# ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ

С.Э. Смирнов<sup>1,\*</sup>, Ю.М. Михайлов<sup>2,\*\*</sup>, Г.А. Михайлова<sup>2</sup>, О.В. Капустина<sup>2</sup> <sup>1</sup> Институт космофизических исследований и распространения радиоволн (ИКИР ДВО РАН), п. Паратунка, Камчатский край, Россия <sup>2</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Троицк, Россия \*e-mail: sergey@ikir.ru \*\*e-mail: yumikh@izmiran.ru Поступила в редакцию После доработки Принята к публикации

Зимние грозы на Камчатке – редкое метеорологическое явление. Для исследования природы этого явления в качестве индикатора грозовой активности использованы временные вариации квазистатического электрического поля и метеорологических величин в обс. Паратунка ИКИР ДВО РАН ( $\varphi = 52.97^{\circ}$  N,  $\lambda = 158.25^{\circ}$  E), а также доступные в INTERNET данные о солнечной, сейсмической и циклонической активностях. Показано, что для формирования грозовой активности дополнительным источником тепла в приземной атмосфере Камчатки могут быть мощные солнечные вспышки, сопровождаемые усилением излучения в видимом и инфракрасном спектрах, а также инфракрасное излучение Земли, поступающее в атмосферу перед мощными землетрясениями магнитудой M > 8. Вклад тропических циклонов в эти процессы при слабой сейсмической активности определен недостаточно четко и нуждается в дальнейшем детальном изучении.

Ключевые слова: гроза, сейсмическая и циклоническая активность, солнечная вспышка

1

FEATURES OF WINTER THUNDERSTORMS IN KAMCHATKA S.E. Smirnov<sup>1, \*</sup>, Yu.M. Mikhailov<sup>2, \*\*</sup>, G.A. Mikhailova<sup>2</sup>, O.V. Kapustina<sup>2</sup> <sup>1</sup> Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation Far East Branch RAS, Paratunka, Kamchatka region, Russia <sup>2</sup> Pushkov Institute of Terrestrial magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation RAS (IZMIRAN), Moscow, Troitsk, Russia \*e-mail: sergey@ikir.ru \*\*e-mail: sergey@ikir.ru Received After revision Accepted for publication

Winter thunderstorms in Kamchatka are a rare meteorological phenomenon. Temporal variations of the quasi-static electric field and meteorological values at the Paratunka observatory of the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Far East Branch, Russian Academy of Sciences ( $\varphi = 52.97^{\circ}$  N,  $\lambda = 158.25^{\circ}$  E), as well as data on solar, seismic and cyclonic activities available on INTERNET, are used to study the nature of this phenomenon. It is shown that powerful solar flares accompanied by increased radiation in the visible and infrared spectra, as well as the infrared radiation from the Earth that enters the atmosphere before powerful earthquakes with a magnitude of M > 8 may serve as an additional heat source in the surface atmosphere of Kamchatka for the formation of thunderstorm activity. The contribution of tropical cyclones to these processes with weak seismic activity is not clearly defined and requires further detailed study.

Key words: thunderstorm, seismic and cyclonic activity, solar flare

#### 1. ВВЕДЕНИЕ

Зимние грозы на п-ове Камчатка – очень редкое метеорологическое явление, которое наблюдается один-два раза, по одним данным, в течение пяти лет, а по другим – в течение двух лет. Синоптики связывают это явление с особенностями местного климата, который отличается сильной неустойчивостью, определяемой влиянием окружающих морей, постоянным движением воздушных масс из-за перепадов атмосферного давления и влиянием циклонов, приходящих с Тихого океана. Тропические циклоны приносят на полуостров теплый и влажный воздух, вызывая летом продолжительные обильные ливни, а зимой снежные бури. Несмотря на высокую циклоническую активность, среднее число грозовых дней в год на полуострове, согласно данным (https://yandex.ru/pogoda/paratunka/month), составляет величину 10.8. Следовательно, для образования грозовых облаков, кроме циклонов, возможно действие и других источников дополнительной тепловой энергии, поступающей в приземную атмосферу. Действительно, в работах [Смирнов и др., 2013; 2014] было обнаружено появление грозовых процессов после мощных солнечных вспышек, сопровождаемых усилением солнечного излучения в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Кроме этого, в работе [Смирнов и др., 2017] были обнаружены грозовые явления за 6-7 сут до сильных землетрясений магнитудой M > 8.

