Российская академия наук

Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН

Глобальная Электрическая цепь

МАТЕРИАЛЫ ТРЕТЬЕЙ ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Борок 25–29 сентября 2017 г.

> Ярославль 2017

УДК 621.3.01(063) ББК 31.211я431 Г54

Г54 Глобальная электрическая цепь : материалы третьей Всероссийской конференции / Геофизическая обсерватория «Борок» – филиал Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН – Ярославль : Филигрань, 2017. – 116 с.

ISBN 978-5-906682-96-3

Ответственный редактор: д.ф.-м.н. С. В. Анисимов

В сборнике материалов третьей Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь» представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований глобальной электрической цепи. Для ученых, работающих в области глобальной электрической цепи, атмосферного электричества, геомагнетизма, физики атмосферы и смежных областях, преподавателей и студентов вузов.

Проведение конференции и издание материалов осуществлено при финансовой поддержке РФФИ и ГО «Борок» ИФЗ РАН.

> УДК 621.3.01(063) ББК 31.211я431

ISBN 978-5-906682-96-3

 © ГО «Борок» ИФЗ РАН макет, оформление, верстка, 2017
 © Коллектив авторов, текст

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

- 1. Анисимов С. В. д.ф.-м.н., ГО «Борок» ИФЗ РАН, Борок (председатель);
- Гвишиани А. Д. академик РАН, д.ф.-м.н., Геофизический центр РАН, Москва;
- 3. Глико А. О. академик РАН, д.ф.-м. н., академик-секретарь ОНЗ РАН, Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- 4. Гохберг М. Б. д.ф.-м.н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва.
- 5. Еланский Н. Ф. член-корреспондент РАН, д.ф.-м. н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва;
- 6. Катцов В. М. д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова, Санкт-Петербург;
- 7. Лапшин В. Б. д.ф.-м.н., Институт прикладной геофизики, Москва;
- Мареев Е. А. член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
- Морозов В. Н. д.ф.-м.н., Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург;
- 10. Мохов И. И. академик РАН, д.ф.-м.н., Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва;
- 11. Потехин А. П. член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., Институт солнечноземной физики СО РАН, Иркутск;
- 12. Похотелов О. А. д.ф.-м. н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- 13. Тихоцкий С. А. член-корреспондент РАН, д.ф.-м. н., Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва;
- 14. Шлюгаев Ю. В. к.ф.-м.н., Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород;
- 15. Эпов М.И. академик РАН, д.т.н., Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск.

Конференция организована при финансовой поддержке РФФИ и ГО «Борок» ИФЗ РАН

Предисловие

Третья Всероссийская конференция «Глобальная электрическая цепь» (ГЭЦ'2017) организована Геофизической обсерваторией «Борок» – филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ГО «Борок» ИФЗ РАН) и пройдет с 25 по 29 сентября 2017 г. в пос. Борок Ярославской области.

ГЭЦ'2017 планируется как закономерное продолжение Всероссийских конференций «Глобальная электрическая цепь», прошедших 28 октября – 01 ноября 2013 г. и 05 – 09 октября 2015 г. в пос. Борок. В конференциях приняли участие специалисты из ведущих геофизических центров России: ААНИИ (С.-Петербург), ВГИ (Нальчик), ГАГУ (Горно-Алтайск), ГГО (С.-Петербург), ГО «Борок» ИФЗ РАН (Борок), ГЦ РАН (Москва), ИВМ СО РАН (Красноярск), ИДГ РАН (Москва), ИЗМИРАН (Троицк), ИКИР ДВО РАН (Паратунка), ИКФИА СО РАН (Якутск), ИМКЭС СО РАН (Томск), ИПГ (Москва), ИПФ РАН (Н. Новгород), ИФА РАН (Москва), ИФЗ РАН (Москва), ИЯИ РАН (Москва), МИФИ (Москва), НИИЯФ МГУ (Москва), НИРФИ ННГУ (Н. Новгород), ПГИ КНЦ РАН (Апатиты), РГГМУ (С.-Петербург), С-ПбГУ (С.-Петербург), ТГУ (Томск), ЦАО (Долгопрудный), ЦГЭМИ ИФЗ РАН (Москва), ФИАН (Москва), ЦНИИМаш (Москва), ЮУрГУ (Челябинск), ЮФУ (Таганрог, Ростов-на-Дону) и др., а также из ИГН НАН Украины (Киев), РАИ НАН Украины (Харьков), ИКТТ (Алма-Ата, Казахстан). Соавторами нескольких представленных на ГЭЦ'2013 работ являлись ученые из Венгрии, Польши, США, Украины, Японии. В ходе дискуссий и в итоговых решениях конференций был отмечен высокий научный уровень представленных докладов, затронуты актуальные фундаментальные вопросы атмосферного электричества, математического моделирования глобальной электрической цепи, интерпретации данных натурных аэроэлектрических наблюдений и геоинформатики. Конференции стали заметными событиями в жизни геофизического сообщества.

Основная задача конференции ГЭЦ'2017 состоит в представлении и обсуждении важнейших результатов теоретических и экспериментальных исследований геофизических процессов формирования глобальной электрической цепи. В конференции примут участие ученые, работающие в области физики атмосферы, атмосферного электричества, геомагнетизма, магнитосферноионосферной физики, геоэлектродинамики, глобальной электрической цепи и смежных областях теоретической и наблюдательной геофизики. Конференция послужит развитию творческих научных связей российских ученых с целью решения актуальных проблем геоэлектромагнитного окружения.

Конференция организована при финансовой поддержке РФФИ и ГО «Борок» ИФЗ РАН.

Председатель программного комитета, директор ГО «Борок» ИФЗ РАН, доктор физ.-мат. наук С. В. Анисимов

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ — ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

A mathematical model of quasistationary electric field penetration from ground to the ionosphere with inclined magnetic field

<u>V. V. Denisenko</u>^{1,2}, S. A. Nesterov², M. Y. Boudjada³, H. Lammer³ ¹Institute of Computational Modelling RAS SB, Krasnoyarsk ²Siberian Federal University, Krasnoyarsk ³Space Research Institute, Graz, Austria

A quasi-stationary model of electric fields and currents in the conductor that includes the Earth's atmosphere and ionosphere is used to analyze the lithosphere-ionosphere electric coupling. The height distribution of the components of the conductivity tensor above the altitude of 90 km is derived from the IRI, MSISE, IGRF empirical models. We use empirical models of atmospheric conductivity below 50 km where the electric conductivity is isotropic with smooth interface between these regions. The steady state electro-conductivity problem is numerically solved using Fourier transformations in horizontal directions.

We set the input parameters which look typical for moderate earthquakes like vertical electric field of about 100 V/m near ground with typical horizontal scale of a few hundred km. The result electric field in the ionosphere in such a case does not exceed 1 μ V/m under night-time conditions and it is about ten times less under day-time ones. The integral conductance of the ionosphere can only be increased when magnetic field is not vertical. Hence the magnitude of the electric field in the ionosphere is smaller if we take the magnetic inclination into account. This means that the penetration of a large scale electric field from ground into the ionosphere cannot be a physical process which creates ionospheric precursors of earthquakes in the range of a few mV/m.

The obtained spatial field distributions are compared with the results of known models, including those which approximately take into account the ionospheric conductor using various conditions on the upper boundary of the atmosphere. Also we discuss the models which contain extrinsic currents generated by diffusion and convection in the Earth's atmosphere. The principal drawbacks of models explaining the penetration of significant fields are described. The main physical principles of our model are reported in [1].

This research is supported by grant 15-05-00879 from the Russian Foundation for Basic Research.

Bibliography

 Denisenko V.V., Ampferer M., Pomozov E.V., Kitaev A.V., Hausleitner W., Stangl G., Biernat H.K. On electric field penetration from ground into the ionosphere // J. Atmosph. Solar-Terr. Phys. 2013. V. 102. P. 341–353. DOI: 10.1016/j.jastp.2013.05.019

Вариации потенциала ионосферы, обусловленные гармоническими вариациями тока грозового генератора

В. Н. Морозов

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, Росгидромет, С.-Петербург

В работах [1–3], была решена переходная задача при включении токов грозовых генераторов, а в работе [1] полученные решения использовались для нахождения решения, когда ток в грозовых генераторах меняется по гармоническому закону: $I_S(t) = I_{S0}e^{i\omega t}$. Эти колебания могут быть связаны как с током электризации, так и с разрядными токами, возникающими при разрядах облако-земля, внутриоблачными разрядами.

Используя результаты указанных выше работ, получим следующие выражения для потенциала ионосферы и электрического поля в областях «хорошей погоды:

$$\varphi_{\infty} = \varphi_{\infty}^{0} e^{i\omega t} = -\frac{1}{i\omega \alpha R^{2}} \sum_{s=1}^{N} I_{s0} \ln \left(\frac{1+i\omega \tau_{0} e^{-\alpha(r_{s0}-R)}}{1+i\omega \tau_{0} e^{-\alpha(r_{s1}-R)}} \right) e^{i\omega t}, \tag{1}$$

$$\varphi(r,t) = \varphi_{\infty}^{0} \left[1 - \frac{\ln(1 + i\omega \tau_{0} e^{-\alpha(r-R)})}{\ln(1 + i\omega \tau_{0})} \right] e^{-i\omega t}, \qquad (2)$$

где: r_{50} , r_{51} — радиальные расстояния, соответствующие положительному и отрицательному зарядам грозового облака, $\tau_0 = (4\pi\lambda_0)^{-1}$.

Рассмотрим некоторые предельные случаи, которые следуют из выражений (1) и (2). При выполнении неравенства $|i\omega\tau_0| << 1$ гармонические колебания потенциала ионосферы и потенциала электрического поля атмосферы происходят синфазно с колебаниями электрического тока грозовых генераторов. В этом случае разлагая логарифмические функции, входящие в (1) и (2) в ряд Маклорена получим решения, соответствующие стационарному случаю, умноженные на e^{iot} .

Другой предельный случай соответствует выполнению условий: $|i\omega\tau_0 e^{-\alpha(r_{x_0}-R)}| >> 1$, $|i\omega\tau_0 e^{-\alpha(r_{x_1}-R)}| >> 1$. В этом случае из приведенных выше неравенств следуют неравенства: $r - R \ll \ln(i\omega\tau_0)/\alpha$. Потенциал ионосферы в этом приближении имеет представление:

$$\varphi_{\infty}(t) = \sum_{s=1}^{N} \frac{I_{s0}}{i\omega R^2} (h_{s0} - h_{s1}) e^{i\omega t} = \sum_{s=1}^{N} \frac{Q_{s0}}{R^2} (h_{s0} - h_{s1}) e^{i\omega t}, \qquad (3)$$

где $Q_{s0}(\omega) = I_{s0}/(i\omega)$, h_{s0} , h_{s1} — расстояния положительного и отрицательного зарядов над земной поверхностью.

В этом случае для потенциала ионосферы $\phi_{\infty}(t)$ характерно чисто электростатическое изменение со временем, не зависящие от электрической проводимости атмосферы

Если выполнено условие $|i\omega\tau_0e^{-\alpha(r-R)}| >> 1$, то выражение (2) приобретает следующий вид:

$$\varphi(r,t) = \varphi_{\infty}^{0} \frac{(r-R)}{h(\omega)} e^{-i\omega t}, \quad h(\omega) = \frac{1}{\alpha} \ln(i\omega \tau_{0}).$$
(4)

Рассмотренные случаи показывают, что с точки зрения глобальной электрической цепи первый случай соответствует существенному влиянию токов проводимости, а второй преобладанию токов смещения, причем в этом случае высокочастотная составляющая потенциала ионосферы значительно ослаблена по сравнению с низкочастотной квазистационарной составляющей.

- 1. *Морозов В. Н.* Влияние нестационарной составляющей грозовых процессов на электрическое состояние атмосферы // Вопросы атмосферного электричества. Сборник статей. Л.: Гидрометеоиздат. 1990. С. 147–157.
- Morozov V. N. The nonstationary model of global circuit // Proceedings of 9th International Conference on Atmospheric Electricity. 1992. St.Petersburg. Russia. V. 2. P. 461–464.
- 3. *Морозов В. Н.* Модель нестационарного электрического поля в нижней атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т. 45. № 2. С. 268–278.

Электрические, магнитные, электромагнитные и плазменные эффекты крупных метеороидов

Л. Ф. Черногор

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков

Механизмы возникновения электрических, магнитных и электромагнитных эффектов при падении крупных космических тел мало изучены.

Цель доклада — анализ возможных механизмов электрических, магнитных, электромагнитных и плазменных эффектов в атмосфере и геокосмосе, вызванных полетом метеороидов размером более 1 м.

Электрические эффекты могут вызываться частичным разделением зарядов в плазменном следе (плюме) метеороида, убеганием электронов в системе плазма следа + воздух, генерацией электродвижущей силы (ЭДС) на фронте ударной волны и возникновением электрического тока во внешнем электрическом поле Земли. Все эти механизмы могут проявляться одновременно. Потенциал электрического поля на поверхности плазменной оболочки может достигать ~ 10 – 100 MB, напряженность электрического поля — 1 – 10 MB/м, заряд — 0,1 – 1 Кл, сила тока в плазменном следе — 0,1 – 1 MA. Пролет тела может сопровождаться слабыми электрическими разрядами с энергией 1 – 10 МДж, которые вызывают электрофонный эффект.

Магнитные эффекты могут быть обусловлены «запутыванием» магнитных силовых линий в турбулентном плазменном следе (значение индукции в следе $B \sim 0,01$ Тл при времени турбулизации $t_t \sim 0,1$ мс – 0,1 с, ЭДС ~ 1 кВ, сила тока $I \sim 1$ кА – 1 МА), протеканием тока в следе (плюме) метеороида (значение *B* под эпицентром $\sim 0,1 - 1$ нТл) и модуляцией ионосферных токов акустико-гравитационными волнами, сгенерированными метеороидом ($B \sim 0,1 - 1$ нТл). Механизмы генерации *B* за счет дипольного момента, создаваемого космическим телом, и за счет диамагнитного возмущения, вносимого ударной волной, оказываются малоэффективными.

