КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ПОТОКА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ КАК ИНДИКАТОР И ПРЕДВЕСТНИК АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Василенко Т.А.¹, Кириллов А.К.²

¹*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*

²*Институт физики горных процессов НАН Украины, Днепр, Украина*

QUASIPERIODIC OSCILLATIONS OF COSMIC RAY FLUX AS INDICATOR AND PREDICTOR OF FAILURE EVENTS IN COAL MINES

Vasilenko T.A.¹, Kirillov A.K.²

¹*St. Petersburg's Mining University, St. Petersburg, Russia*

²*Institute for Physics of Mining Processes of NAS Ukraine, Dnipro, Ukraine*

The paper reports the results of the analysis of the power spectra of the time series of the cosmic-ray flux intensity according to the data of the neutron monitor for the period of May 2–7, 2018 in order to find the relation of the failure events in a coalmine and external factors. The data on the space weather over the period under review demonstrate that fluctuations in the time series of the intensity of galactic cosmic rays reflect their modulation by the processes occurring in the interplanetary space that are observed during the passage of the coronal hole through the center of the visible disk of the Sun. Namely, an acceleration of the solar wind and a change in the polarity of the interplanetary magnetic field were recorded on the day of a rock caving in a mine.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-79-82

Введение

Имеется достаточно исследований, устанавливающих связи солнечной активности с явлениями во всех слоях земной атмосферы, магнитосферы и литосферы. Установлены надежные связи таких событий как солнечные хромосферные вспышки и изменения физических параметров земной атмосферы и литосферы для высокоэнергетических процессов на Солнце. Менее убедительны такие связи, и отсутствуют разработанные физические механизмы для событий на низком энергетическом уровне. Поэтому представляют интерес любые исследования, доказывающие наличие триггерного воздействия солнечной активности на процессы в литосфере [1].

Ранее нами показано наличие таких связей для аварий на угольных шахтах Украины, Польши и Казахстана [2]. Они относятся к событиям, которые классифицируются как внезапные выбросы угля и метана.

Событие на шахте им. Кирова СУЭК относится к другому классу – обрушению. Оно совпало по времени с развитием ряда событий в околоземном пространстве, связанных с проявлением солнечной активности. Ниже приводятся данные и их анализ, основанный на концепции развития

аварийных ситуаций в результате воздействий комплекса внешних факторов, инициированных активными процессами на Солнце.

В минимуме цикла солнечной активности чрезвычайно редко происходят вспышки на Солнце, протонные события высокой мощности. Тем не менее, возможны отклики атмосферы и литосферы Земли на события малой мощности: ускорение солнечного ветра из экваториальных корональных дыр, смена полярности ММП, слабые магнитные бури и суббури. Одним из индикаторов таких событий является изменение потока галактических космических лучей, модулированное потоками солнечного ветра. В последнее время получены свидетельства изменения параметров спектра потока мюонов, регистрируемых на станциях космических лучей [3] во время мощных солнечных вспышек. Использование такого подхода при анализе аварий на угольных шахтах было продемонстрировано нами ранее [2].

Обрушение в шахте им. С.М. Кирова

В апреле 2018 г. при регистрации импульсов электромагнитного излучения с помощью комплекса геофизической аппаратуры ANGEL-M [4] при прохождении Вентиляционной печи лавы 2462 угольного пласта Болдыревский (Кузнецкий угольный бассейн) 26 апреля 2018 г. было зафиксировано изменение амплитуды сигнала приемником, что свидетельствовало об изменении свойств горных пород. Согласно измерениям ЕЭМИ (естественной электромагнитной эмиссии) в этой области амплитуда сигнала достигала минимальных значений для X – компоненты, а показатель B , характеризующий наклон спектра мощности, был максимальным при прохождении вдоль вентиляционной печи. Предположение о расположении в этой области зоны ослабленной трещиноватой породы подтвердилось дальнейшими событиями. В ночь на 5 мая произошло обрушение без каких-либо дополнительных воздействий на угольный пласт и завал выработки на отрезке с отметкой от 320 м до монтажной камеры (длина обрушения 120 м).

Метод исследования

Основная идея метода исследования заключается в анализе изменения спектра мощности флуктуаций потока нейтронной компоненты вторичных космических лучей, регистрируемых на нейтронном мониторе в Oulu (Финляндия) в дни, близкие к событию 5 мая 2018 г. Анализировались спектральные компоненты спектров за 2–7 мая, исправленные за вариации атмосферного давления.

