00–09.00, ~10.00–10.30, ~12.00–13.00	~270–900 м
16.VII.2021	~00.00–04.30	–	–	–	~4.3	~4.1	~2.4	–	~–7.5...+2.5	–	~00.00–02.00, ~02.50–03.10, ~07.30–08.00	~180–1290 м
17.VII.2021	~19.00–23.30	~1.1	~2.1	–	~7.4	~6.8	~4.0	–	~–16.5...+8.5	–	~18.00–19.30, ~20.30–21.00, ~22.30–23.00	~1200 м

В формировании атмосферного электрического поля важную роль играет космические лучи, оказывающие ионизирующее воздействие [5].

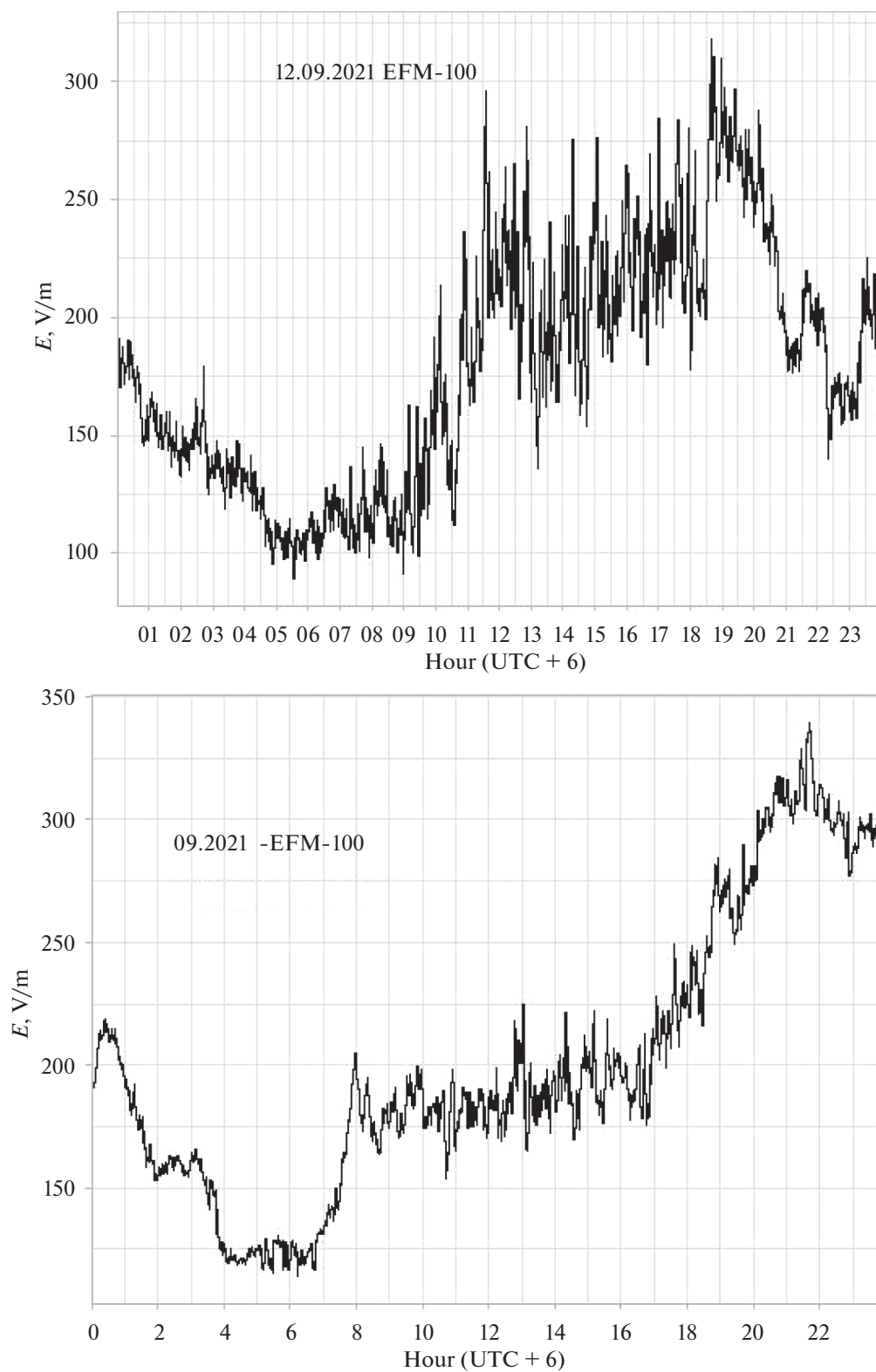
Как видно на рис. 1, величина атмосферного электрического поля возрастает во время восхода Солнца при проявлении эффекта солнечного терминатора. При этом, особо отмечается вечерний солнечный терминатор.