Электромагнитные эффекты могут быть связаны с резким изменением B(t) в следе (при $B \sim 0,01$ Тл имеем амплитуду электрического поля $E \sim 0,1 - 1$ кВ/м), протеканием электрического тока в плазменном следе (при $I \sim 1$ кА – 1 МА мощность электромагнитного излучения в диапазоне частот 1 - 10 кГц может достигать 1 МВт – 100 ТВт). Излучение способно вызвать пробой атмосферы на высотах 45 – 60 км, где напряженность поля пробоя $\sim 3000 - 300$ В/м соответственно, нагрев электронов и возмущение концентрации электронов на границе ионосферы, а также генерацию альвеновского импульса и МГД волн с амплитудой $\sim 0,1 - 1$ мВ/м. Инфразвук от метеороида, модулируя объемную плотность заряда в приземной атмосфере, способен вызвать периодические вариации E и B с периодом инфразвука 1 – 100 с и амплитудой 1 – 100 В/м и 1 – 100 нТ соответственно. Кроме того, инфразвук может приводить к генерации ионного и магнитного звуков с

периодом $T \sim 1 - 100$ с. Электромагнитные волны наряду с ударной и акустико-гравитационной волнами способны вызывать возмущения в атмосфере и геокосмосе на удалениях $\sim 100 - 1000$ км от траектории метеороида. Альвеновский импульс должен наблюдаться также в магнито-сопряженной области.

Плазменные эффекты вызываются ионизацией следа метеороида движущимся с высокой (12 – 50 км/с) скоростью тела и ударной волной, сопровождающей его падение. Линейная и объемная концентрации электронов могут достигать ~ $10^{22} - 10^{26}$ м⁻¹ и $10^{21} - 10^{22}$ м⁻³ соответственно. На всех высотах плазма, однако, остается слабоионизированной. Время релаксации t_N концентрации электронов N за счет прилипания к молекулам воздуха и рекомбинации с метеорными ионами составляет ~ 10 - 100 мс. Время релаксации температуры электронов ~ 10 - 100 нс. При $t ~ t_N$ проводимость плазмы σ от N практически не зависит и составляет ~ 10^3 Ом⁻¹ м⁻¹. При $t > t_N$ значения σ быстро уменьшаются пропорционально N(t).

При помощи плазменного следа (плюма) может осуществляться взаимодействие нижележащих слоев атмосферы с вышележащими (ионосферой и магнитосферой). Скорость подъема вещества в горячем следе может достигать 2 – 6 км/с, время подъема — 10 – 20 с. Вертикальная скорость подъема продуктов взрыва ~ 100 м/с, время подъема ≈ 100 с. Движение плазмы и заряженных частиц в геомагнитном поле порождает вторичные электромагнитные, МГД и плазменные эффекты (электрические токи, волны, неустойчивости и др.). Выше 100 км, где инфразвуковая волна становится нелинейной, на крутом ее фронте может генерироваться градиентно-дрейфовая не- $T \approx 1 - 100$ c. Частота лрейфовоустойчивость ионного звука с диссипативной неустойчивости может достигать 10⁶ – 10⁸ Гц. Распад этих неустойчивостей может приводить к электрофонному эффекту.

Результаты наблюдений. Ряд из эффектов наблюдался при помощи радиофизических и магнитометрических методов. Измерения выполнены в Радиофизической и Магнитометрической обсерваториях XHУ. Привлекались также данные сети ионозондов, магнетометров и средств GPS. Ионосферные эффекты регистрировались на расстояниях до 3000 км. Экспериментально установлено, что падение метеороидов сопровождается генерацией акустических ($T \approx 0, 1-5$ мин) и гравитационных ($T \approx 15-130$ мин) волн. Эти волны на расстояниях ~ 1-3000 км приводили к изменениям N с относительной амплитудой порядка единиц процентов (для акустических волн) и десятков процентов (для гравитационных волн).

Магнитный эффект метеороидов был ~1 нТл при T = 1 - 1000 с. *Н*-компонента главного магнитного поля изменялась на 1 - 2 нТл с периодом 30 - 60 мин, длительностью возмущения ≈ 2 ч и скоростью его распространения близкой к 300 м/с. Как показало моделирование, эффект вызывался модуляцией ионосферных токов акустико-гравитационными волнами.

Электрический и магнитный эффекты инфразвука в атмосфере

Л. Ф. Черногор

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, Харьков

Цель доклада — изложение результатов расчетов электрического и магнитного эффектов инфразвука, сгенерированного природными и техногенными источниками (табл. 1, 2).

Воздействие на систему Земля – атмосфера – ионосфера – магнитосфера высокоэнергичных источников приводит к генерации синхронных возмущений акустического (барического), электрического и магнитного полей. Механизм генерации этих полей связан с вариациями плотности объемного заряда с амплитудой ρ_a в приземной атмосфере (высота $z_0 \leq 10-100$ м) при периодических изменениях давления воздуха с амплитудой p_a .

Источник	Δp , Па	<i>T</i> , c	<i>Е</i> _{<i>a</i>} , В/м	<i>В</i> _{<i>a</i>} , нТл	Примечание
Ядерный взрыв: – эквивалент 1 кт – эквивалент 1 Мт – эквивалент 1 Гт	$ \begin{array}{c} 10^{3} \\ 10^{3} \\ 10^{3} \end{array} $	5–10 50–100 500–1000	56 56 56	190 190 190	Расстояние R = 10 км R = 100 км R = 1000 км
Химический взрыв: – масса 1 кг – масса 1 т – масса 1 кт	10^4 10^3 10^3	0,05–0,1 0,5–1 5–10	560 56 56	1900 190 190	R = 10 M R = 1 KM R = 10 KM
Старт ракеты	66–655	0,01–0,1	3,7–37	12,5–125	Тяга – $10^6 - 10^8$ Н
Полет ракеты	0,1–0,3	1–10	(5,6–17)·10 ⁻³	$(1,9-5,7) \cdot 10^{-2}$	Тяга – $10^6 - 10^8 H$
Старт самолета	200-600	0.1–1	11–34	38–114	Мощность - 100 МВт
Полет самолета	1–10	0,1–1	5,6.10 ⁻² -0.56	0,19–1,9	Мощность - 100 МВт
Ветровая электростанция	15–33	10–50	84–185	2,9–6,3	Вблизи источника
Мегаполис	0,5–1	0,05–0,1	(2,8–5,6)·10 ⁻²	0,1–0,2	Площадь — 100 км ²
Сброс воды с плотины	(0,7–2)·10 ⁴	~1	392–1120	1330–3800	Высота плотины – 100 м, площадь потока воды – 100 м ²
Посадка космиче- ского корабля	2–20	1–10	0,11–1,1	0,4–3,8	<i>R</i> = 100 км, масса – 20 т

Таблица 1. Техногенные источники инфразвука

Из уравнений Максвелла следуют такие оценки амплитуд напряженности электрического и индукции магнитного полей:

$$E_a = \left(\frac{\rho_a z_0}{\varepsilon_0}\right) \left(\frac{p_a}{p_0}\right), \quad B_a = \frac{E_a}{c},$$

где ε_0 и μ_0 — электрическая и магнитная постоянные, p_0 — давление при z = 0, c — скорость света. Результаты оценок E_a и B_a , периодов T акустического сигнала для $\rho_a \approx 5 \cdot 10^{-10}$ Кл/м³, $z_0 = 100$ м, $p_0 \approx 10^5$ Па приведены в табл. 1, 2, откуда следует, что электрические и магнитные эффекты различных источников, как правило, являются регистрируемыми при чувствительности электрометров в 0,01 В/м и магнитометров в 10 пТл.

Источник	Δp , Па	<i>T</i> , c	<i>Е</i> _{<i>a</i>} , В/м	<i>В</i> _a , нТл	Примечание
Солнечное затмение	0,1–0,3	300-400	(5,6–16,8)·10 ⁻³	(1,9–5,7)·10 ⁻²	Площадь генерации – 10^{13}м^2
Солнечный терминатор	0,1–0,3	300-400	(5,6–16,8)·10 ⁻³	(1,9-5,7)·10 ⁻²	Площадь генерации – 10 ¹⁰ –10 ¹¹ м ²
Геокосмическая буря	0,1–1	10–100	(0,56–5,6)·10 ⁻²	1,9.10 ⁻² -0,19	Площадь – $2 \cdot 10^{11} \text{м}^2$
Полярные сияния	0,1–1	10–100	(0,56–5,6)·10 ⁻²	1,9.10 ⁻² -0,19	Площадь – 10^{14} м ²
Полет болида, астероида	10-10 ³	1–100	0,56–56	1,9–190	Вблизи эпицентра, диа- метр тела – 1–30 м
Погодный фронт, циклон, ураган	1–10	100-300	5,6.10 ⁻² -0,56	0,19–1,9	Вблизи фронта
Обтекание ветром гор	10–20	50–300	0,6–1,1	1,9–3,8	Вблизи гор
Взрыв вулканов	$2 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^7$	0,1–1	1,1·(10 ³ -10 ⁶)	3,8·(10 ³ -10 ⁶)	Вблизи вулкана
Горные лавины	1–400	10–100	5,6.10 ⁻² -22,4	0,19–76	Вблизи лавины
Морской шторм	0,2–3,4	5–20	1,1.10 ⁻² -0,2	3,8.10 ⁻² -0,65	Вблизи шторма, ско- рость ветра – 10–20 м/с
Лесной пожар	200	10-10 ³	11,2	38	Площадь – 10^4 – 10^6 м ²
Сильное цунами	25–30	$10^2 - 10^3$	1,4–1,7	4,8–5,7	Вблизи эпицентра
Сильное землетрясение	200–300	14–140	11,2–16,8	38–57	Вблизи эпицентра
Естественные условия	0,4–0,7	1–100	(2,2-3,9).10 ⁻²	(7,6–13,3)·10 ⁻²	Энергия в течение суток (около 10 ⁵ с)
Молния, гром	0,3–1	0,1–1	(1,8-5,6).10-2	0,06–0,19	Вблизи грозы

Таблица 2. Естественные источники инфразвука

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Формирование электрического состояния атмосферного пограничного слоя средних широт над сушей

<u>С. В. Анисимов</u>, С. В. Галиченко, К. В. Афиногенов, А. В. Гурьев, А. С. Козьмина, А. А. Прохорчук Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Атмосферный пограничный слой (АПС) — участок глобальной электрической цепи, характеризующийся существенным вкладом в электрическое сопротивление столба атмосферы и значительной электродинамической вариабельностью [1]. Электрическая проводимость АПС обусловлена наличием ионов, образующихся под воздействием космических лучей, радиоактивного излучения земной коры и последовательности радиоактивных распадов изотопов радона, проникающего в приземную атмосферу в результате эсхаляции из грунтовых пород и почвенной диффузии. Радон и продукты его распада вносят существенный вклад в суммарную ионизацию АПС и определяют значительную часть аэроэлектрической вариабельности АПС над сушей.

Представлены результаты натурных наземных аэроэлектрических наблюдений, а также объемной активности радона и концентрации аэрозольных частиц, выполненных на Геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 43°26' E]. Разработана стохастическая электродинамическая модель, воспроизводящая эволюцию высотных профилей электрической проводимости и напряженности аэроэлектрического поля в невозмущенной нижней атмосфере над сушей средних широт. Приведены результаты численного моделирования характерных суточных вариаций основных аэроэлектрических величин, а также интенсивности ионообразования в невозмущенной нижней атмосфере над сушей средних широт. Установлено, что развитие конвекции в атмосференом пограничном слое приводит к уменьшению электрической проводимости вблизи поверхности земли. Показано, что вертикальный перенос радона приводит к более однородному высотному распределению электрической проводимости и увеличению напряженности поля в приземном слое [2–6].

Рассмотрены физические механизмы и приведены модельные оценки изменений вертикальных аэроэлектрических профилей (удельной электрической проводимости, плотности объемного заряда и напряженности электрического поля) в невозмущенной нижней атмосфере средних широт, связанные с эволюцией АПС, изменением скорости эсхаляции и адвекции радона, а также суточной вариацией ионосферного потенциала.

До высот около 400 м электрическое состояние атмосферы исследовалось с использованием привязного аэростата с автономной аппаратной платформой и наземного информационно-измерительного комплекса среднеширотной геофизической обсерватории «Борок». По результатам измерений высотных профилей напряженности атмосферного электрического поля, полярных электрических проводимостей, спектрального распределения счетной концентрации аэрозольных частиц и объемной активности радона выполнены оценки средних значений измеренных величин, а также вариабельности плотности объемного заряда и атмосферного вертикального тока проводимости. Исследована высотная зависимость электрического потенциала по отношению к поверхности земли и электрического сопротивления столба приземной атмосферы при различной температурной стратификации.

Предполагается, что высотные аэроэлектрические профили могут служить объективными и оперативными параметрами состояния атмосферного пограничного слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 16-17-10209).

- 1 Анисимов С. В., Мареев Е. А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи // Физика Земли. 2008. № 10. С. 8–18.
- Anisimov S. V., Galichenko S. V., Shikhova N. M. Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: an experimental and numerical study // Atmos. Res. 2014. V. 135–136, P. 244–254.
- 3. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Шихова Н. М., Афиногенов К. В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 4. С. 445–454.
- 4. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В. Транспорт радона и формирование электрического состояния атмосферного пограничного слоя // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016, Т. 9, № 4, С. 7-14.
- Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В., Макрушин А. П., Шихова Н. М. Объемная активность радона и ионообразование в невозмущенной нижней атмосфере: наземные наблюдения и численное моделирование // Физика Земли. 2017. № 1. С. 155–170.
- 6. Anisimov S. V. Galichenko S. V., Mareev E. A. Electrodynamic properties and height of atmospheric convective boundary layer // Atmos. Res. 2017. V. 194, P. 119–129.