Настоящая работа посвящена детальному анализу условий появления зимних гроз на Камчатке, используя одновременные записи напряженности квазистатического электрического поля и метеорологических величин, а также данные солнечной, циклонической и сейсмической активностей для оценки их вклада в развитие грозовых процессов в приземной атмосфере.

## 2. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве индикатора грозовой активности рассмотрены суточные вариации напряженности квазистатического электрического поля (*Ez*-компоненты) одновременно с вариациями метеорологических величин в приземной атмосфере в обс. Паратунка ДВО РАН ( $\varphi = 52.97^{\circ}$  N,  $\lambda = 158.25^{\circ}$  E). Напряженность электрического поля измерена прибором "Поле-2" с дискретностью по времени 1 мин, а метеорологические величины (температура *T*<sup>o</sup> C, давление *P*, гПа, относительная влажность *Hm*, %, осадки, мм и скорость ветра *V*, м/с) – цифровыми станциями WS-2000 и WS-2300 с дискретностью по времени 10 мин. Для оценки уровня солнечной активности использованы записи потоков рентгеновского излучения (*X*лучей, BT/м<sup>2</sup>) (http://www.staff.oma.be/default.jsp), сейсмической активности – (http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/interactive), циклонической активности в акватории Тихого океана (http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/search.date.html.en). Зимние грозы непродолжительны по времени, поэтому они не всегда отмечаются в метеорологических данных, которые традиционно на местных станциях измеряются через каждые три часа в течение суток, либо как среднесуточные их значения

(https://yandex.ru/pogoga/paranunka/month). В отличие от этих методов, в обс. Паратунка их записи ведутся практически непрерывно (через 10 мин). Поэтому детальная регистрация временных вариаций напряженности электрического поля и метеорологических величин позволяет наиболее надежно и достоверно оценивать состояние грозовой активности в приземной атмосфере. На временных записях напряженности электрического поля грозовой активности в процессы проявляются как знакопеременные колебания большой величины, порядка 1 кВ/м [Михайлова и др., 2010], в отличие от регулярных колебаний в условиях «хорошей погоды» (~ 100 В/м) и бухтообразных понижений напряженности перед землетрясениями [Smirnov, 2008]. Ниже рассмотрены особенности вариаций этих величин для событий аномально сильных землетрясений магнитудой M > 8 (ноябрь 2006 г. и январь 2007 г.) и мощных солнечных вспышек (октябрь 2003 г. и ноябрь 2004 г.).

### 3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

## 3.1. События в ноябре 2004 г.

Особенность этих событий состоит в том, что они развивались на фоне мощных солнечных вспышек, сопровождаемых двумя магнитными бурями [Смирнов и др., 2013]. Это привело к возбуждению аномально сильных грозовых процессов в приземной атмосфере на Камчатке. На рис. 1*а* приведены суточные вариации *Ez*-компоненты электрического поля, а также метеорологических величин (температура T° C, атмосферное давление P, гПа, относительная влажность *Hm*, % и скорость ветра *V*, м/с) и *X*-лучей (Вт/м<sup>2</sup>) в период с 4 по 14 ноября 2004 г. Как видно, в период с 4 по 9 ноября наблюдалась высокая солнечная активность с аномальными потоками X-лучей ( $\sim 10^{-4}$  Bt/м<sup>2</sup>), сопровождаемыми, как известно, усилением потоков излучения в видимом и инфракрасном диапазонах. Как видно на графиках температуры и относительной влажности, это привело к нарушению их регулярного суточного хода 3 и 4 ноября. В результате действия солнечных вспышек температура ночью возросла от -15° С до нулевых и положительных величин, а относительная влажность – до 80 и более процентов. Это привело к формированию грозовой активности 7 и 10 ноября (характерные знакопеременные колебания *Ez*-компоненты электрического поля). В этот период циклоническая активность в Тихом океане была спокойной, тайфун MUIFA (рис. 16) зародился только 14 ноября в очень отдаленном месте от Камчатки. Не исключено, что его мощность и продолжительность (более 10 дней) обусловлена усилением солнечной активности в предшествующие дни. Сейсмическая активность в этот период (см. табл. 1) также была относительно спокойной. Моменты ЗТ

отмечены стрелками по оси абсцисс графика *Ez*-компоненты, на котором отсутствуют явления, вызванные землетрясениями.