На рис. 2 и 3 представлены графики некоторых случаев регистрации резкого повышения темпа счета детекторов CARPET при регистрации гроз флюксметром EFM-100. Дополнительное сопоставление метеоданных и данных EFM-100 показывает, что значительные вариации электрического поля происходят не только во время грозовой активности, но и при наличии плотной (мощной) облачности.

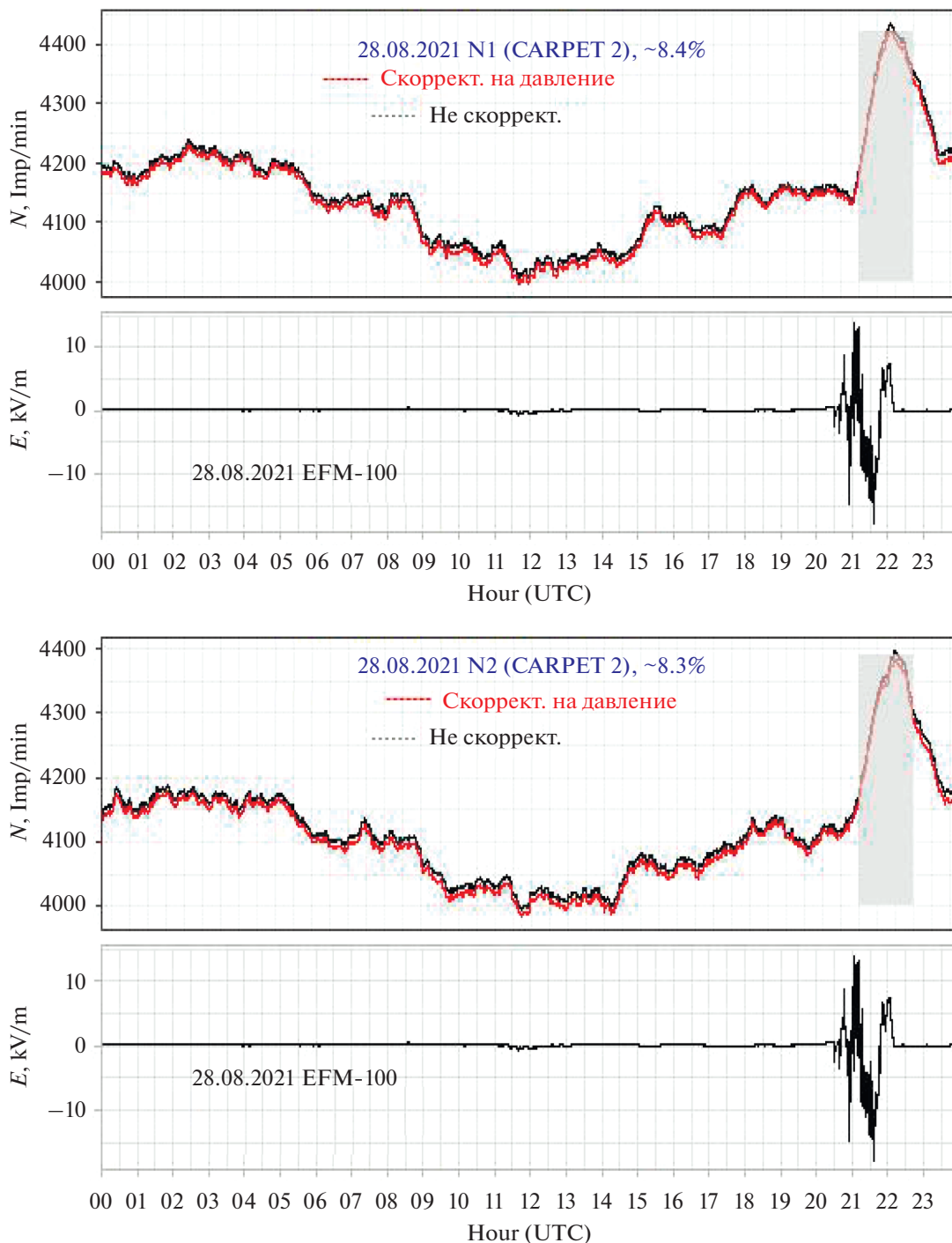
Начиная с июля 2021 г. один из двух модулей установки (CARPET 2) смонтирован на крыше космофизического комплекса ЕНУ возле детектора EFM-100. Другой модуль установки функционирует внутри помещения (CARPET 1). Такая конфигурация аппаратуры позволяет получить дополнительную информацию по динамике потока общеионизирующей компоненты вторичных космических лучей: были зафиксированы возрастания потоков частиц в дни, характеризующиеся резкими, кратковременными изменениями напряженности приземного электрического поля, грозовой и предгрозовой активностью.