Глобальные и региональные составляющие электричества невозмущенной нижней атмосферы средних широт

<u>С. В. Галиченко</u>, С. В. Анисимов Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Электрическое состояние атмосферы формируется в результате сложного нелинейного взаимодействия процессов, протекающих в широком диапазоне пространственно-временных масштабов, у нижней границы которого располагаются взаимодействия, традиционно относящиеся к "микрофизическим" или физико-химическим, такие как образование ионных пар космическими лучами и продуктами распада радиоактивных ядер, рекомбинация ионов, совместная эволюция аэрозольных частиц и атмосферных ионов; к верхней границе диапазона можно отнести поддержание ионосферного потенциала и токов глобальной электрической цепи (ГЭЦ) грозовыми и магнитосферными генераторами [1-3]. В нижней тропосфере на динамику и пространственное распределение электрической проводимости и плотности объемного электрического заряда существенное влияние оказывают региональный перенос воздушных масс и температурная стратификация атмосферного пограничного слоя (АПС), определяющие транспортные свойства турбулентности по отношению к скалярным полям электрически заряженных компонент атмосферы, а также их прекурсоров, и векторным полям градиентов этих полей, определяющих турбулентные потоки субстанций, напряженность электрического поля и плотность атмосферного электрического тока [4-7].

В докладе рассматриваются физические механизмы, определяющие эволюцию высотных профилей электрической проводимости, плотности объемного заряда и электрического поля в невозмущенной нижней атмосфере средних широт. Выполнены оценки влияния глобальных и мезомасштабных локальных процессов на вариабельность электрической проводимости и главной компоненты электрического поля атмосферы. Исследован эффект восхода солнца, получены оценки скорости аккумуляции заряда в столбе нижней атмосферы и соответствующей скорости роста напряженности поля вблизи земной поверхности. Показано, что основной причиной увеличения средней плотности заряда является разрушение устойчивой стратификации АПС и трансформация высотного профиля электрической проводимости вслед за конвективным перемешиванием радона и его дочерних продуктов. Результаты численного моделирования сопоставляются с результатами натурных полевых наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 16-17-10209).

- 1. *Mühleisen R*. The global circuit and its parameters. In: Dolezalek H, Reiter R (eds) Electrical processes in atmospheres. Verlag, Darmstadt, West Germany, pp. 467–476 (1977).
- 2. Rycroft M. J., Harrison R. G., Nicoll K. A., Mareev E. A. An overview of Earth's global circuit and atmospheric conductivity // Space Sci. Rev. 137, 83–105 (2008).
- 3. *Williams E., Mareev E. A.* Recent progress on the global electrical circuit // Atmos. Res. 2014. V. 135–136, P. 155–174.
- 4. *Anisimov S. V., Galichenko S. V., Shikhova N. M.* Space charge and aeroelectric flows in the exchange layer: an experimental and numerical study // Atmos. Res. 2014. V. 135–136, P. 244–254.
- Анисимов С. В., Галиченко С. В., Шихова Н. М., Афиногенов К. В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50, № 4. С. 445–454.
- 6. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В., Макрушин А. П., Шихова Н. М. Объемная активность радона и ионообразование в невозмущенной нижней атмосфере: наземные наблюдения и численное моделирование // Физика Земли. 2017. № 1. С. 155–170.
- 7. Anisimov S. V., Galichenko S. V., Mareev E. A. Electrodynamic properties and height of atmospheric convective boundary layer // Atmos. Res. 2017. V. 194, P. 119–129.

Влияние переноса радона в нижней атмосфере на его поток с земной поверхности

Э. М. Дмитриев

Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Объемная активность (ОА) радона — один из основных ионизирующих факторов нижней атмосферы, формирующих сопротивление нижней атмосферы, как части глобальной электрической цепи. При моделировании процессов переноса радона в нижней атмосфере и его воздействия на ионообразование величина потока радона с поверхности грунта предполагается заданной [1–2]. В ряде работ рассматривается воздействие ряда атмосферных процессов на поток радона с поверхности грунта [3–4]. Цель данной работы — оценка воздействия турбулентного переноса радона в атмосферном пограничном слое (АПС) на интенсивность его потока с поверхности грунта.

Перенос радона в грунте и атмосфере описывается задачей [5]:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{G} \frac{\partial A}{\partial z} \right) - \lambda \left(A - A_{\infty} \right), \quad -\infty < z \le 0,$$
$$\frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{A}(z) \frac{\partial A}{\partial z} \right) - \lambda A, \quad 0 \le z < \infty, \tag{1}$$

$$A\big|_{z\to\infty} = A_{\infty}, \quad A\big|_{z=-0} = A\big|_{z=+0}, \quad \left(K_G \frac{\partial A}{\partial z}\right)\big|_{z=-0} = \left(K_A \frac{\partial A}{\partial z}\right)\big|_{z=+0}, \quad A\big|_{z\to\infty} = 0.$$

где A — ОА радона в атмосфере и поровая активность радона в почве, приходящаяся на единицу объема порового пространства, $K_A(z)$ и K_G — коэффициент турбулентной диффузии радона в атмосфере и эффективный (объемный) коэффициент диффузии радона в почве, λ — постоянная распада радона, A_{∞} — поровая активность почвенного радона, находящегося в радиоактивном равновесии с Ra²²⁶.

В работе [5] было получено аналитическое решение задачи (1) для постоянного коэффициента турбулентной диффузии атмосферы K_A , что физически не корректно и ведет к аномально быстрому убыванию ОА радона с высотой. На рис. 1. представлены примеры численных решений стационарной задачи (1) для более реалистичных аппроксимаций $K_A(z)$. Решения соответствуют высотным профилям A(z) наблюдаемым в природе и получаемым в результате расчетов по более сложным моделям [2]. Численное решение показывает, что в стационарном случае при любых физически возможных параметрах задачи (1) плотность потока радона с земной поверхности, рассчитанная с учётом турбулентного переноса радона в АПС, менее чем на 1% отличается от плотности потока радона, рассчитанного для нулевой объёмной активности радона на земной поверхности. Для нестационарной задачи (1) справедливы аналогичные оценки.



Рис. 1. Зависимость объемной активности радона *A* от высоты *z* для разных высотных профилей коэффициента турбулентной диффузии *K* при устойчивой (а) и неустойчивой (б) стратификации.

Таким образом, показано, что при расчёте высотных профилей ОА радона в АПС в качестве граничного условия действительно можно задавать среднее значение плотности потока радона на земной поверхности, полученное из решения краевой задачи в грунте либо из результатов измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 16-17-10209) и РФФИ (грант № 15-05-04960).

- 1. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В. Транспорт радона и формирование электрического состояния атмосферного пограничного слоя // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2016, Т. 9, № 4. С. 1–9.
- Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В., Макрушин А. П., Шихова Н. М. Объемная активность радона и ионообразование в невозмущенной нижней атмосфере: наземные наблюдения и численное моделирование // Физика Земли. 2017. № 1. С. 1–16.
- 3. *Яковлева В. С.* Моделирование влияния состояния атмосферы и литосферы на динамику плотности потока радона и торона с поверхности земли // Известия ТПУ. 2010. Т. 317. № 2. С. 162–166.
- 4. *Perrier F., Girault F.* Harmonic response of soil radon-222 flux and concentration induced by barometric oscillations // Geophys. J. Int. 2013. V. 195. P. 945–971.
- 5. Паровик Р. И. Модель нестационарной диффузии–адвекции радона в системе грунт–атмосфера // Вестник КРАУНЦ. Сер. Физ.-мат. науки. 2010. №1. С. 39–45.

Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эволюцию электрической структуры конвективного облака по данным численного моделирования

<u>Ю. А. Довгалюк</u>, Н. Е. Веремей, А. А. Синькевич Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург

Рассмотрен случай развития грозовых облаков над Индией 11.05.2009 г. В рассматриваемый день наблюдалось сильное аэрозольное загрязнение атмосферы. Выполненные измерения показали, что облако имело инвертированную полярность (отрицательный заряд располагался выше положительного, что противоположно обычно наблюдаемому распределению зарядов) [1].

Выполнено численное моделирование развития данного облака с помощью полуторамерной нестационарной модели, разработанной в ГГО. Данная модель учитывает электрические процессы в облаке. Моделировалось два случая: 1) при фоновом содержании аэрозоля; 2) при повышенном аэрозольном загрязнении. Полагалось, что аэрозольные частицы обладают льдообразующими свойствами. В результате получено, что под действием больших концентраций аэрозоля существенно трансформируется динамическая, микрофизическая и электрическая структура облака. Значительно усиливается осадкообразование. Полярность облака становится инвертированной, что согласуется с данными натурных наблюдений.

Изменение полярности облака объясняется тем, что аэрозоли, содержащиеся в атмосфере в большом количестве, обладают льдообразующими свойствами. В результате увеличивается число облачных ледяных кристаллов в сравнительно низкой части облака (хотя и в области отрицательных температур). Эти кристаллы сталкиваются с присутствующими там же градинами (важно, что кристаллы и градины не оказываются разнесенными в пространстве, в отличие от случая, когда влияние аэрозоля не учтено). При их соударении работает механизм электризации «лед-лед». Кристаллы заряжаются отрицательный заряд в вершину облака. Напротив, процесс разделения зарядов при столкновении облачных капель с осадками, ответственный за формирование обычной зарядовой структуры, становится менее интенсивным (количество облачных капель уменьшается за счет их замерзания).

На рис. 1 приведен вертикальный профиль объемной плотности электрического заряда для двух разных моментов времени эволюции моделируемого облака. Видно, что сначала (t = 15 мин), когда число ледяных кристаллов было незначительно, зарядовая структура облака в обоих случаях была практически одинаковой. Однако к моменту, когда произошел первый грозовой разряд, в случае аэрозольного загрязнения картина стала существенно иной, и полярность облака оказалась отрицательной.



Рис. 1. Высотный профиль объемной плотности электрического заряда на 15-й (вверху) и 19-й (внизу) мин эволюции облака. Черные и серые кривые —

случаи без учета и с учетом аэрозольного загрязнения соответственно.

Момент времени 19 мин непосредственно предшествует грозовому разряду.

Таким образом, учет льдообразующего действия аэрозольных примесей привел к инвертированию зарядовой структуры облака, что и наблюдалось в ходе натурных исследований. Отметим, что необходимо проследить наличие этого эффекта на большем числе случаев, в том числе в разных физикогеографических регионах.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 15-05-05719_a, 17-55-80048 БРИКС_a, 17-05-00965_a.

Литература

1. Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Гопалакришнан В., Комаровских К. Ф., Муругавел П., Павар С. Д., Синькевич А. А. Численное моделирование влияния сильного аэрозольного загрязнения атмосферы на динамику электрической структуры кучево-дождевого облака // Метеорология и гидрология. 2015. № 12. С. 5–18.

Влияние аэрозольного загрязнения на напряженность электрического поля в условиях Москвы и Московской области

<u>А. В. Крашенинников</u>, В. А. Рыбаков, С. П. Соловьев Институт динамики геосфер РАН, Москва

Во многих случаях значительные изменения параметров электрического состояния атмосферы связаны с локальными источниками возмущений. Степень ионизации воздуха, присутствие аэрозольных частиц, характер их распределения по размерам, а также метеорологические условия оказывают влияние пространственно-временные распределения атмосфернона электрических параметров в приземном слое атмосферы. Наличие аэрозольных частиц, являющихся стоком для атмосферных ионов, оказывает влияние на электродный эффект, и при достаточно больших концентрациях частиц электрическое состояние приземного слоя может определяться только тяжелыми ионами, образовавшимися за счет взаимодействия аэрозоля с атмосферными ионами [1]. Концентрация легких атмосферных ионов является основным фактором, влияющим на электропроводность воздуха. Когда легкие ионы присоединяются к аэрозольным частицам с малой подвижностью, происходит уменьшение проводимости атмосферы [2, 3], что в свою очередь приводит к увеличению локального электрического поля.

Согласно теоретическим оценкам присутствие аэрозольных частиц в атмосфере приводит к увеличению потенциала ионосферы на 8–10% [4]. Величина атмосферного электрического поля «хорошей погоды» в первую очередь определяется глобальной электрической цепью и составляет 100–300 В/м. Общая степень загрязненности воздуха, зависящая от места, влияет на дневной профиль вариаций поля, при этом непериодические увеличения аэрозольных примесей в атмосфере (например, в результате пожаров) сопровождаются увеличением в электрическом поле. Существует зависимость от типа аэрозоля [5], отмечается, что основную роль играют частицы размеров 0,01–0,2 мкм [4].

В данной работе используются данные измерений приземного электрического поля в двух точках, одна из которых находится в мегаполисе (г. Москва), а другая — на удалении от него, в Московской области, где воздух не так загрязнен (ГФО «Михнево»). Также используются данные наблюдений за метеоусловиями в тех же местах. Целью данной работы является сравнение показаний этих датчиков в невозмущенные дни, что позволит оценить влияние аэрозольного загрязнения.

Литература

1. *Куповых Г. В., Морозов В. Н., Шварц Я. М.* Теория электродного эффекта в атмосфере. – Таганрог. Изд-во ТРТУ. 1998. – 124 с.

