

УДК 551.509.33

## ВАРИАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ПЕРЕД МОЩНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

© 2021 г. В. В. Борог<sup>1</sup>, \*, С. Ф. Тимашев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
“Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ”, Москва, Россия

\*E-mail: vvorog@mephi.ru

Поступила в редакцию 21.06.2021 г.

После доработки 05.07.2021 г.

Принята к публикации 28.07.2021 г.

Обнаружено, что перед мощными землетрясениями (магнитуда  $M \approx 8$ ) возникают вариации потока космических лучей в большинстве нейтронных мониторов мировой сети, расположенных на разных континентах. Надежные данные, получаемые с помощью методики фликкер-шумовой спектроскопии, проявляются за несколько суток до землетрясений и могут служить основой для создания предиктора первого уровня.

DOI: 10.31857/S0367676521110077

### ВВЕДЕНИЕ

Классические методы геофизических измерений не позволяют получить заблаговременные предикторы даже мощных землетрясений. В настоящее время разрабатывается ряд косвенных методик, связанных с регистрацией изменений в смежных средах (литосфера-атмосфера-ионосфера) на последней стадии подготовки землетрясений [1, 2].

Во многих работах наблюдались изменения свойств нижней ионосферы в  $F$ -слое за счет роста концентрации слоя электронов, например [3]. Это связано с возрастанием температуры над областью формирования землетрясения. Размеры таких возмущений могли составлять несколько сотен км. Время упреждения в разных работах получается от часов до нескольких суток. В работе [4] получены изменения характеристик внутренних гравитационных волн (ВГВ) в нижней стратосфере за 4–5 сут до проявления землетрясений с магнитудами  $M \approx 6$ . Источником изменений длин волн являлись возрастания температуры над эпицентром формирования событий. В [5, 6] показано, что для ряда сейсмических районов в Азии возникали аномалии температуры за 1–5 сут в нижней стратосфере перед землетрясениями ( $M \approx 5$ –6) для 15 событий с эффективностью 70%. Для  $M > 6.5$  опережение составляло 1–8 сут для всех 10 землетрясений. Температурные аномалии наблюдались в переходном слое тропосфера-стратосфера на площади в несколько тысяч км<sup>2</sup>. Вейвлет-анализ временных рядов указывал на генерацию волновых процессов. Все полученные