События июля 2021 г., связанные с резким изменением параметров приземного электрического поля и характеристики изменений потоков частиц, приведены в табл. 1: для каждого события указаны дата и интервал времени наблюдения (UTC), амплитуды возрастаний темпа счета детектора CARPET для двух модулей по всем трем каналам (верхний – N1, нижний – N2, телескоп – N12) и нейтронного детектора (ND) относительно спокойного невозмущенного уровня. Указан диапазон изменения напряженности электрического поля ( $\Delta E$ ), по данным измерений электрического поля флюксметром EFM-100. Метеорологические условия для приведенных событий определены по данным метеостанции (UACC) – аэропорт г. Нур-Султан.

Всего в июле 2021 года зафиксировано шесть событий возрастания скорости счета модулей CARPET 1, CARPET 2 в каналах N1, N2, N12. Из которых три события зафиксированы до перемещения модуля CARPET 2 на крышу лабораторного корпуса (события 06.07.2021, 08.07.2021 и 10.07.2021). При перемещении модуля CARPET 2 на крышу лабораторного корпуса изменилась структура получаемых данных, за счет снятия эффекта экранирования потока, в основном низкоэнергичных частиц для данного модуля. Также стоит отдельно отметить, что по данным установки ND возрастания темпа счета ни для одного из событий зафиксированы не были.



**Рис. 1.** Вариации электрического поля по данным комплекса ЕНУ: верхний график – данные о вариациях напряженности приземного электрического поля за 12.09.2021 с усреднением за 1 мин, нижний график – суточные вариации напряженности приземного электрического поля, полученные с помощью метода наложения эпох по данным за сентябрь 2021 г. (при условии “*fair weather*”).



**Рис. 2.** События регистрации увеличения потоков космической лучей во время изменения электрического поля в период 28.08.2021 (минутные значения, скорректированные на давление, сглаживание кривой по 30 точкам, прямоугольник серого цвета – период осадков).

#### Событие 08.07.2021

На рис. 4 для события 08.07.2021 приведены данные темпа счета модулей CARPET 1, CARPET 2 по каналам N1, N2 с поправкой и без поправки на атмосферное давление и величины напряженности электрического поля с секундным разрешением.

Грозовая и предгрозовая активность анализировалась по данным метеостанции (UACC) – аэропорт г. Нур-Султан. Грозовая активность зафиксирована в период с ~13.05 до ~20.30 (UTC). За этот период зарегистрировано 18 грозовых событий.