- *Reiter R.* Under which conditions can recordings of atmospheric electric conductivity be regarded as indicator of particulate air pollution? // Res. Lett. Atmos. Electr. Japan, 4. 1984. P. 35–48.
- Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н. Влияние индустриального загрязнения воздушного бассейна на электропроводность атмосферы в Ростовена-Дону // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 1990. № 527. С. 41–43.
- 4. *Морозов В. Н.* Влияние глобального распределения аэрозольных частиц на электрический потенциал ионосферы. / С.-П.: Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 2015. № 577. С. 106–112.
- 5. *Reiter R.* Phenomena in atmospheric and environmental electricity. / The Netherlands: Elsevier. 1992. 541 p.

Некоторые результаты инициирования искусственных молниевых разрядов металлизированными электропроводящими нитями

М. Н. Бейтуганов¹, <u>X. X. Машуков</u>², М. Х. Тлеужева², А. Н. Пивкин³ ¹ Северо-Кавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы, Росгидромет, Нальчик ² Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик ³ Научно-исследовательский институт полимерных материалов, Пермь

Представлены результаты натурных испытаний с БКРД (бескорпусной ракетный двигатель), проведенных на НИП «Кызбурун» в 2016–2017 гг., показывающих перспективность применения БКРД для инициирования искусственных молний в грозоградовых облаках с целью предотвращения таких опасных явлений, как наземные молнии, а также как средство доставки в облака частиц кристаллизующего реагента для активного воздействия на облачные процессы.

Согласно существующим представлениям, зрелое грозовое облако представляет собой вертикально расположенный электрический диполь, на верху которого, на высоте около 8–9 км находится центр положительного заряда и нижнего отрицательного заряда с центром на высоте 1–2 км выше изотермы 0°С. Иногда под нижним отрицательным зарядом возникает небольшой положительный заряд. Возникновение внутриоблачных и наземных молний связано с коронным разрядом с группы близко расположенных капель или тающих градин, свободно падающих в грозовом облаке. Для зарождения лидерного типа разряда, необходима напряжённость поля в несколько сот кВ/м, а для дальнейшего его продвижения, т. е. для образования молнии, достаточны поля, с напряжённостями в сотни В/см.

При использовании БКРД для инициирования молниевых разрядов, поверхность стабилизатора полёта покрывалась токопроводящей краской, и дополнительно к ней крепилась токопроводящая проволока (например, медная) или металлизированная кевларовая нить. Очевидно, что усиление внешнего электрического поля, а, следовательно, и вероятность инициирования искусственных молний для БКРД существенно повышается с использованием металлизированного кевлара (или медной проволоки) длиной в сотни метров, сматывающегося со специального устройства. Дистанционное управление запуском БКРД осуществлялось с помощью электронного блока, настроенного на частоту 433 МГц. Момент старта фиксировался по звуку работы двигателя с применением чувствительного микрофона. Все сигналы от комплекса измерительной аппаратуры записывались на 9-ти канальный электронный самописец.

Для успешного инициирования искусственных молниевых разрядов определялись электрические параметры облаков, относящихся к грозовым, из которых возможно инициировать молниевые разряды. При этом устанавливалось начало и окончание молниевой активности грозового облака, из которого планировалось произвести искусственный разряд молнии, а также интенсивность молниевых разрядов в нем (число разрядов в единицу времени).

Во время грозы (грозовой процесс средней интенсивности 7–8 разрядов молний в минуту) произведен пуск БКРД, а через 4,163 с аппаратура зарегистрировала инициированный искровой электрический разряд (рис. 1). Сила тока инициированного разряда составила 1–2 А, согласно расчету по формуле: $J_{\rm M} = 10^{-2} R E_{\rm r} [27,0-26,5 \cdot \exp(-0,07R)]$, где $J_{\rm M}$ — амплитудное значения тока в кА, R — расстояние до канала разряда в км, а $E_{\rm r}$ — радиационная составляющая напряженности поля излучения в В/м.



Рис. 1. Снимок с экрана электронного самописца: 1 – канал микрофона; 2 – измеритель тока короны; 3 – экранированный измеритель тока короны; 4 – канал радиоприемника «Волна-К», 100 кГц. Эксперимент 04.08.2016 г.

В летний сезон 2016 г. разработана методика и проведены эксперименты по инициированию искусственных молний на землю из грозовых облаков. За указанный год ракетами с БКРД, поднимающими заземленную металлизированную нить (или медную проволоку) к основанию грозового облака, удалось инициировать 1 разряд молнии и 3 искровых электрических разряда.

В результате проведенных экспериментов также обоснована возможность применения БКРД для засева атмосферы и облаков частицами льдообразующего реагента для целей активного воздействия на облачные процессы.

Оценка влияния термодинамических процессов в атмосфере на ток механического переноса

<u>И. Н. Панчишкина</u>, Г. Г. Петрова, А. И. Петров, Д. А. Критский Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Опыт исследований показывает, что механический перенос зарядов в вертикальном направлении может играть важную роль в балансе электрических токов из атмосферы на землю. Процессы переноса зарядов под действием механических сил влияют на формирование электрической структуры приземного слоя и могут служить индикатором работы локальных генераторов электрического поля атмосферы.

Для пунктов Ростовской области плотность тока механического переноса на землю в среднем имеет отрицательное значение и составляет 20–30% плотности тока проводимости. Из соотношения плотности тока механического переноса $i_{\text{мп}}$ и плотности тока проводимости i_{λ} видно, что полный ток в среднем сообщает земле положительный заряд [1, 2].

В настоящей работе результаты измерений плотности тока механического переноса из атмосферы на землю рассматриваются в комплексе с другими атмосферно-электрическими и метеорологическими характеристиками, что позволяет оценить влияние термодинамических условий в атмосфере на перенос зарядов под действием механических сил. Для выяснения достоверности влияния метеорологических параметров на плотность тока механического переноса и оценки силы этого влияния применялся метод однофакторного дисперсионного анализа. К анализу привлекался экспериментальный материал, полученный в трех пунктах Кашарского района Ростовской области.

В качестве факторов, влияющих на плотность тока механического переноса, были выбраны метеорологические параметры, характеризующие термодинамический режим атмосферы вблизи земной поверхности: разность температуры воздуха Δt на высотах 0,50 м и 2,0 м и разность скоростей ветра ΔU на тех же уровнях. Температура воздуха и скорость ветра измерялась ежечасно. Третьим влияющим фактором был выбран коэффициент турбулентности D_T , который рассчитывался по методу Орленко по измеренным температурам воздуха и скорости ветра на высотах 0,5 и 2 метра [3].

Расчет критерия Фишера F_{ϕ} при разложении статистического комплекса данных $i_{\rm MII}$ на выборки, соответствующие разным градациям влияющего фактора, позволил оценить достоверность этого влияния. В таблице 1 приводятся значения критерия Фишера F_{ϕ} и критерия Стьюдента F_{St} для соответствующих массивов данных, а также показатель силы влияния фактора h_x^2 , рассчитанный по методу Снедекора [4]. Оказалось, что для всех исследуемых факторов $F_{\phi} > F_{St}$, что позволяет считать достоверным их влияние на вариации плотности тока механического переноса с уровнем значимости не превышающим 0,03. Таким образом, влияние каждого фактора на исследуемый признак обнаруживается с вероятностью более 97%.

Таблица 1. Значения критерия Фишера, критерия Стьюдента и показателя силы
влияния факторов на плотность тока механического переноса
для пунктов Ростовской области

Пункты наблюдений	факторы	F_{Φ}	F_{St}	h_x^2
Первомайское 1994 158 часовых серий	Δt	7,5	3,1	12%
	ΔU	9,9	3,1	15%
	D_T	3,7	2,6	7%
Михайловка 1995–1998 582 часовых серии	Δt	87,5	3,0	26%
	ΔU	20,1	3,0	6%
	D_T	35,1	2,6	19%
Платов 2003–2004 320 часовых серий	Δt	7,6	3,1	7%
	ΔU	16,0	3,0	13%
	D_T	16,4	2,6	16%

В силу многофакторности процессов механического переноса заряда в атмосфере и из атмосферы на землю показатель силы влияния метеорологических факторов для исследуемых периодов оказался в пределах от 6% до 26%.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00930 - А.

- 1. *Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N.* Variations of vertical "atmosphereearth" current components and its probable interpretation // in Proc. 10th Int. Conf. Atm. Electricity. 1996. P. 548–551.
- 2. Panchishkina I. N., Petrova G. G., Petrov A. I., Kudrinskaya T. V. Space charge generation in the atmosphere and the density of mechanical transfer current to the ground // Atmospheric Research. 2009. V. 91. P. 238–243.
- Орленко Л. Р. Строение планетарного пограничного слоя атмосферы Л.: Гидрометеоиздат. 1979. 270 с.
- 4. Лакин Г. Ф. Биометрия М.: Высшая школа. 1990. 352 с.

Результаты экспедиционных исследований выполнимости закона Ома в приземной атмосфере

<u>И. Н. Панчишкина</u>, Г. Г. Петрова, А. И. Петров, А. В. Шевченко Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

При анализе электрических процессов в приземной атмосфере следует иметь в виду, что при протекании тока проводимости вблизи земной поверхности обнаруживаются нелинейные эффекты, обусловленные близостью электрода, в качестве которого выступает проводящая земная поверхность [1–3]. В настоящей работе рассматривается зависимость плотности тока проводимости в приземном слое от напряженности электрического поля. Для анализа выбраны данные измерений, полученные в пунктах, в которых в период экспедиций наблюдались наиболее высокие значения напряженности электрического поля.

Плотности полярных составляющих тока проводимости j_{λ^+} и j_{λ^-} рассчитаны по значениям полярных удельных электропроводностей воздуха λ_+ и λ_- и напряженности электрического поля *E* на соответствующей высоте:

$$j_{\lambda_+} = \lambda_+ E, \quad j_{\lambda_-} = \lambda_- E.$$

Обнаружено, что при усилении электрического поля, направленного к земной поверхности, поток положительных ионов увеличивается пропорционально напряженности электрического поля, что свидетельствует о выполнении закона Ома.



Рис. 1. Эмпирические ряды регрессии плотности полярных токов проводимости $j_{\lambda^+}(1)$ и $j_{\lambda^-}(2)$ по напряженности электрического поля атмосферы, пик Чегет, август 2010 г. Планками погрешностей показана стандартная ошибка.

Ток отрицательных ионов линейно растет лишь при сравнительно низких напряженностях поля, затем его рост прекращается, что указывает на отклонение от закона Ома при достаточно сильных полях (рис.1).

Это происходит в связи с тем, что положительные ионы, появляются вблизи земной поверхности не только за счет ионизации: они приносятся в этот слой из других более высоких слоев атмосферы. Количество отрицательных ионов, приносимых в этот слой из нижних слоев, ограничено из-за близости земной поверхности. Возникает дефицит отрицательных ионов, их концентрация снижается, что приводит к уменьшению плотности тока ионов этой полярности. При изменении знака поля обнаруживается снижение концентрации положительных ионов с увеличением напряжённости поля.

Следует отметить, что в разных пунктах наблюдений различаются угол наклона омического участка и интервалы значений напряженности электрического поля, при которых перенос отрицательных ионов электрическим полем подчиняется закону Ома. Отличаются и значения плотности тока насыщения, что указывает на различия мощности ионизаторов воздуха в пунктах измерений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00930-а.

- 1. *Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N.* Variations of vertical "atmosphereearth" current components and its probable interpretation // in Proc. 10th Int. Conf. Atm. Electricity. 1996. P. 548–551.
- Dolezalek H. Zur berechnung des luftelektrischen Stromkreises III. Kontrolle des Ohmschen gesetzes durch messung. // Geophys. Pur. Appl. 1960. V. 46. P. 125–144.
- Adzhiev A. H., Boldyreff A. S., Dorina A. N., Kudrinskaya T. V., Kupovykh G. V., Novikova O. V., Panchishkina I. N., Pestov D. A., Petrov A. I., Petrova G. G., Redin A. A. Alpine Atmospheric Electricity Monitoring and Radon-222 Measurement near Elbrus // in Proc.14th Int. Conf. Atm. Electricity. 2011. P.112–115.

Процессы разделения объёмных зарядов вблизи земной поверхности: результаты наблюдений

<u>А. И. Петров</u>, Г. Г. Петрова, И. Н. Панчишкина, Е. В. Егоров, Е. А. Овчинникова Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Результирующее поле вблизи земной поверхности в каждый момент времени есть суперпозиция полей глобальной системы зарядов и токов и локальных зарядов, образующихся в нижней атмосфере вследствие множества процессов электризации и разделения в пространстве зарядов разного знака.

В докладе представлены результаты исследований плотности объёмного электрического заряда, полученные по единой методике [1] в разные периоды на территории Кашарского района Ростовской области и на полигоне Цимлянской научной станции Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН. Средняя для слоя плотность объемного заряда ионов всех групп подвижностей подсчитывалась на основании экспериментальных данных о градиенте потенциала атмосферы G на разных уровнях h: верхнем (в) и нижнем (н), — исходя из уравнения Пуассона для одномерного случая:

$$\rho = -\varepsilon_0 \frac{G_{\scriptscriptstyle \rm B} - G_{\scriptscriptstyle \rm H}}{h_{\scriptscriptstyle \rm B} - h_{\scriptscriptstyle \rm H}}.$$
 (1)

Значения градиента потенциала атмосферы вычислялись по результатам измерений потенциалов на уровнях 1, 2, 3 м методом радиоактивного коллектора, в качестве которого использовался иониевый излучатель. Измерение напряженности поля на уровне земли осуществлялось электростатическим флюксметром системы ГГО им. А.И.Воейкова «Поле-2» с последующей регистрацией сигнала флюксметра посредством персонального компьютера. Для дальнейшего анализа брались среднечасовые значения исследуемых величин.