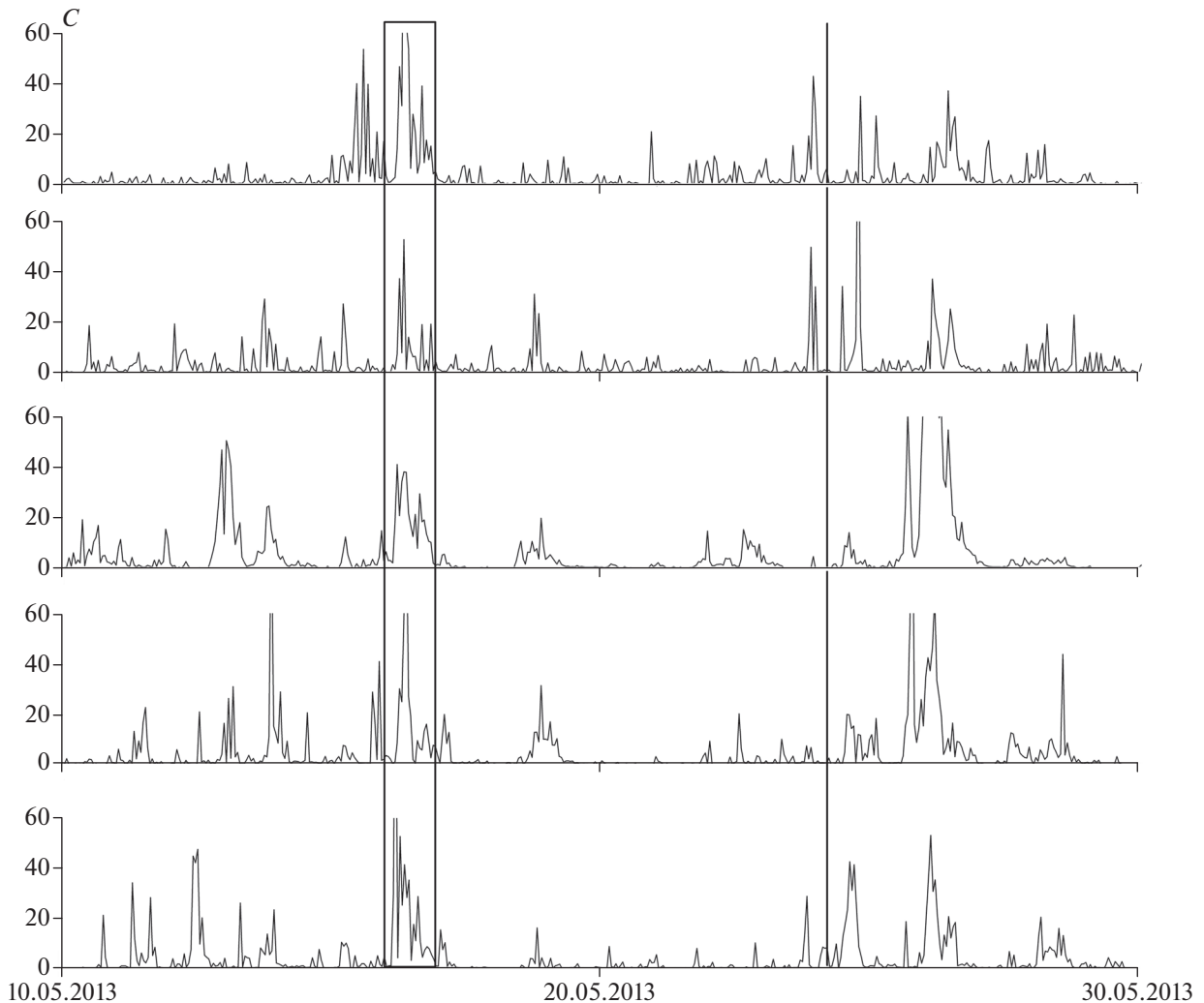
температурные данные формировались фрагментарно и связаны с особенностью спутниковых наблюдений.

Таким образом, излучаемая в стратосферу тепловая энергия, на стадии подготовки высокоэнергичных землетрясений, как правило, вызывает генерацию в атмосфере ВГВ. Волны, по каналам проводимости, могут распространяться на тысячи км от источника [7, 8]. Процессы такого типа должны приводить к метеоэффектам в космических лучах (КЛ) и вызывать вариации потока вторичных частиц, достигающих уровня земли.

### МЕТОДИКА

Мировая сеть наземных нейтронных мониторов (НМ) представляет собой распределенный детектор, работающий в непрерывном режиме и способный дистанционно реагировать на барометрические эффекты волновых процессов ВГВ, связанных с подготовкой землетрясений. Такая взаимосвязь должна возрасти с увеличением мощности процессов. Учитывая современные представления о блоковой структуре верхней литосферы [9] и фрактальном характере пространственного накопления энергии [10], можно ожидать, что генерация ВГВ на последних стадиях перед мощными землетрясениями ( $M \approx 8$ ) произойдет в разных местах Земли. В связи с этим следует ожидать синхронный отклик многих НМ, расположенных далеко друг от друга.