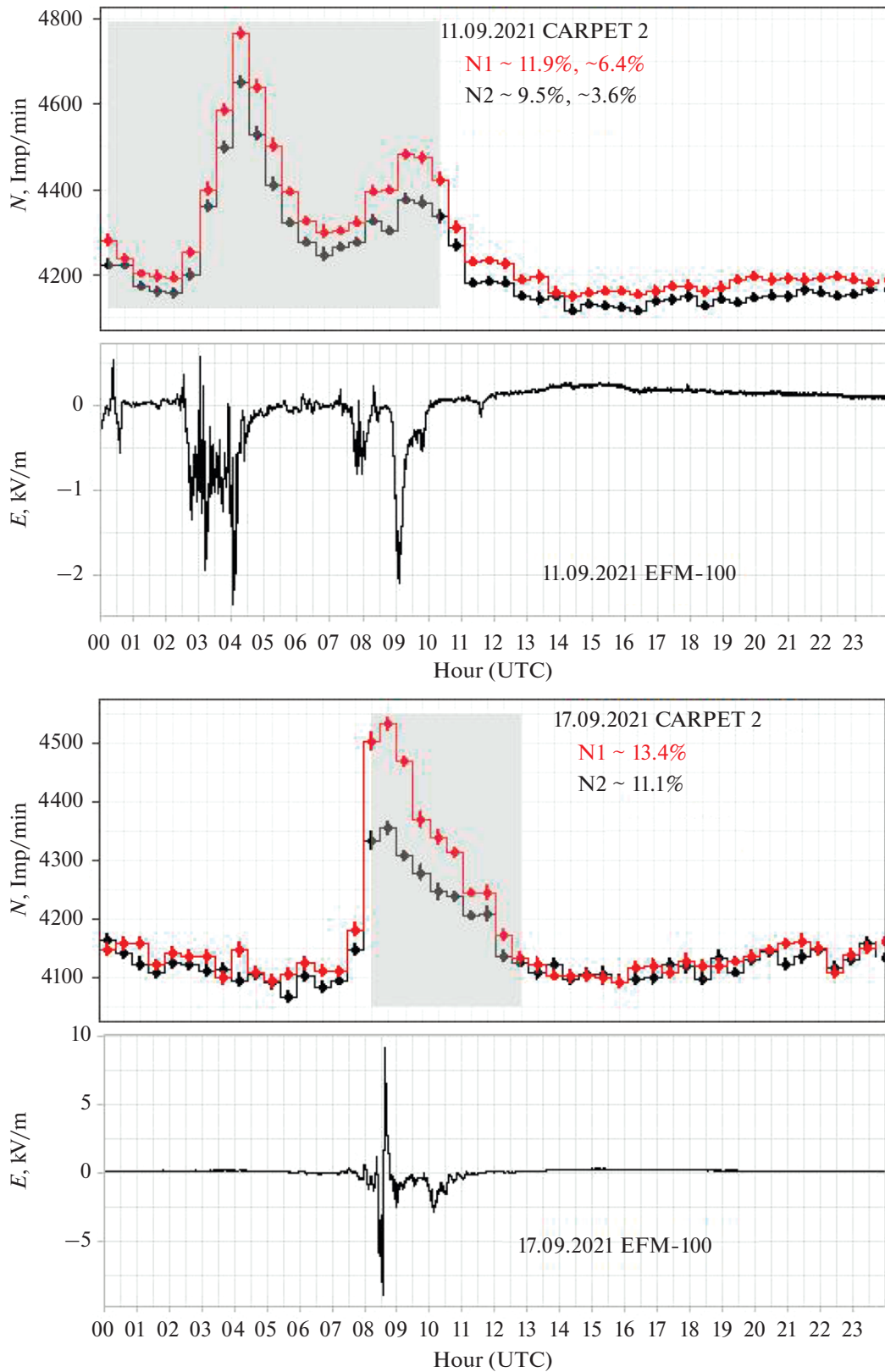


Рис. 3. Увеличение счета N1, N2 для случаев грозовой и предгрозовой активности, зарегистрированное 11 и 17-го сентября 2021 г. (поправленные на давление, усреднение 30 мин, прямоугольник серого цвета отмечает период осадков).