Из рис. 1 видно, что в пределах нижнего 3-метрового слоя образуются слои объёмного заряда разных знаков. При этом по модулю заряды соседних слоёв нарастают и убывают синхронно. Коэффициент корреляции между зарядами слоёв для исследуемых периодов в пунктах наблюдений лежит в пределах –0,5 ÷ –0,7. В работе делается попытка выявить те факторы, которые определяют наблюдающуюся динамику объёмных зарядов в соседних слоях приземного слоя. Для объёмного заряда лёгких ионов на основании уравнения Пуассона можно записать:

$$\rho_{\text{л.н.}} = \frac{\varepsilon_0}{\lambda} \nabla \cdot \boldsymbol{j}_{\lambda} - \frac{\varepsilon_0}{\lambda} \boldsymbol{E} \cdot \nabla \lambda.$$
(2)

 $(\lambda - удельная электропроводность атмосферы,$ *E* $- вектор напряжённости электрического поля, <math>j_{\lambda}$ - плотность тока проводимости, ε_0 - электрическая постоянная).



Рис. 1. Пример типичных рядов динамики значений плотности объёмного заряда в двух соседних слоях вблизи земли: 1 — от 1,5 до 2,5 м; 2 — от 0,5 до 1,5 м; (Платов Кашарского района Ростовской обл., 17–19 августа 2004 г.).

Первый член в уравнении (2), обусловленный дивергенцией тока проводимости в атмосфере вблизи её границы с земной поверхностью, относится к электродному эффекту поверхности земли. Второй член уравнения (2) описывает процессы формирования объёмного заряда вследствие прохождения тока проводимости в атмосфере через слои с градиентом её электропроводности. При уменьшении электропроводности с высотой её градиент отрицателен, что обусловливает отрицательный знак формирующегося в соответствующем слое объёмного заряда. Заряды лёгких ионов адсорбируются аэрозолями. Слои заряженного аэрозоля могут длительное время присутствовать в атмосфере, определяя величину и вертикальный профиль электрического поля. В случае накопления эманаций вблизи земли положительный объёмный заряд электродного эффекта имеет место лишь в нижних десятках сантиметров. Выше поле начинает расти с высотой, что свидетельствует о наличии на этих уровнях отрицательного объёмного заряда, обусловленного отрицательным градиентом электропроводности. Наблюдения показывают, что поле на уровне земли под отрицательно заряженными слоями атмосферы оказывается в этих условиях существенно сниженным.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), гранты 16-05-00930-а и 17-05-41121 РГО-а.

Литература

 Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н., Кудринская Т. В., Петров Н. А. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы // Известия высших учебных заведений, Сев.-Кав. рег., Естест. науки. 2010. № 3. С. 47–52.

Особенности вертикального профиля электропроводности приземной атмосферы при различном эманировании почвы

<u>Г. Г. Петрова</u>, И. Н. Панчишкина, А. И. Петров, Е. В. Егоров, С. А. Маслов, Н. А. Петров, А. И. Купинская Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Многолетний опыт экспериментальных исследований способствовал пониманию необходимости отдельного описания структуры электродного слоя для различной устойчивости приземного слоя, особенно, если почва в пункте наблюдений заметно эманирует [1, 2]. Значительная эксхаляция радона и накопление его у земли при устойчивой стратификации атмосферы существенно сказывается на вертикальном распределении электропроводности в электродном слое, повышая ионизацию вблизи земной поверхности. Это, в свою очередь, влияет на процессы формирования объемного заряда в нижних слоях глобальной электрической цепи, а значит и на электрическое поле, и на обмен зарядами между землей и атмосферой.



Рис. 1. Вертикальные профили отрицательной (1, 3) и положительной (2, 4) электропроводностей атмосферы и объёмной активности радона-222 (5, 6) в Цимлянске (а, б) и Орловском (в, г); неустойчивая стратификация — треугольники, устойчивая — ромбы.

В работе представлены новые данные о вертикальном распределении полярных электропроводностей и объёмной активности радона-222 в приземной атмосфере и почвенном газе, накопленные за последнее десятилетие, которые подтверждают ранее полученные закономерности. Для 8 пунктов Ростовской области (Цимлянск, Орловский и 5 пунктов Кашарского района), для Прибайкалья и Приэльбрусья приводятся экспериментальные профили концентрации радона-222 и полярных электропроводностей атмосферы в нижнем 3-метровом слое, осредненные отдельно для условий устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы, а также данные о содержании радона-222 в почве (таблица 1). Результаты получены с помощью оригинального измерительно-вычислительного комплекса [3]. На рис. 1 в качестве примера показаны профили исследуемых характеристик для полигона Цимлянской научной станции Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН и, для сравнения, ранее полученные результаты измерений в пос. Орловский. Содержание радона-222 в почве обоих пунктов можно оценить как высокое для территории Ростовской области. Но его содержание в атмосфере Цимлянска оказывается низким из-за слабого эманирования почвы, обусловленного глинистыми слоями. В результате отрицательный градиент электропроводности, типичный для нижней атмосферы в условиях устойчивой стратификации, в Цимлянске не образуется.

Таблица 1. Объёмная активность радона в почвенном газе (Бк/м ³): радон-монитор
«AlphaGUARD PQ2000 PRO», датчик почвенного газа «AlphaGUARD Soil GasUnit»
и электронный насос «AlphaPUMP».

Глубина, м	-0,9	-0,6	-0,1
Орловский	21758	15861	4119
Цимлянск	17600	16500	2600

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), гранты 16-05-00930-а и 17-05-41121 РГО-а.

- 1. *Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N.* Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer // Atmospheric Research (Elsevier). 2009. V. 91. P. 206–214.
- Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н. Процессы формирования электрической структуры нижних слоев атмосферы: экспериментальные исследования и обобщение данных // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 11–12. С. 803–819.
- 3. Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н., Кудринская Т. В., Петров Н. А. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы // Известия высших учебных заведений, Сев.-Кав. рег., Естест. науки. 2010. № 3. С. 47–52.

Исследования вариаций градиента потенциала вблизи земной поверхности при различной стратификации атмосферы с учётом эманирования почвы

<u>Г. Г. Петрова</u>¹, А. И. Петров¹, И. Н. Панчишкина¹, О. Г. Чхетиани², Е. В. Егоров¹, В. А. Болдырева¹ ¹ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону ² Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва

В работе продолжены исследования процессов формирования электрической структуры приземной атмосферы, являющейся важной частью глобальной электрической цепи. Анализируются результаты атмосферноэлектрических измерений лаборатории геофизических исследований Физического факультета Южного федерального университета (ЮФУ) в августе 2014-2015 гг. в период совместных экспедиций с Институтом физики атмосферы им.А.М.Обухова (ИФА РАН) на Цимлянской научной станции ИФА, а также ряда экспедиций ЮФУ предыдущего периода, главным образом, в пунктах Кашарского района Ростовской области. Обсуждаемые данные получены одним и тем же измерительно-вычислительным комплексом [1], дополненным счётчиком аэрозольных частиц АЗ-10. Счётчик предназначен для измерения счетной концентрации аэрозольных частиц с диаметрами от 0,3 до 10 мкм в шести диапазонах: 0,3-0,4; 0,4-0,5; 0,5-1; 1-2; 2-5; более 5. При анализе также использованы данные о профилях температуры до 600 м, полученные с помощью профилемера МТП-5, установленного ИФА на измерительном полигоне Цимлянской научной станции на период экспедиционных измерений.

Как показывают исследования, радиоактивное эманирование почвы непосредственно в пункте наблюдений в значительной мере определяет типичные для данного пункта параметры электрического поля вблизи земной поверхности. По результатам экспедиционных измерений содержание радона-222 в атмосфере на цимлянском полигоне оказалось для обоих периодов измерений более низким, чем для пунктов Кашарского района (табл.1).

Пункт	Федоровка	Платов	Михайловка	Цимлянск
Год	2012	2004	1997	2014
<i>t</i> °С, <i>h</i> = 2 м	16,9	18,6	11,6	22,7
Градиент t °С	0,70	0,52	0,38	1,20
Ск. ветра, <i>h</i> = 2 м	0,4	0,2	0,4	1,3
Коэф. турб., м/с ²	0,009	0,001	0,015	0,010
ОА радона-222, Бк/м ³	58	96	47	24
Часов	10	4	27	3

Таблица 1. Значения характеристик устойчиво стратифицированной приземной атмосферы, осреднённые для профилей поля, представленных на рис.1.

Как видно на рис. 1, где представлены типичные для устойчивой стратификации приземного слоя профили градиента потенциала, в Цимлянске его значения в целом заметно выше, чем в пунктах Кашарского района с более высоким содержанием радона в атмосфере. Среди пунктов Кашарского района поле в нижнем слое атмосферы выше в Михайловке, где наблюдалось наименьшее содержание радона. Возможная интерпретация формирования наблюдающихся профилей электрического поля предложена, например, в работе [3]. Она основана на том, что для объёмного заряда лёгких ионов



Рис. 1. Вертикальные профили градиента потенциала, осреднённые для условий устойчивой стратификации приземного слоя: 1–3 — Федоровка, Платов, Михайловка Кашарского района; 4 — Цимлянск 2014; 5 — результаты Crozier [2].

на основании уравнения Пуассона в проекции на вертикальную ось в случае горизонтально-однородного приземного слоя можно записать:

$$D_{n.u.} = \frac{\varepsilon_0}{\lambda} \frac{\partial j_z}{\partial z} - \frac{\varepsilon_0}{\lambda} E_z \frac{\partial \lambda}{\partial z}.$$
 (1)

Здесь λ — удельная электропроводность атмосферы, E_z и j_z — проекции на вертикаль векторов напряжённости поля и плотности тока проводимости, ε_0 — электрическая постоянная. Отрицательный градиент электропроводности, возникающий при устойчивой стратификации атмосферы вследствие эманирования почвы, способствует формированию отрицательного объёмного заряда, снижающего поле вблизи земли.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), гранты 16-05-00930-а и 17-05-41121 РГО-а.

- 1. Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н., Кудринская Т. В., Петров Н. А. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы // Известия высших учебных заведений, Сев.-Кав. рег., Естест. Науки. 2010. № 3. С. 47–52.
- Crozier W. D. Atmospheric electrical profiles below three meters // J. Geoph. Res. 1965. V. 70. P. 2785–2792.
- Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н. Процессы формирования электрической структуры нижних слоев атмосферы: экспериментальные исследования и обобщение данных // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 11–12. С. 803–819.

Реализации граничного условия земля-атмосфера в стохастических моделях турбулентного переноса ионизирующих примесей и аэроионов

<u>А. А. Прохорчук</u>, С. В. Анисимов, С. В. Галиченко Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Стохастические модели турбулентного переноса, используемые для решения задач атмосферного электричества, обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными подходами [1, 2]. Реализация граничных условий в этих моделях кардинальным образом отличается от постановки граничных условий в теории дифференциальных уравнений [3–6].

В докладе обсуждаются алгоритмические реализации граничных условий первого и второго рода для лагранжевых стохастических моделей, основанных на обобщенном уравнении Ланжевена и описывающих абсолютную дисперсию пассивного скаляра в турбулентной среде. Представлены результаты моделирования турбулентного переноса изотопов радона при неоднородном и однородном вертикальных распределениях энергетических и статистических параметров турбулентности. Выполнена оценка зависимости рассчитанных асимметрии полярных проводимостей и вклада торона в ионизацию приземной атмосферы от реализации обмена субстанциями на границе земля-атмосфера.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 16-17-10209).

- Falkovich G., Gawedzki K., Vergassola M. Particles and fields in fluid turbulence // Rev. Mod. Phys. 2001. V. 73. P. 913–975.
- 2. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В., Макрушин А. П., Шихова Н. М. Объемная активность радона и ионообразование в невозмущенной нижней атмосфере: наземные наблюдения и численное моделирование // Физика Земли. 2017. № 1. С. 155–170.
- Thomson D. J., Physick W. L., Maryon R. H. Treatment of interfaces in random walk dispersion models // Journal of Applied Meteorology. 1997. V. 36. P. 1284–1295.
- 4. *Ditlevsen O. D.* Stochastic models for atmospheric particle dispersion // Probabilistic Engineering Mechanics. 2003. V. 18. № 2. P. 97–106.
- North E. W., Hood R. R., Chao S.-Y., Sanford L. P. Using a random displacement model to simulate turbulent particle motion in a baroclinic frontal zone: A new implementation scheme and model performance tests // Journal of Marine Systems. 2006. V. 60. P. 365–380.
- Wilson J. D., Yee E. A critical examination of the random displacement model of turbulent dispersion // Boundary-Layer Meteorology. 2007. V. 125. P. 399–416.
Полярные сияния как источник инфразвуковых и электрических полей в приземном слое атмосферы

<u>Ю. С. Рыбнов</u>, С. П. Соловьев, А. В. Крашенинников Институт динамики геосфер РАН, Москва

Геофизические процессы, связанные с магнитосферными возмущениями сопровождаются возникновением акустико-гравитационных волн и возмущений электрического поля. Накопленный опыт геофизического мониторинга за инфразвуковыми и электрическими полями в приземном слое атмосферы от различных природных и техногенных источников, показывает определенную взаимосвязь этих явлений [1]. В настоящее время установлено влияние магнитосферных суббурь на вариации атмосферного электрического поля, наиболее ярко проявляющийся в авроральных и полярных широтах [2]. В средних широтах этот эффект проявляется при достаточно мощных магнитосферных суббурях.