Завершая анализ графиков рисунка и состояния циклонической и сейсмической активностей, можно с уверенностью сделать вывод о том, что грозовая активность в ноябре была вызвана усилением солнечной активности в этот период.

3.2. События в октябре 2003 г.

Рассмотренные ниже эффекты в приземной атмосфере развивались в период аномального усиления солнечной активности 21–31 октября (см. рис. 2*a*), когда потоки рентгеновского излучения при вспышках достигали аномальных величин ~10<sup>-3</sup> Вт/м<sup>2</sup>. При этом возрастали потоки излучения и в видимой части спектра [Веселовский и др., 2004]. Поступление дополнительной тепловой энергии привело к заметному нарушению регулярного суточного хода температуры 21 и 22 октября, увеличив отрицательные ночные значения -3° C до положительных значений +(4-5)° C. В течение периодов 23-27 и 29-31 октября сохранялась очень высокая влажность воздуха (~90%). Это привело к формированию интенсивной и продолжительной грозовой активности 24 и 30 октября (колебания напряженности *Ez*-компоненты, сильные ветры, обильные осадки). Именно в эти дни отмечена максимальная интенсивность тайфуна PARMA (рис. 26), когда минимальное давление в "глазу" его составило 930 гПа, а максимальная скорость – 95 узлов/ч. Этот мощный тайфун зародился 21 октября на  $\phi \sim 20-35^{\circ}$  N и в течение 10 дней смещался вдоль широты от 140° до 180° Е. Одновременно в тот же период 19–26 октября в акватории Тихого океана действовал менее мощный (V = 90 узлов/ч, P = 940 гПа) тайфун KETSANA (рис. 2*в*) (http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/search.date.html.en). Хронологическая последовательность их передвижения показана на графике давления рис. 2а. Одновременное развитие этих тайфунов, вызванных появлением аномальных солнечных вспышек, позволяет сделать вывод о том, что только сверхмощные тайфуны способны вызвать грозовые процессы в зимнее время в приземной атмосфере Камчатки. Сейсмическая активность в этот период была относительно спокойной ( $M \sim 5$ ). Характеристики землетрясений приведены в табл. 2, а моменты времени отмечены стрелками на графике *Ez*-компоненты. Им предшествовали бухтообразные понижения напряженности электрического поля значительно меньшей интенсивности по сравнению с колебаниями в период грозовой активности.

## 3.3. События в ноябре 2006 г. и январе 2007 г.

Эти события связаны с сильными Курильскими землетрясениями, магнитуда которых превышала величину  $M \sim 8$  (см. табл. 3, а хронологическая последовательность их отмечена стрелками на графике *Ez*-компоненты на рис. 3a и 4) [Смирнов и др., 2017]. Как видно на

графиках температуры T° C, начиная с 8 ноября и 5 января, в приземной атмосфере изменились условия "хорошей погоды" с регулярным суточным ходом температуры и относительной влажности Нт, %. При наличии высокой влажности (~90%) температура последовательно возрастала в течение нескольких дней, вплоть до момента сильного землетрясения. В отдельные дни повышение температуры сопровождалось усилением ветра (V ~ 18-25 м/с) и развитием мощной грозовой активности (8 и 13 ноября и 7-8 января). Более того, 13 ноября в вариациях электрического поля одновременно наблюдались эффекты грозовой активности, совпадающие с бухтообразным понижением напряженности поля, обусловленным сильным землетрясением 15 ноября. Солнечная активность в эти периоды сохранялась относительно спокойной, величины потоков X-лучей были порядка  $10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>. Циклоническая активность тоже была очень низкой: тайфун CHEBI зародился на широте ниже 20° N и смещался в течение четырех суток (9–13 ноября) в интервале долгот 115–135° Е с максимальной скоростью ветра ~100 узлов/ч (рис. 36) (http://agora.ex.nii.ac.jp/digitaltyphoon/search.date.html.en), т.е. был далеко от Камчатки. В январский период не были зарегистрированы ни тайфуны, ни штормы в рассматриваемой нами части Тихого океана. Таким образом, обнаруженный аномальный рост температуры, вопреки отрицательному регулярному тренду в это время года [Смирнов и др., 2017], вызван, на наш взгляд, появлением дополнительного источника тепла. Состояние солнечной, сейсмической и циклонической активностей позволяет сделать вывод, что этот источник сейсмической природы.