Процесс формирования землетрясения представляет собой стохастическую систему открыто-

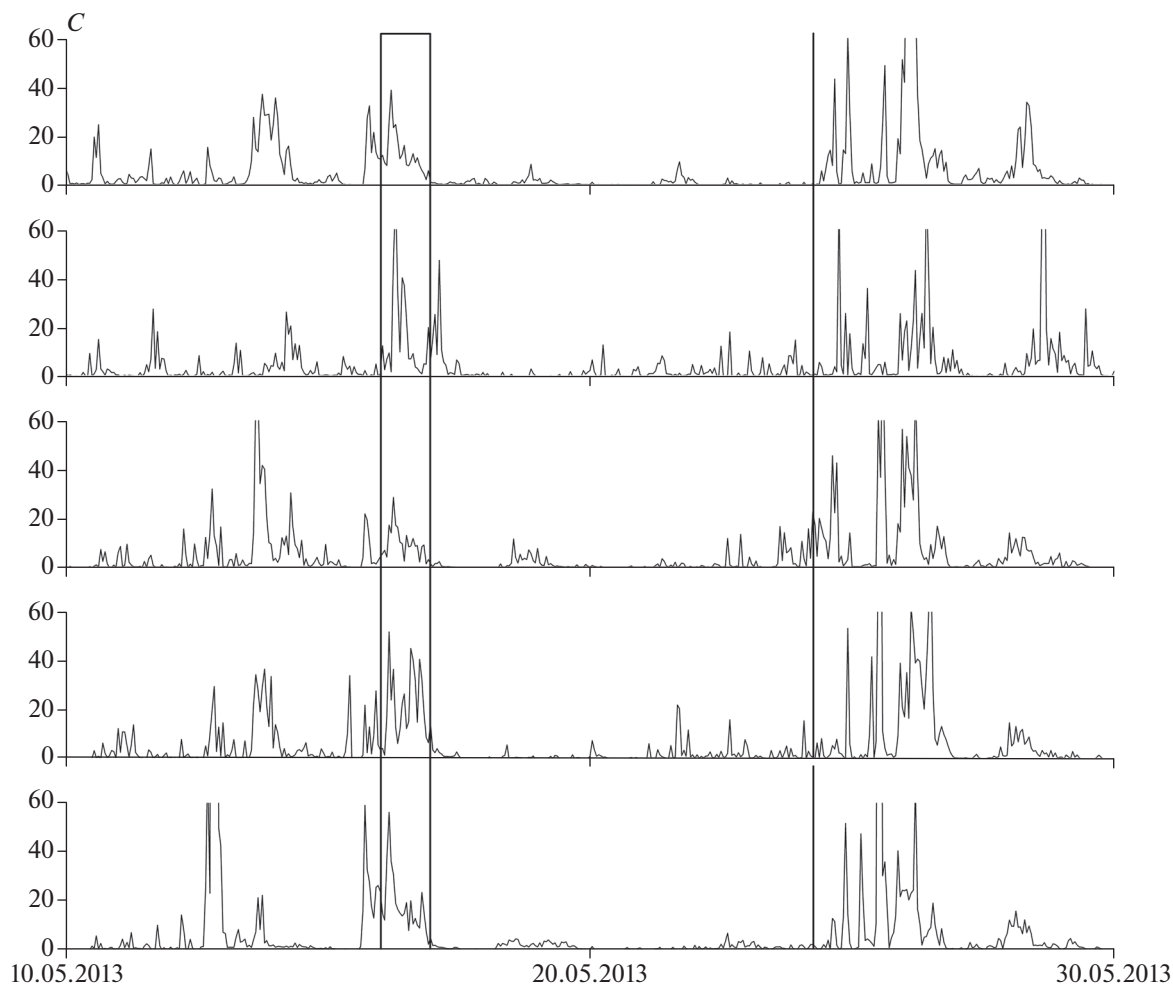


**Рис. 1.** Панели сверху вниз: рассчитанные значения 5-ти рядов фактора нестационарности  $C(t)$  для европейских НМ: *ATHN*, *CALM*, *JUNGI*, *KIEL*, *ROME* [12] в период 10–31 мая 2013 г. Значения  $C$  – усл. ед. Выделенная область 16 мая – синхронный предиктор. Вертикальная линия 24 мая – метка землетрясения.