Исследования по генерации инфразвука при магнитных суббурях интенсивно проводились в 60–80-х годах 20 века [3–4]. В ряде работ исследовался механизм генерации акустико-гравитационных волн в атмосфере, обусловленных колебаниями давления в ионосфере при повышенной геомагнитной активности. Одним из возможных механизмов генерации наблюдаемых волновых процессов во время суббурь могут быть акустические волны в нейтральной атмосфере, которые возбуждаются при движении дуг полярных сияний со сверхзвуковыми скоростями. Анализ экспериментальных данных показал, что можно выделить несколько типов инфразвуковых колебаний, вызванных магнитными суббурями:

(a) высокочастотные колебания, имеющие период около 0,5-1 секунды и длительность до нескольких часов;

(б) колебания в виде импульсов длительностью $\approx 5-15$ секунд, повторяющихся в течение $\approx 30-40$ минут с периодичностью несколько минут;

(в) квазисинусоидальные колебания с периодом $\approx 1-4$ минуты и длительностью $\approx 10{-}30$ минут.

Целью данной работы является экспериментальное исследование совместного проявления инфразвуковых колебаний давления и вариаций приземного электрического поля в средних широтах при мощных геомагнитных возмущениях. Проведение таких измерений позволит исследовать процессы взаимодействия данных геофизических возмущений в приземном слое атмосферы с возмущениями в ионосфере.

Литература

1. Соловьев С. П., Рыбнов Ю. С., Харламов В. А., Крашенинников А. В. Акустикогравитационные волны и сопутствующие им возмущения атмосферного электрического поля // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57. № 3. С. 1–13.

- 2. Клейменова Н. Г., Козырева О. В., Кубицки М., Оджимек А., Малышева Л. М. Влияние суббурь в ночном секторе Земли на вариации приземного атмосферного электрического поля в полярных и экваториальных широтах // Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т. 52. № 4. С. 494–500.
- G. Chimonas Infrasonic Waves Generated by Auroral Currents // Planet. Spase Sci. V. 18, 1970. P. 591–598.
- 4. *C. R. Wilson* Infrasonic wave generation by aurora // Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. 1975. V. 37, P. 973–988.

ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — ГРОЗОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, МОЛНИЕВЫЕ РАЗРЯДЫ, ИОНОСФЕРНЫЕ И МАГНИТОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

Влияние турбулентности на электрические процессы в грозовых облаках

С. О. Дементьева Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Многие атмосферные явления сопровождаются переносом электрического заряда соударяющимися частицами, а, следовательно, ростом крупномасштабного электрического поля и возникновением электрических разрядов. Среди подобных явлений можно отметить грозы, метели, пылевые бури, извержение вулканов. Чаще всего электризация имеет место в потоках воздуха с высоким уровнем турбулентности, однако роль турбулентности в данных явлениях изучена недостаточно.

Согласно результатам расчетов численных моделей грозового облака, включающих в себя турбулентную диффузию пространственного заряда, обычно она играет деструктивную роль в генерации электрического заряда. Однако, за счет перемешивания частицы с различными массами, турбулентность вызывает флуктуации относительной скорости этих частиц, что существенно сказывается на процессах обмена зарядом. Наиболее интересный вопрос заключается в том, может ли вклад турбулентности в рост крупномасштабного электрического поля при каких-либо условиях быть положительным. Одной из отличительных особенностей турбулентности в многокомпонентной среде является возникновение флуктуаций относительной скорости. Ток зарядки зависит от относительной скорости частиц, а, следовательно, турбулентные флуктуации относительной скорости могут существенно усилить процессы зарядки, даже если среднее значение относительной скорости мало. Таким образом, роль турбулентности, перемешивающей частицы и приводящей к возникновению относительной скорости частиц различной массы, в процессах электризации принципиальна.

В данной работе предложен метод, позволяющий оценить роль турбулентности в электризации грозовых облаков с помощью разработанной модели генерации и роста крупномасштабного электрического поля в слабопроводящей среде, содержащей два типа частиц с различными физическими свойствами. Проведен анализ роли турбулентности в грозовой электризации для индукционного и безындукционного механизмов зарядки, который будет полезен для понимания физических процессов, играющих первостепенную роль в грозовой электродинамике, и дальнейшего их включения в численные модели электризации облаков. Выявлено, что эффект возникновения электрического поля при разделении заряда на сталкивающихся частицах может быть значительно усилен турбулентным перемешиванием частиц с различными массами. Обнаружено, что может наблюдаться экспоненциальный рост крупномасштабного электрического поля при индукционном механизме зарядки, если проводимость среды достаточно низка, а электризация, определяемая интенсивностью турбулентности и размерами частиц, достаточно высока и линейный рост напряженности электрического поля при безындукционном разделении зарядов, обусловленный ростом среднего значения тока зарядки за счет интенсивных флуктуаций заряда. Следует отметить, что в отсутствие турбулентности предложенная модель подтвердила превосходство безындукционного механизма над индукционным.

В силу значительного интереса к прогнозу опасных быстроразвивающихся явлений в атмосфере и, в частности, к прогнозу грозовых событий, с помощью различных численных моделей проведенные оценки роли турбулентности в грозовых облаках были включены в разработанный ранее модуль расчета электрических параметров, использующий данные численной модели высокого разрешения WRF [1, 2]. Модифицированная параметризация электрических процессов была применена для прогноза и моделирования грозовых событий на территории Нижегородской области. Учет вклада турбулентности при расчете электрических параметров позволил получить некоторые отличия в пространственном распределении разности потенциалов в грозовом облаке и вертикальных профилях электрического поля. Результаты расчетов в целом соответствуют данным экспериментальных исследований грозовых облаков, демонстрирующим усиление процессов электризации при высоком уровне турбулентности.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 16-17-00132).

- 1. Дементьева С. О., Ильин Н. В., Мареев Е. А. Расчет электрического поля и индекса молниевой активности в моделях прогноза погоды // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51. № 2. С. 210–217.
- 2. Шаталина М. В., Дементьева С. О., Мареев Е. А. Мониторинг и моделирование грозовых событий в Нижегородском регионе: интенсивная гроза 1–2 июня 2015 г. // Метеорология и гидрология. 2016. № 11. С. 81–87.

О имитации ЭМИ молниевых разрядов

В. В. Дорожков

Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир

Точность обнаружения и местоопределения грозовых очагов может быть значительно повышена при использовании для испытания, калибровки и контроля средств местоопределения искусственного источника радиоизлучения молниевых зарядов. Однако создание импульсных электромагнитных полей (ЭМП) в достаточно больших объемах пространства в ИНЧ-НЧ диапазонах связано с общей проблемой генерации низкочастотных ЭМП.

Степень приближения к физическим явлениям, происходящим в молниевом разряде, достигаемая в излучающем генераторе (имитаторе) электромагнитных импульсов, определяет дальность действия генератора и круг решаемых им вопросов. В соответствии с предложенной в [1] классификацией, наибольшими функциональными возможностями обладают мобильные имитаторы, работающие ближней волновой и волновых зонах.

Разработаны технические принципы построения мобильного автоматизированного излучающего имитатора такого класса с дальностью действия 200–300 км [2]. Особенностями имитатора, обеспечивающими большую дальность действия, являются: схема с индуктивным накопителем энергии, обладающим высокой плотностью запасаемой энергии; мощный быстродействующий контактор постоянного тока с бездуговой коммутацией [3]; специальное антенное устройство («динамическая антенна») [4].

На загородном научном полигоне кафедры общей и прикладной физики Владимирского государственного университета на действующих макетных образцах экспериментально подтверждена работоспособность и эффективность основных устройств, составляющих имитатор. «Динамическая антенна», представляет собой тросовую антенну, развёртываемую малогабаритной ракетой многократного действия. Подъем ракеты обеспечивается твердотопливным двигателем. Ракета несет до 3-х километров провода-троса диаметром 0,4–0,6 мм. Время излучения серии импульсов, благодаря парашютной системе, может доходить до минуты.

Результаты испытаний и проведённые расчёты дальности действия имитатора, при амплитуде выходного напряжения генератора импульсов 1 МВ и при условии создания амплитуды вертикальной электрической составляющей импульсов E_z в точке контроля в 100 мВ/м, позволили оценить основные достижимые тактико-технические характеристики мобильного излучающего имитатора:

- амплитуда напряженности электрической компоненты импульсов (с максимумом спектра 20 кГц) на расстояниях 200–300 км — 100 мВ/м;

- спектральный диапазон импульсов — 0,3-100 кГц;

- амплитуда выходного напряжения генератора электрических импульсов — 1 MB;

- форма и длительность импульсов – варьируются в широких пределах;

- мощность электропитания — 75-100 кВт;

- характеристики «динамической антенны»: высота развёртывания — до 3-х км; диаметр провода — 0,4–0,6 мм; скорость развёртывания — 200 м/с.

В имитаторе решены принципиальные вопросы мобильности, генерации высоковольтных импульсов при высокой плотности запасаемой энергии, эффективного излучения, автоматизированного управления с применением волоконно-оптических линий связи, техники безопасности и измерения импульсных полей высокой напряжённости.

Спектральный диапазон импульсов имитатора может быть расширен до 5 МГц при дополнительном использовании высокочастотной антенны аэростатного типа и применения способа комплексного сфазированного излучения и суперпозиции излученных полей в точке приема.

Разработаны принципы построения излучающего имитатора, использующего комплексное сфазированное излучение Е и Н компонент электромагнитного импульса на дальностях индукционной зоны излучения в ОНЧ диапазоне [5]. Излучающий имитатор этого класса отличается малой энергоёмкостью, массой, габаритами, широкими возможностями в варьировании форм и спектров сигналов. Были проведены несколько серий экспериментов с созданным действующим имитатором с целью отработки и испытаний вариантов пассивного однопунктного локатора гроз, разработанного ИРЭ АН. В ходе исследований были измерены амплитудно-частотные характеристики и диаграммы направленности по полю, проведены калибровки электрических и магнитных антенн по чувствительности и уровню собственных шумов, оценена точность местоопределения.

- Дорожков В. В. Имитация импульсного электромагнитного излучения молниевых разрядов // Исследование, проектирование, испытания и эксплуатация приборных устройств военной техники. Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. Владимир, 2008 г. М.: РАРАН. 2008. С. 66–70.
- 2. Дорожков В. В. и др. Имитатор импульсов // А. С. 179994. 1982.
- Дорожков В. В. и др. Контактор постоянного тока с бездуговой коммутацией // А. С. 826437 – БИ, 1981.
- 4. Дорожков В. В. и др. Антенное устройство // А. С. 245644. 1986.
- 5. Дорожков В. В., Захаров А.В., Магин А.В. Устройство для моделирования разряда молнии // А. С. 1742850 – БИ. 1991.

Концепция развития единой гидрометеорологической и геофизической орбитальной группировки РФ

А.А. Асташкин, <u>А.В. Карелин</u>, Н.П. Новикова, В.А. Шувалов, А.А. Яковлев Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Королев

Структура единой орбитальной группировки (ОГ) строится по схеме подсистем с открытой архитектурой.

В состав единой гидрометеорологической и геофизической орбитальной группировки должны входить:

- космические аппараты дистанционного зондирования Земли метеорологического назначения, оснащенные дополнительно приборным комплексом аппаратуры измерений гелиогеофизических параметров ОКП, ионосферы и верхней атмосферы (например, «Метеор-М», «Электро-Л», «Арктика-М»);

 - специализированные КА, оснащенные комплексами целевой аппаратуры для обнаружения, регистрации и селекции возмущений геофизической обстановки;

- специализированные космические аппараты для радиопросвечивания атмосферы по каналам спутник ГЛОНАСС – низкоорбитальный спутник и низкоорбитальный спутник – низкоорбитальный спутник;

- группировка спутников-ретрансляторов для сбора и оперативной передачи регистрируемой информации на пункты приема.

В части орбитального построения для решения гидрометеорологических задач единая ОГ должна включать в себя следующие группировки:

- высокоорбитальную космическую систему (КС) гидрометеорологического назначения, которая состоит из:

 КС из трёх геостационарных метеоспутников для почти непрерывного наблюдения за крупномасштабными атмосферными процессами в тропической и среднеширотной зонах Земли (КС «Электро» или КС «Электро-М»);

 КС «Арктика-М» в составе двух гидрометеорологических космических аппаратов КА на высокоэллиптических 12-ти часовых орбитах типа «Молния» «Арктика-М» для непрерывного информационного обеспечения Арктического региона;

 - среднеорбитальную КС гидрометеорологического назначения, которая состоит из 3-х КА, находящихся на полярных орбитах для комплексного оперативного и регулярного наблюдения в глобальном масштабе за совокупностью гидрометеорологических параметров атмосферы, подстилающей поверхности и околоземного пространства (КС «Метеор-М»);

- КС для оптико-электронного и радиофизического наблюдения для океанографических и океанологических исследований поверхности Мирового океана в составе 2-х КА с комплексом радиофизических приборов Д33 (КА типа «Метеор-М» №3 и КА «Океан»);

Для решения геофизических задач ОГ, кроме метеорологической составляющей, должна включать в себя следующие группировки:

- ионосферная, состоящая из 8 КА, массой 300–350 кг, на солнечносинхронных околополярных орбитах высотой 600–800 км, размещенных попарно в четырех плоскостях: терминаторной, ортогональной терминатору и двух промежуточных под углом ~45° к терминаторной; в каждой плоскости КА расположены таким образом, чтобы угол между радиус-векторами КА составлял ~180°; КА ионосферной группировки предназначены для контроля параметров ионосферы и верхней атмосферы; КА ионосферной группировки должны иметь средства передачи данных через ретранслятор на геостационарной орбите;

- полярная, включающая три КА массой ~800 кг, расположенных на трех околополярных орбитах высотой 800–1000 км развернутых на 120°; КА полярной группировки предназначены для контроля параметров верхней и средней атмосферы, волновой активности, магнитных и электрических полей, потоков ионизирующей радиации, потоков заряженных и нейтральных частиц; КА полярной группировки снабжены абонентскими средствами связи со спутниками-ретрансляторами; накопленные повитковые данные передают непосредственно на Землю, а в случае штормового предупреждения через спутники-ретрансляторы;

- магнитосферная, состоящая из трех КА, массой ~800 кг, расположенных на высокоэллиптической орбите 1470×38900 км с наклонением 63,4° (типа «Молния»), размещенных в одной плоскости расположены таким образом, чтобы угол между радиус-векторами КА составлял ~120°; КА магнитосферной группировки предназначены для контроля основных параметров полярной ионосферы, верхней атмосферы, магнитосферы, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера, а также обзора авроральной области в УФ, видимом и ИК диапазонах, а также ретрансляции данных на Землю с внемагнитосферного КА и низкоорбитальных КА;

 геостационарная, включающая три КА, установленных в вершинах правильного треугольника, массой ~2000 кг; КА геостационарной группировки предназначены для обеспечения передачи в реальном времени данных низкоорбитальных КА и внемагнитосферного КА в Геофизический ситуационный центр в Европейской части России, а также для контроля солнечной активности и потоков заряженных и нейтральных частиц.