## 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из архивов метеослужбы (www.pogodaiklimat.ru), зимние грозы на Камчатке случаются крайне редко. Для возникновения грозовой активности в это время года недостаточно тепловой энергии, поступающей от Солнца. А для образования кучеводождевых и кучево-грозовых облаков необходимы следующие условия. Это конвекция теплого воздуха, высокое влагосодержание воздуха и неустойчивость в тропосфере в результате большого градиента температуры по высоте [Матвеев, 2000]. На первой стадии этого процесса сначала образуются кучевые облака с сильными осадками и ветрами, которые далее развиваются в более мощные кучевые и кучево-грозовые с появлением молниевых разрядов. Эти стадии отчетливо просматриваются во временных вариациях метеорологических величин (рисунки 1–4). Очевидно, что пусковым механизмом этого процесса является момент увеличения температуры воздуха с последующим движением его вверх, т.е. для развития грозовой активности необходим дополнительный источник теплового излучения в приземной атмосфере. Синоптики полагают, что таким источником являются циклоны, которые приносят на полуостров потоки теплого и влажного воздуха в

6

зимнее время года, вызывая температурную неустойчивость в тропосфере. При этом, как следует из архивов погоды, тропические циклоны происходят достаточно часто, особенно в осенние и зимние сезоны, когда поверхность океана прогревается до высоких температур и усиливается испарение влаги. Вместе с тем зимние грозы случаются крайне редко, тепловой энергии, приносимой циклонами, не всегда достаточно для зарождения грозовой активности и необходимо наличие дополнительного источника теплового излучения в приземной атмосфере, способного вызвать грозовую активность.

#### 5. ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ данных электрических и метеорологических величин, а также данных солнечной, сейсмической и циклонической активностей позволил выделить эти дополнительные источники. Оказалось, что при сильных солнечных вспышках, подобных случившимся в 2003 и 2004 гг., происходящих не часто, возникает поток тепла в видимом и инфракрасном диапазонах [Веселовский и др., 2004; Ермолаев и др., 2005], достаточный для создания условий образования грозовой активности. Кроме того, дополнительным источником тепла в инфракрасном диапазоне могут быть, как известно [Горный и др., 1988], сейсмические процессы в земной коре перед мощными землетрясениями магнитудой M > 8, которые случаются также крайне редко. В нашем случае оба эти источника действовали либо при слабой, либо при мощной циклонической активности, роль которой, по-видимому, свелась к возникновению температурной неустойчивости в тропосфере. Вопрос о возможности зимних гроз на Камчатке при сильных тропических циклонах, но при слабых солнечной и сейсмической активностях нуждается в дальнейшем детальном изучении.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность National Institute of Information and Communications Technology (NICT, Japan) и Australian Government Bureau of Meteorology (Space Weather Services, Australia) за предоставление доступа к метеорологическим данным.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.) по теме: Исследование солнечной активности и физических процессов в системе "Солнце–Земля" (рег. № 1234567891234-5).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веселовский И.С., Панасюк М.И., Авдюшин С.И. и др. Солнечные и гелиосферные явления в октябре-ноябре 2003 г.: причины и следствия // Космические исследования. Т. 42. № 5. С. 453–508. 2004.

– Горный В.И., Сальман А.Г., Тронин А.А., Шилин Б.В. Уходящее инфракрасное излучение Земли – индикатор сейсмической активности // ДАН. Т. 301. № 1. С. 67–69. 1988.

- *Ермолаев Ю.И., Зеленый Л.М., Застенкер Г.Н. и др.* Год спустя: солнечные, гелиосферные и магнитосферные возмущения в ноябре 2004 г. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 45. № 6. С. 723–763. 2005.

- Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 778 с. 2000.

– Михайлова Г. А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В., Смирнов С.Э. Эффекты грозовой активности в спектрах мощности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 50. № 6. С. 843–852. 2010.

– Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Вариации квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке во время геомагнитных бурь в ноябре 2004 г. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 53. № 4. С. 532–546. 2013. https://doi.org/10.7868/S0016794013040147

– Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Вариации электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке во время солнечных событий в октябре 2003 г. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 54. № 2. С. 257–265. 2014. https://doi.org/10.7868/S0016794014020187

- Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Михайлов Ю.М., Капустина О.В. Эффекты сильных землетрясений в вариациях электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 57. № 5. С. 656–663. 2017. https://doi.org/10.7868/S0016794017050170

*Smirnov S.* Association of the negative anomalies of the quasistatic electric field in atmosphere with Kamchatka seismicity // Nat. Hazard. Earth Syst. V. 8. N 4. P. 745–749. 2008.
https://doi.org/10.5194/nhess-8-745-2008

| N | Дата          | Время, UT   | Географические |         | <i>h</i> , км | М   | <i>R</i> , км |
|---|---------------|-------------|----------------|---------|---------------|-----|---------------|
|   |               |             | координаты     |         |               |     |               |
|   |               |             | φ,° N          | λ,° Ε   |               |     |               |
| 1 | 04.11.2004 г. | 14:03:11.74 | 43.665         | 146.812 | 62.4          | 5.8 | 312           |
| 2 | 07.11.2004 г. | 02:02:26.34 | 47.884         | 144.486 | 481.8         | 6.1 | 420           |
| 3 | 11.11.2004 г. | 10:02:47.12 | 42.164         | 144.331 | 32.2          | 6.1 | 420           |
| 4 | 14.11.2004 г. | 17:37:42.42 | 41.777         | 144.114 | 15.0          | 5.1 | 156           |
| 5 | 14.11.2004 г. | 17:57:40.66 | 41.781         | 144.064 | 30.3          | 5.0 | 140           |
| 6 | 14.11.2004 г. | 18:44:13.62 | 41.786         | 144.079 | 21.0          | 5.4 | 210           |

Таблица 1. Землетрясения вблизи п-ова Камчатка, зарегистрированные в ноябре 2004 г.

*Примечание*: h – глубина эпицентра; M – магнитуда;  $R = 10^{0.43M}$  – радиус сейсмически активной зоны накануне землетрясения.

# к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"

Таблица 2. Землетрясения вблизи п-ова Камчатка, зарегистрированные в октябре 2003 г.

| N | Дата          | Время, UT   | Географические |        | <i>h</i> , км | М   | <i>R</i> , км |
|---|---------------|-------------|----------------|--------|---------------|-----|---------------|
|   |               |             | координаты     |        |               |     |               |
|   |               |             | φ, ° N         | λ, ° Ε |               |     |               |
| 1 | 23.10.2003 г. | 10:54:37.10 | 51.76          | 176.39 | 14            | 5.3 | 190           |
| 2 | 23.10.2003 г. | 10:54:39.70 | 51.46          | 176.56 | 33            | 5.3 | 190           |
| 3 | 23.10.2003 г. | 15:32:06.18 | 51.39          | 176.55 | 33            | 5.1 | 156           |

# к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"

# Подписи к рисункам к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"

Рис. 1. (*a*) Суточные вариации *Ez*-компоненты квазистатического электрического поля в приземной атмосфере Камчатки, метеорологических величин и потоков солнечной радиации *X*-лучей (в диапазоне 0.1–0.8 нм) в ноябре 2004 г.; (*б*) трек тайфуна MUIFA. Рис. 2. (*a*) То же, что и на рис. 1, но в октябре 2003 г.; треки тайфунов (*б*) PARMA и (*в*) КЕТSANA.

Рис. 3. (а) То же, что и на рис. 1, но в ноябре 2006 г.; (б) трек тайфуна СНЕВІ.

Рис. 4. То же, что и на рис. 1, но в январе 2007 г.



Рис. 1. к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"



Рис. 2. к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"



Рис. 3. к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"



Рис. 4. к ст. С.Э.Смирнов, Ю.М.Михайлов, Г.А.Михайлова, О.В Капустина "ОСОБЕННОСТИ ЗИМНИХ ГРОЗ НА КАМЧАТКЕ"