го типа, к которой применима методика анализа, развитая в [11]. Величина ожидаемых эффектов невелика и для их идентификации на фоне случайных вариаций использован метод фликкер-шумовой спектроскопии. Для временного ряда  $N(t)$  отдельного НМ мировой сети [12] вычислялся ряд фактора нестационарности  $C(t)$  той же продолжительности [13, 14]. Такая процедура повторялась для всех НМ, выбранных для анализа. “Всплески” значений величин  $C(t)$  должны указывать на моменты распространения ВГВ над расположением отдельного НМ. Сами ВГВ могут быть незаметны на поверхности земли за счет затухания по толщине атмосферы. Методика позволяет идентифицировать, по фактору нестационарности  $C(t)$  временного ряда  $N(t)$ , моменты наиболее мощной фрактальной перестройки литосферных напряжений.

Апробация проведена путем анализа вариаций КЛ для 10 катастрофических землетрясений с магнитудой  $M \approx 8$ , произошедших в последние десятилетия. Для уменьшения влияния фоновых гелиофизических эффектов на вариации КЛ выбирались события в периоды спокойного Солнца.

Для проверки методики проведена обработка 15 рядов  $N(t)$  сети НМ в период времени с 01 по 31 мая 2013 г. В этот период (24 мая 2013 г.) произошло одно из сильных землетрясений ( $M = 8.3$ , Охотское море). Для всех рядов  $N(t)$ , с поправкой на давление, были вычислены значения  $C(t)$ . На рис. 1 и 2 представлены результаты, объединенные по территориальному признаку: для европейских (*ATHN*, *CALM*, *JUNGI*, *KIEL*, *ROME*) и азиатских (*AATB*, *DJON*, *IRKT*, *TXBY*, *YKNK*) НМ. Видно, что для большинства из десяти НМ возникли “всплески” значений  $C(t)$  в течение 15–16 мая.



**Рис. 2.** Панели сверху вниз: рассчитанные значения 5-ти рядов фактора нестационарности  $C(t)$  для азиатских НМ: *AATB, DJON, IRKT, TXBY, YKMK* [12] в период 10–31 мая 2013 г. Значения  $C$  – усл. ед. Выделенная область 16 мая – синхронный предиктор. Вертикальная линия 24 мая – метка землетрясения.

На этом же отрезке времени наблюдались “всплески”  $C(t)$  и для других пяти НМ (*MXCO, APTY, FSMT, TIBT, OULU*), расположенных на разных континентах. Обработка показала, что синхронные “всплески” для всех 15 НМ происходили 16 мая, которые опережали на 8 дней само землетрясение. Следует отметить, что геофизический фон (индексы  $K_p$ ,  $D_{st}$ ) оставался на низком уровне на всем интервале времени (5–25 мая), вплоть до начала землетрясения.

Таким же образом обработаны все 10 мощных событий ( $M \approx 8$ ), представленных в табл. 1. В 50% случаев землетрясения произошли на фоне возмущенной солнечной активности ( $K_p > 5$  и  $D_{st} < -50$ ). Возникшие при этом “всплески” в рядах  $C(t)$  нельзя однозначно интерпретировать в качестве предикторов. Для остальных пяти событий предикторы получились в пределах 4–9 сут, что хорошо совпало с оценками других методов для менее мощных землетрясений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые использованы данные мировой сети наземных нейтронных мониторов, как единого распределенного детектора, чувствительного к мощным геофизическим процессам, происходящим в смежных средах литосфера–атмосфера. Методика фликкер-шумовой спектроскопии пригодна для извлечения информации, скрытой в статистических флуктуациях временных рядов на конечной фазе подготовки землетрясений. Фактор нестационарности временных рядов космических лучей является идентификатором скрытых сигналов, связанных с формированием мощных землетрясений с  $M \approx 8$ . Эта информация для разных событий проявляется как кратковременные предикторы с опережением 4–9 сут. Методика может быть эффективной для обнаружения скрытых возмущений во многих физических процессах разной природы. Работа выполнена на уникальной научной установке “Экспериментальный