Электростатическое поле в ионосфере, связанное с ураганом «Эмили»

<u>А. В. Карелин</u>¹, В. В. Хегай², В. П. Ким², А. Д. Легенька² ¹ Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, Королев ² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк

Одним из ярких явлений в приземной атмосфере являются мощные ураганы/тайфуны, время от времени возникающие в тропических широтах и перемещающиеся на достаточно большие расстояния. Процессы электризации, протекающие в урагане, могут приводить к возникновению интенсивных электростатических полей. Прямые измерения на борту высотного самолета ER-2, выполненные над ураганом «Эмили» 17 июля 2005 г., показали, что над центральной частью урагана вертикальная (направленная вверх) компонента электростатического поля в максимуме достигала ~ 8,5 кВ/м на высоте ~ 20 км, а размеры области, в которой возмущение вертикального электрического поля еще превышало 100 В/м, в поперечнике составляли более 30 км [1]. Наблюдения проводились в ночное время в интервале 07:51–07:56 UT в регионе Карибского моря вблизи 18°с.ш. и 82°з.д. Столь сильное электрическое поле было впервые зафиксировано на высоте около 20 км за всю историю наблюдений.

На основе модельных расчетов сделана оценка степени проникновения электростатического поля, связанного с ураганом «Эмили» в ионосферу. Получено, что максимальное значение напряженности горизонтального электрического поля на высотах ионосферы над ураганом не превышает 0,03 мВ/м. Это связано с важной ролью, которую играет в ослаблении электростатической связи между тропосферой и ионосферой интегральная педерсеновская проводимость ионосферы $\Sigma_{\rm P}$.

Интегральная педерсеновская проводимость ионосферы определяется конкретным высотным профилем концентрации электронов, который зависит как от локальных, так и глобальных возмущений в ионосфере. Так, в ночной ионосфере внутри крупномасштабных плазменных пузырей [2] $\Sigma_{\rm P}$ может быть менее 0,01 См [3], в таком случае величина поля в ионосфере от урагана «Эмили» возросла бы более чем в 40 раз, т. е. величина горизонтального электрического поля на высотах ионосферы составила бы 1,2 мВ/м, что существенно с точки зрения формирования этим полем неоднородностей ионосферной плазмы.

Работа выполнена при поддержке Программы ФНИ ГАН 16.3. Исследование солнечной активности и физических процессов в системе «Солнце-Земля» (№ 0037-2014-0003).

- Electric Hurricanes: [Электронный ресурс] // NASA Science Website. URL: https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2006/09jan_electrichurricanes. (Дата обращения: 20.06.2017).
- Huang C.-S., Foster J. C., Sahai Y. Significant depletions of the ionospheric plasma density at middle latitudes: A possible signature of equatorial spread F bubbles near the plasmapause // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. Iss. A5. A05315. http://dx.doi.org/10.1029/2007JA012307
- Hegai V. V., Kim V. P., Liu J. Y. On a possible seismomagnetic effect in the topside ionosphere // Adv. Space Res. 2015. V. 56. Iss. 8. P. 1707–1713.

Данные WWLLN для изучения грозовой активности

<u>Н. А. Кочеева</u>, С. Ю. Каранина, А. В. Каранин, М. Ю. Беликова Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск

Регистрация молниевых разрядов Всемирной сетью локализации гроз (World Wide Lightning Location Network, WWLLN) [1] открывает широкие возможности для изучения активности гроз на территориях, недоступных для метеорологических станций. Особенно это актуально для горных территорий, в частности, для территории Алтае-Саянского региона.

На основе данных WWLLN за 2011–2016 гг. для территории Алтае-Саянского региона построены карты плотности грозовых разрядов, проведен анализ их суточно-сезонных вариаций.

Выявлено, что в рассматриваемом периоде в годы минимума (2011 г.) и максимума (2014 г.) молниевых разрядов, максимальная грозовая активность смещается на июнь в отличие от остальных лет. Распределение числа молниевых разрядов в течение суток имеет явный минимум в интервале с 4 до 9 утра. В дальнейшем число разрядов нарастает и в интервале с 11 до 17 часов регистрируется наибольшее их число.

Зоны повышенной плотности молниевых разрядов располагаются в западных предгорьях субмеридиональных хребтов, которые являются естественными орографическими барьерами на пути воздушных масс, приходящих в регион с северо-запада. Установлена наибольшая плотность молниевых разрядов над положительными магнитными аномалиями. На высотах более 2000 м установлено максимальное превышение плотности грозовых разрядов над положительными аномалиями по сравнению со средними значениями на этой высоте.

Для исследования пространственных и временных закономерностей грозовой активности наряду с исходной информацией об отдельных грозовых разрядах представляет интерес задача выделения группы молниевых разрядов (атмосфериков), соответствующих одной грозе. Для этих целей используется кластерный анализ. Проводится работа по выбору наиболее оптимального метода кластеризации данных WWLLN с учетом формальных и неформальных характеристик. Выделение кластеров молниевых разрядов максимально отвечающих местным условиям грозовой активности на исследуемой территории позволит в дальнейшем уточнить пространственновременные закономерности формирования гроз.

Работы выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ проекта 16-47-040081 p_a.

Литература

 Word Wide Lighting Location Network: [Электронный ресурс]. URL: http://wwlln.net/. (Дата обращения: 20.06.2017).

Индукционный механизм электризации кучево-дождевых облаков

А. В. Кочин НПО «Тайфун», Росгидромет, Обнинск

Индукционный механизм электризации реализуется в тех случаях, когда при распаде гидрометеоров фрагменты приобретают заряд, пропорциональный напряженности электрического поля. Заряженные фрагменты создают дополнительное электрическое поле, которое увеличивает скорость генерации зарядов. Процесс описывается уравнением (1), где Q(t) — скорость генерации заряда в момент времени t в некоторой точке пространства, E_0 начальное электрическое поле, q_+ и q_- — ранее сформировавшиеся положительные и отрицательные заряды, r_+ — радиус-вектор от ранее сформировавшихся положительных зарядов к рассматриваемой точке, r_- — радиусвектор от ранее сформировавшихся отрицательных зарядов к рассматриваемой точке, N количество распадающихся частиц.

$$Q(t) = C \left(\boldsymbol{E}_{0} + \int_{0}^{t} \frac{q_{+}\boldsymbol{r}_{+}}{4\pi\varepsilon r_{+}^{3}} dt - \int_{0}^{t} \frac{q_{-}\boldsymbol{r}_{-}}{4\pi\varepsilon r_{-}^{3}} dt \right) N$$
(1)

Константа С зависит от физических особенностей процесса распада. Решение уравнения (1) численным методом получено для случая слоистодождевых облаков и хорошо описывает наблюдаемые эффекты, в частности, экспоненциальный рост напряженности электрического поля [1], а также наличие области с большой концентрацией зарядов в районе полосы таяния. В слоисто-дождевых облаках как положительно, так и отрицательно заряженные фрагменты распадающихся гидрометеоров смещаются в одну и ту же сторону от области распада гидрометеоров. Это обусловлено отсутствием в слоисто-дождевых облаках интенсивных вертикальных потоков воздуха. Изменение напряженности электрического поля происходит за счет разной скорости падения фрагментов. Поэтому интегралы в соотношении (1) не компенсируют друг друга. Полученные результаты могут быть применимы к периферийным областям кучево-дождевых облаков, так как структура воздушных потоков и характеристики осадков на периферии кучево-дождевого облака имеют много общего с аналогичными параметрами слоисто-дождевых облаков. Тем не менее, наблюдаемая структура зарядов в кучево-дождевом облаке [2] свидетельствует о наличии в области интенсивных восходящих потоков также областей со значительным зарядом.

Возможным объяснением может быть процесс таяния града в области интенсивных восходящих потоков. В процессе роста градин их скорость падения увеличивается и в некоторый момент времени они окажутся в области положительных температур. Когда ледяная частица растает, она рас-

падется на мелкие фрагменты, заряженные отрицательным зарядом и на крупные частицы, заряженные положительным зарядом. Мелкие частицы будут унесены воздушным потоком в верхнюю часть облака, Крупные фрагменты поднимутся на некоторую высоту над областью таяния, где скорость восходящего потока уравновесит их скорость оседания. В результате над нулевой изотермой образуется область положительного заряда протяженностью в несколько километров, а над ней область с отрицательным зарядом. Знак зарядов может быть обратный, потому что влияние начального поля E_0 (уравнение (1)) очень быстро становится много меньше поля образовавшихся зарядов, поэтому в начальный момент времени будет происходить осцилляция знака зарядов мелких и крупных фрагментов. С большей вероятностью будет реализовываться биполярная структура с положительно зараженной областью в центре облака в области, где вертикальная скорость воздуха составляет около 5-7 м/с. Детальный расчет характеристик процесса генерации зарядов в кучево-дождевом облаке в соответствии с этими представлениями можно осуществить численными методами с использованием уравнения (1) и численной модели кучево-дождевого облака с учетом микрофизических процессов. Трудностью является слабая изученность процессов таяния градин, а также процессов электризации фрагментов градин в процессе распада.

- 1. Кочин А. В. Механизм образования электрического заряда в слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаках // Метеорология и гидрология. 1995. № 10, С. 35–41.
- 2. Мучник В. М. Физика грозы / Л.: Гидрометиздат. 1974. 351 с.

Исследование характеристик напряженности электрического поля в приземном слое по измерениям сети датчиков EFM550

<u>И. Х. Машуков</u>², А. А. Аджиева¹, В. А. Шаповалов² ¹ Кабардино-Балкарский госуд. аграрный университет им. В. М. Кокова, Нальчик ² Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Для мониторинга электрофизических явлений свободной и нарушенной атмосфере в ВГИ с 2010г. введены в эксплуатацию 4 измерителя электрического поля EFM550 с частой измерений 2 Гц, включающие датчик поля и аппаратно-программное обеспечение для сбора и обработки информации.

Таблица 1. Сеть измерителей напряженности электрического поля.

Место установки	Широта	Долгота	Высота, м
Пик Чегет	43,2470°	42,5120°	3770
Кызбурун	43,6787°	43,4048°	747
Нальчик	43,4694°	43,5861°	536
Урвань	43,4906°	43,7512°	483



Рис. 1. Данные за 26.06.2014.

Хотя, в целом, электрическое поле атмосферы уменьшается с высотой, с увеличением высоты в горной местности оно увеличивается. Полученные

данные (рис. 1) хорошо согласуются с наблюдениями [1–4] электрического поля для невозмущенной и нарушенной атмосферы, например, при грозовой активности. Исследования полученных характеристик свидетельствуют о эффективности цифровой обработки для синхросопоставления данных.

- Анисимов С. В., Шихова Н. М. Вариабельность электрического поля невозмущенной атмосферы средних широт // Геофизические исследования. 2008. Т. 9. №3. С. 25–38.
- Болдырев А. С., Болдырева К. А., Куповых Г. В., Пестов Д. А., Пестова О. В., Редин А. А. К вопросу о мониторинге электрического поля атмосферы по данным наземных наблюдений // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 875.
- 3. Ипполитов И. И., Кабанов М. В., Нагорский П. М., Смирнов С. В. Изменчивость метеорологических и атмосферно-электрических величин в приземном слое атмосферы в предгрозовых ситуациях // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 1. С. 11–16.
- Торопов А. А., Каримов Р. Р., Козлов В. И., Муллаяров В. А. Вариации электрического поля в зависимости от географической широты местности // Сборник докладов VII международной конференции «Солнечно-земные связи и физика предвестников землетрясений», с. Паратунка, Камчатский край 29 августа – 2 сентября 2016. С. 97–100.

Тонкая структура спектров мощности волн цунами как источник ВГВ в приземной атмосфере

<u>Г. А. Михайлова</u>, Ю. М. Михайлов, О. В. Капустина Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, Троицк

С давнего времени известно [1], что аномально сильные колебания морской поверхности (цунами), возбуждаемые мощными подводными землетрясениями с M > 7, способны генерировать акустико-гравитационные волны в атмосфере Земли и вызывать ионосферные возмущения на различных высотах. В настоящее время проводятся интенсивные исследования этих волновых процессов (с использованием системы GPS) в вариациях полного электронного содержания (см., например, [2, 3]). Этот метод позволяет выделить волновые вариации, вызванные воздействием акустических волн непосредственно от землетрясения и собственно гравитационных волн, генерируемых цунами. Представляло интерес оценить спектры мощности волн цунами. Для этой цели использованы цифровые записям береговых мареографов во время гигантского землетрясения 26 декабря 2004 г. вблизи острова Суматра: $t_0 = 00.58$ UT (07.58:53 LT), M = 9,1-9,3; h = 30 км; $\phi = 3,316^{\circ}$ N, $\lambda = 95,854^{\circ}$ E. В этом случае четко выделился сигнал цунами конечной длительности, и спектр мощности его оценивался через Фурьепреобразование классическим методом периодограмм с «окном» типа Хемминга. Выборочно проанализировано десять записей сигналов на расстояниях от 1700 до 19000 км от источника. Показано, что как вблизи, так и вдали от источника в их спектрах выделяется серия узкополосных максимумов в диапазоне частот внутренних гравитационных волн (ВГВ) 0,2-1,2 мГц, частоты которых близко совпадают с частотами свободных сфероидальных колебаний Земли. Возбуждение в атмосфере Земли ВГВ и прохождение их в ионосферу подтверждается многочисленными результатами регистрации их в вариациях полного электронного содержания во время мощных подводных землетрясений.