Данные, полученные с интервалом 1 мин., были разбиты по суткам от 0 час 00 мин по 23 час 59 мин UTC. При построении амплитудных спектров использовали метод БПФ с окном Хэмминга. После построения спектра вычисляли его среднее значение и среднеквадратическое отклонение

от среднего – σ . Спектральные компоненты в суточных спектрах считали значимыми, если его мощность превышала среднее значение на 3σ . Аналогичный подход использовали для исходных спектров, а также сглаженных скользящими средними по пяти точкам. Тем самым определяли наиболее значимые спектральные компоненты, превышающие флуктуации шума.

Анализ вариаций квазипериодических компонент

Наиболее мощные квазипериодические колебания **2 мая** в спектре космических лучей наблюдались в интервале 2–8 мин (рис. 1.) Однако после сглаживания данных из семи значимых компонент остались только три, имеющие периоды 7.6; 6.1; 3.4 мин.

Рис. 1. Спектры мощности 2 мая (а) и 7 мая (б).
По горизонтальной оси указаны номера гармоник.

Накануне события **5 мая** в шахте наблюдалось увеличение значимых периодов. Согласно исходным временным рядам **4 мая** появились компоненты с периодами 18.1 и 14.4 мин. Сглаживание данных привело к тому, что значимой из них осталась только одна компонента спектра с периодом 14.1 мин. Наиболее высокий пик в сглаженном спектре соответствует компоненте с периодом 4 мин.

5 мая наиболее мощные компоненты в спектре колебаний потока космических лучей преобладали в области периодов 5–9 мин. Самая мощная из них имела период 8.9 мин. Вместе с ней в сглаженном спектре сохранили значимость периоды 7.3 и 6.4 мин.

На следующий день (**6 мая**) после события в шахте в спектре колебаний потока космических лучей произошли существенные изменения. Хотя в исходном спектре были выделены четыре гармоники колебаний в области периодов 5–10 мин, после сглаживания все они оказались ниже уровня шумов и не являлись значимыми.

На вторые сутки (**7 мая**) после обрушения в шахте восстановились колебательные процессы в потоке космических лучей в интервале периодов 3–8 мин, превышающие уровень значимости. Однако появились более низкочастотные квазипериодические колебания с периодом 41 мин в ис-

ходном временном ряду. Статистически значимым оказался и период 31 мин в сглаженном спектре (рис. 1б).

Данные о космической погоде

Состояние солнечной и геомагнитной активности за период 4–9 мая характеризовалось как возмущенное (рис. 2а) согласно данным Центра прогноза космической погоды в Боулдере и ИЗМИРАН. Именно 5 мая произошла смена полярности ММП (+/–). Зарегистрирована умеренная магнитная буря длительностью 15 час с 5 на 6 мая, которая явилась результатом высокоскоростного потока солнечного ветра от транс-экваториальной корональной дыры, достигшего орбиты Земли вместе с секторной границей ММП (рис. 2б).

Рис. 2.
а – Геомагнитная активность (индекс A_p) 1–9 мая 2018 г.;
б – Скорость солнечного ветра по данным ACE 4–9 мая 2018 г.

Выводы

Из данных о состоянии космической погоды за рассматриваемый период времени следует, что флуктуации временных рядов интенсивности галактических космических лучей отражают их модуляцию процессами, происходящими в межпланетном пространстве, которые наблюдались при прохождении корональной дыры через центр видимого диска Солнца: ускорением потока солнечного ветра и сменой полярности межпланетного магнитного поля. В дни, близкие к моменту обрушения породы в шахте, происходило увеличение периодов колебаний показаний нейтронного монитора, что может служить предвестником аварийных ситуаций в шахтах.

Литература

1. Сычева Н.А. и др. Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 22–24 июня 2010 г.): материалы Всероссийского семинар-совещания / Ин-т динамики геосфер РАН; под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. – М.: ГЕОС. 2010. – С. 326–335.
2. Kirillov A.K., Kirillova N.G. Актуальные проблемы современного естествознания. Материалы 3-й Международной конференции ИНТЕРНАС'2007 22–25 мая, 2007, Калуга, Россия. – Изд. КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2007. – С. 93–97.
3. Борог В.В. и др. / Известия РАН. сер. Физическая, 2017, Т. 81, № 2, С. 216–218.
4. Панин С.Ф. и др. / Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Сб. научн. трудов под общ. ред. Фрянова В.Н. 2014. С. 369–376.