Таблица 1. Обработанные события с магнитудой  $M \approx 8$ 

	Дата землетрясения	$M$ , магнитуда	$H$ , глубина км	Место землетрясения	Число НМ	Опережение, сутки	Помеха, (возмущение МПЗ)
1	22.05.1960	9.5	25	Чили	6	4	+/-
2	23.06.2001	8.4	33	Перу	10	9	+/-
3	28.03.2005	8.6	30	Индонезия	18*	6	+/-
4	13.01.2007	8.2	30	Курилы	20*	5	нет
5	27.02.2010	8.8	35	Чили	9	6	нет
6	11.04.2012	8.6	20	Суматра	20*	9	нет
7	24.05.2013	8.3	602	Охотск. море	15	8	нет
8	16.09.2015	8.3	22	Чили	20*	6	+/-
9	17.07.2017	7.7	10	Камчатка	8	4	+/-
10	16.02.2018	7.2	22	Мексика	14	4	нет

Примечание: знак +/- означает, что предиктор может быть обусловлен возмущением магнитного поля Земли (МПЗ). Помеха "нет" – идентификация предиктора без фонового возмущения МПЗ. Знак \* – часть НМ не учтена из-за пропуска данных на временном участке предиктора.

комплекс НЕВОД" при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстер К.-В., Липеровская Е.В. // Геомагн. и аэроном. 2008. Т. 48. № 6. С. 831.
2. Адушкин В.В., Спивак А.А., Кишкина С.Б. и др. // Физ. Земли. 2006. № 7. С. 34.
3. Korsunova L.P., Khagai V.V. // Int. J. Geomagn. Aeron. 2006. V. 6. Art. No. G13005.
4. Адушкин В.В., Нифадьев В.И., Чен Б.Б. и др. // ДАН. 2019. Т. 487. № 3. С. 299.
5. Sverdlik L.G., Imashev S.A. // J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol. 2017. V. 10. No. 6. P. 783.
6. Sverdlik L.G., Imashev S.A. // J. Sib. Fed. Univ. Eng. Technol. 2018. V. 11. No. 8. P. 956.
7. Григорьев Г.И. // Изв. вузов. Радиофиз. 1999. Т. 42. № 1. С. 3.
8. Куницын В.Е., Крысанов Б.Ю., Воронцова А.М. // Вест. МГУ. Сер. 3. Физ. Астроном. 2015. № 6. С. 112.
9. Sherman S.I. // Geodynam. Tectonophys. 2012. V. 3. No. 4. P. 315.
10. Садовский М.А., Писаренко В.Ф. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 96 с.
11. Тимашев С.Ф. Метод фликкер-шумовой спектроскопии. Информация в хаотических сигналах. М.: Физматлит, 2007. 245 с.
12. <http://www01.nmdb.eu>.
13. Borog V.V., Ivanov I.O., Kryanev A.V., Timashev S.F. // Phys. Proc. 2015. V. 74. P. 336.
14. Borog V.V., Dmitrieva A.N., Kovlyayeva A.A. // J. Phys. Conf. Ser. 2017. V. 798. Art. No. 012050.

## Variations of cosmic rays before powerful earthquakes

V. V. Borog<sup>a,\*</sup>, S. F. Timashev<sup>a</sup>

<sup>a</sup>National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

\*e-mail: vvbrog@mephi.ru

It has been found that in the period of time before powerful earthquakes (magnitude  $M \approx 8$ ) there are variations of cosmic rays in most neutron monitors of the world network, located on different continents. Reliable information, discovered with the help of flicker-noise spectroscopy, is manifested a few days before earthquakes and can serve as a basis for the creation of the precursor of the first level.