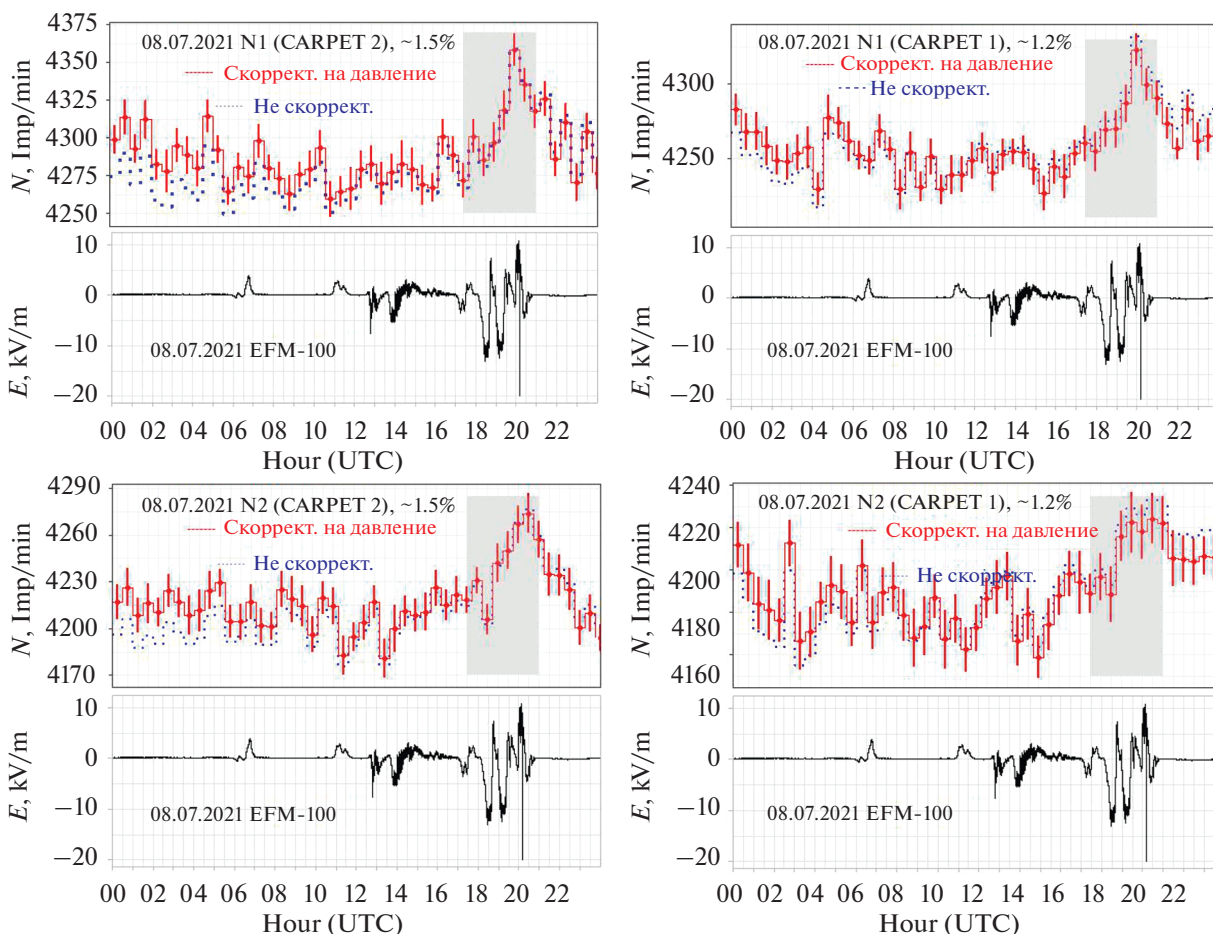


Рис. 4. Графики изменения значений счета модулей CARPET 1, CARPET 2 по каналам N1, N2 для события от 08.07.2021 (скорректированные на давление, усреднение 30 мин, прямоугольник серого цвета – период осадков).

В период регистрации превышения темпа счета CARPET 1 и CARPET 2 наблюдалась облачность в диапазоне высот  $\sim 900$ – $1500$  метров (разорванная облачность (60–90%), кучево-дождевые облака) и осадки  $\sim 17.30$ – $21.00$  UTC (слабые ливни, дождь, гроза).

Как было отмечено выше, для изучения физических свойств атмосферного электрического поля необходимо исследовать его взаимосвязь с гелиофизическими воздействиями Солнца и вариациями космических лучей. При этом, представляется интересным сравнить и установить корреляцию между  $E_z$  и интенсивностью потока космических лучей. Так, в работе [6] отмечено увеличение интенсивности космических лучей в атмосфере Земли, сопровождающееся ростом облачности. Это связано с возможным влиянием вторичных космических лучей на формирование индуцированных аэрозолей, перераспределением ядер конденсации в электрическом поле атмосферы и образованием мезосферных и стратосферных облаков. Связь потока космических лучей с другими величинами особенно хорошо

проявляется во время понижений его интенсивности, в частности в периоды регистрации Форбуш-понижений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ полученных предварительных экспериментальных данных наблюдений, показывает, что установки экспериментального комплекса ЕНУ им. Л.Н. Гумилева позволяют исследовать природу вариаций космических лучей [7], а также их связь с атмосферными процессами на разных временных масштабах.

Сбор и автоматическое сохранение данных детектора заряженных частиц CARPET, Нейтронного детектора (ND) и флюксметра EFM-100 на базе ЕНУ в г. Нур-Султан является необходимым фактором в изучении геофизических процессов и в решении многих практических задач.

Данные наземного комплекса также позволяют проводить долговременные измерения и могут качественно дополнить общемировой банк дан-

ных наряду с данными существующей сети наземных детекторов.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была поддержана программой ПЦФ ИРН BR10965191 “Комплексные исследования по ядерной и радиационной физике, физике высоких энергий и космологии для развития конкурентных технологий” Министерства образования и науки Республики Казахстан.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Philippov M.V., Makhmutov V.S., Stozhkov Yu.I. et al.* Characteristics of the ground-based CARPET-ASTANA instrument for detecting charged component of cosmic rays and preliminary analysis of the first experimental data // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A.* 2020. V. 959. P. 163567. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.163567>
2. *Тулехов Е.А., Махмутов В.С., Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Морзабаев А.К., Филиппов М.В., Ерхов В.И., Дюсембекова А.С.* // Наземная установка для изучения вариаций космических лучей в городе Нур-Султан. *Геомagnetизм и аэрономия*, 2020. Т. 60. № 6. с. 704–709. (*Tulekov E.A., Makhmutov V.S., Bazilevskaya G.A. et al.* Ground-based Instrument for the Study of Cosmic Ray Variation in Nur-Sultan // *Geomagnetism and Aeronomy.* 2020. V. 60. № 6. P. 693–698. <https://doi.org/10.1134/S0016793220060134>  
<https://doi.org/10.31857/S0016794020060139>
3. *Филиппов М.В., Махмутов В.С., Стожков Ю.И. и др.* Наземная установка для детектирования нейтральной компоненты космических лучей “Нейтронный детектор” // *Приборы и техника эксперимента.* 2020. № 5. С. 96–103. (*Philippov M.V., Makhmutov V.S., Stozhkov Yu.I., and Maksumov O.S.* // *Instrum Exp Tech.* (2020), V. 63. № 3. P. 388–395. <https://doi.org/10.1134/S0020441220030033>  
<https://doi.org/10.31857/S0032816220050298>
4. *Tulekov Ye.A., Morzabaev A.K., Makhmutov V.S. et al.* Variations of cosmic rays in the period 2016–2019 according to observations of the ENU experimental complex // *Bulletin of L.N. Gumilyov ENU. Physics. Astronomy Series.* 2020. V. 133. № 4. P. 79–95. <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2020-133-4-79-85>
5. *Tulekov Ye.A., Morzabaev A.K., Makhmutov V.S. et al.* Study of the electric field variation based on preliminary observations at the ENU cosmophysical complex in 2020 // *Bulletin of the Karaganda University.* 2021. V. 102. № 2. P. 693–698. <https://doi.org/10.31489/2021Ph2/25-32>
6. *Лапшин В.Б., Панышин Е.А., Сыроешкин А.В.* Гелиогеофизические процессы и климат // *Мир измерений.* 2013. № 2. С. 7–10.
7. *Tulekov Ye.A., Morzabaev A.K., Makhmutov V.S.* The Forbush-decreases in cosmic ray fluxes and Solar-proton events in July and September 2017 // *Recent Contributions to Physics.* 2021. V. 77. № 2. P. 10–17. <https://doi.org/10.26577/10.26577/RCPH.2021.v77.i2.02>