- 1. *Peltier W. R., Hines C. O.* On the possible detection of tsunamis by a monitoring of the ionosphere // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. .No. 12. P. 1995–2000.
- Galvan D. A., Komjathy A., Hickey M. P. et al. Ionospheric signatures of Tohoku-Oki tsunami of March 11, 2011: model comparisons near the epicenter // Radio Science. 2012. V. 47. RS4003. doi: 10.1029/2012RS005023.
- Гохберг М. Б., Ольшанская Е. В., Стеблов Г. М., Шалимов С. Л. Ионосферный отклик на акустический сигнал от подводных землетрясений по данным GPS // Физика земли. 2014. № 1. С. 3–10.

Возможная роль в глобальной электрической цепи энергичных электронов в низкоширотных областях околоземного пространства

<u>Петров В. Л.</u>¹, С. И. Свертилов^{1,2}, М. И. Панасюк^{1,2}, В. В. Богомолов^{1,2}, А. В. Богомолов¹, И. Н. Мягкова¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва ² Физический факультет МГУ, Москва

Потоки энергичных электронов на низких широтах регистрировались в ходе двух космических экспериментов МГУ: «Вернов» и «Ломоносов». На спутниках установлена однотипная детектирующая аппаратура. Оба спутника были выведены на солнечно-синхронные круговые орбиты с высотой апоцентра 830 км для космического аппарата «Вернов» и 490 км для космического аппарата «Ломоносов».

В состав аппаратуры обоих спутников входил спектрометр жесткого рентгеновского и гамма-излучения и электронов, включавший высокочувствительные сцинтилляционные фосвич-детекторы NaI(Tl)/CsI(Tl). На спутнике «Вернов» стояли 4 больших детектора (~125 см² каждый), направленные в надир, и три взаимноортогональных детекторных узла, каждый с геометрическим фактором ~2 см²ср, что позволяло оценивать питч-угловое распределение и выделять высыпающиеся частицы. На спутнике «Ломоносов» установлены три аналогичных больших детектора, ориентированных взаимно ортогонально в верхней полусфере космического аппарата. Регистрация электронов осуществляется по тормозному излучению гамма-квантов. В обоих экспериментах предусмотрена непрерывная запись скорости счета регистрируемых частиц и квантов как с временным разрешением 1 с, так и со скважностью ~ 15 мкс. Это позволяет не только проводить детальный анализ динамики потоков частиц, но и сопоставлять её с данными других приборов и других космических экспериментов, а также наземных измерений. Наличие в составе комплексов научной аппаратуры различных регистрирующих приборов позволяет анализировать корреляцию наблюдаемых возрастаний потоков электронов с другими атмосферными и ионосферными явлениями.

Предполагается, что высыпания магнитосферных электронов могут быть связаны с высотными электрическими разрядами и, соответственно, вносить определенный вклад в глобальную электрическую цепь. Наблюдения динамики потоков электронов в приэкваториальной области одновременно с работой других приборов комплексов научной аппаратуры спутников «Вернов» и «Ломоносов» дают уникальную возможность исследовать проявления высотных разрядов, включая вспышки УФ- и гамма-излучения в областях, заведомо далеких от зон активного грозообразования.

В докладе обсуждаются результаты анализа наблюдений динамики потоков магнитосферных электронов в низкоширотных областях и их возможная связь со вспышками гамма-излучения, наблюдаемых в тех же регионах.

Влияние гелиогеофизических возмущений на параметры Шумановского резонатора по данным измерений в ГФО «Михнево»

<u>Ю. В. Поклад</u>, Б. Г. Гаврилов, В. М. Ермак, И. А. Ряховский Институт динамики геосфер РАН, Москва

Шумановский резонанс (ШР) возбуждается грозовыми разрядами молний в сферическом резонаторе. Верхняя стенка этого резонатора — D-слой ионосферы. Частоты первых гармоник, распространяющихся в волноводе электромагнитных волн (ЭМВ), составляют примерно 8, 14, 20, 26, 32 Гц и их точное значение определяется высотным профилем концентрации и проводимости D-слоя ионосферы. Параметры ШР подвержены как регулярным (суточным, сезонным), так и не регулярным вариациям. Последние связаны в том числе с солнечными рентгеновскими вспышками и протонными высыпаниями [1]. В ГФО «Михнево» с 2010 г. ведется мониторинг магнитного поля в КНЧ/ОНЧ диапазоне (1 мГц – 30 кГц).





09.08.2011 г. и 07.03.2012 г. произошли две самые сильные рентгеновские вспышки класса X6.9 и X5.4 за период наблюдений. На рис. 1 показаны временные зависимости потока рентгеновского излучения в двух спектральных диапазонах (по данным спутника GOES-15) и вариации частот первых трех ШР. Первая вспышка характеризуется крутым фронтом и относительно малой длительностью. При этом частота ЭМВ в ШР увеличилась примерно на 0,3 Гц для первой гармоники и до 1 Гц для третьей. Вариация частоты достаточно хорошо коррелирует с изменением потока рентгеновского излучения. Вторая вспышка была менее мощной, но более длительной. Эта вспышка сопровождалась длительным протонным высыпанием. Вариации параметров ШР аналогичны первому событию. На рис. 2 приведен график потока протонов с энергией 2,5 МэВ по данным спутника GOES-15 с 4 по 16 марта 2012 г. За этот же период построена зависимость от времени частоты первой гармоники ШР и ее спектр. Видно, что 7 марта, когда поток протонов был максимален, нарушаются суточные вариации частоты первого ШР. Менее явно этот же эффект виден 11 марта.



Рис. 2. Вариации потока протонов и частоты 1-й моды ШР.

Полученные результаты показывают, что изменение параметров ШР может служить индикатором глобальных изменений проводимости и/или высоты D-слоя ионосферы, вызванных солнечными рентгеновскими вспышками и протонными высыпаниями.

Литература

 Roldugin V. C.; Maltsev Y. P.; Petrova G. A.; Vasiljev A. N. Decrease of the first Schumann resonance frequency during solar proton events // J. of Geoph. Res. 2001. V. 106. A9. P. 18555–18562.

Исследование пространственно-временной эволюции спектров фрактальной размерности, показателей Херста и лакунарности гигантских молниевых разрядов

А. А. Потапов

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва

Начиная с середины 90-х годов XX века, в центре внимания физиков оказалось новое явление – грозовой электрический разряд в средней атмосфере на высотах от 20 до 100 км, лежащих выше абсолютного большинства облаков. Это приводит к возникновению нескольких абсолютно новых классов разрядных явлений, получивших названия эльфов, джетов и спрайтов [1]. Эти вспышки, в отличие от обычных молний идут не вниз, к земле, а вверх, к ионосфере. Физические модели спрайтов, эльфов и джетов до сих пор остаются предметом острых дискуссий.

Методы исследования нелинейной динамики высотного грозового разряда и электродинамики атмосферы опираются, в основном, на классическую статистическую обработку полученных данных. Однако, стремительное развитие фрактально-скейлинговых методов обработки сигналов и изображений, позволяет расширить и уточнить полученные данные [2 - 10]. В частности, при такой фрактальной обработке можно исследовать топологию самих разрядов во времени и пространстве как природного солитона.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований многочисленных фрактальных характеристик новых видов атмосферных помех в виде высотных грозовых разрядов. Пример – рис. 1.

Видно четкое различение внешних, основных и сверхтонких структур спрайта.



Рис. 1. Результаты фрактальной фильтрации изображения спрайта: (а) — исходное изображение спрайта [7]; (б) — карта оценок фрактальной размерности со средним значением фрактальной размерности D = 2,43; (в) — срез карты по значению $D_1 = D - 0,05$.

Автором показано [2–10], что применение математической теории дробной меры, фракталов и физического скейлинга открывает для физиков целый ряд новых методологических принципов. Полученные данные могут представить интерес при рассмотрении проблем помехоустойчивости космической радиосвязи и космической радиолокации, а также, при оценке потенциальных угроз действующим космическим кораблям и аппаратам.

- Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges // NATO Science Series. V. 225 / Eds. M. Fullekrug, E. Mareev, M. Rycroft. Dordrecht, The Netherlands. 2006. 398 pp.
- Ротароv А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп. / М.: Университетская книга. 2005. 848 с.
- Потапов А. А. Фрактально-скейлинговый метод обработки данных о глобальной электрической цепи: эльфы, джеты, спрайты // «Глобальная электрическая цепь» Материалы Всероссийской конф. Ярославль: ГО «Борок» ИФЗ РАН. 2013. С. 70.
- Потапов А. А. Оценки фрактальных характеристик радиотеплового излучения атмосферы // Abstracts Int. Conf. «Turbulence and Wave Processes», dedicated to the centenary of M.D. Millionshchikov. M.: INTUIT.RU Ltd. 2013. P. 155–158.
- Потапов А. А. О фрактально-скейлинговых характеристиках тропосферы и ионосферы // Материалы Междунар. конф. «Аэрозоль и оптика атмосферы», посв. столетию со дня рождения Г. В. Розенберга. М.: ИФА РАН. 2014. С. 64.
- Potapov A. A. Fractal Radar: Towards 1980 2015 // Pros. 8nd Int. Conf. on Chaotic Modeling, Simulation and Applications. Paris: Henri Poincaré Inst. 2015. P. 559–573.
- Potapov A. A. Chaos Theory, Fractals and Scaling in the Radar: A Look from 2015 // The Foundations of Chaos Revisited: From Poincaré to Recent Advancements / Ed. C. Skiadas. Switzerland, Basel: Springer Int. Publ. 2016. P. 195–218.
- Potapov A. A. New Conception of Fractal Radio Device with Fractal Antennas and Fractal Detectors in the MIMO Systems // Book of Abstracts 9th Int. Conf. on Chaotic Modeling, Simulation and Applications. London: University of London. 2016. P. 85.
- Potapov A. A. On Fractal Dimension Spectrum of New Lightning Discharge Types in Ionosphere: Elves, Jets and Sprites // Eurasian Physical Technical Journal. 2016.
 V. 13, № 2(26). P. 6–12.
- Потапов А. А. О фрактальной структуре высотных грозовых разрядов в ионосфере: эльфы, джеты и спрайты // Сб. материалов XIII Международной конф. «Забабахинские научные чтения», посв. 100-летию со дня рождения Е.И. Забабахина. Снежинск: Изд-во РФЯЦ – ВНИИТФ. 2017. С. 335–337.

Ионосферные эффекты солнечного затмения 20 марта 2015 г.

<u>И. А. Ряховский</u>, Б. Г. Гаврилов, В. М. Ермак, Ю. В. Поклад Институт динамики геосфер РАН, Москва

Одним из факторов, напрямую действующим на верхние слои земной атмосферы и ионосферу, является солнечное ультрафиолетовое излучение [1]. Именно с ним связаны суточные вариации электронной концентрации в нижней ионосфере. D и E области ионосферы являются верхней стенкой волновода при распространении сигналов в КНЧ/ОНЧ диапазоне. Изменение высоты, электронной концентрации и проводимости этих областей может приводить к изменению амплитуды и фазы СДВ сигналов [2] и частоты Шумановских резонансов. Эти эффекты исследовались в период полного солнечного затмения 20 марта 2015 г. Область солнечной тени (полного затмения) возникла в 09:14 UT южнее Гренландии и наблюдалось до 10:18 в районе северного полюса. Карта затмения, положение СДВ передатчиков (NAA, GQD, DHO, FTA, ICV) и их трасс на геофизическую обсерваторию ИДГ РАН «Михнево» приведены на рис. 1. Зона 100% затмения, показанная серой полосой, пересекала только трассу передатчика NAA. Остальные трассы находились в 65–80% зоне.

На рис. 2 и 3 показаны вариации амплитуды и фазы сигналов на трассах NAA-Muxнево и ICV-Muxнево. Трасса NAA-Muxнево достаточно длинная и проходит через полярную область. Поэтому СДВ сигналы, распространяющиеся по этой трассе, обычно подвержены значительным возмущениям. Серой линией показаны записи сигналов в невозмущенный день 19 марта, за сутки до затмения, а черной — 20-го марта, в день затмения. Прямоугольниками отмечено время, когда зона солнечного затмения пересекала трассы. Для трассы NAA-Muxнево это время совпадает с прохождением терминатора. Характерный рост фазы сигнала на трассе с 9:15 до 10 UT 19 марта связан с прохождением терминатора. Солнечное затмение 20 марта привело смещению границы освещенной атмосферы во времени и соответствующей задержке роста фазы СДВ сигнала. Влияние солнечного затмения на амплитуду практически не заметно.



На рис. 3 показаны вариации амплитуды и фазы сигнала на трассе ICV-Михнево. Эта трасса проходит по южной Европе и существенно короче, чем трасса NAA, поэтому вариации амплитуды и фазы сигнала зашумлены меньше. В



Рис. 2. Вариации параметров сигнала на трассе NAA.



отличие от трассы от NAA, трасса от ICV находилась в зоне 65-70% затмения. В это время можно видеть уменьшение амплитуды сигнала на 2 дБ. Вариация фазы сигнала в этот временной промежуток состапримерно 0.5 рад. вила Аналогичные вариации амплитуды и фазы сигналов были зарегистрированы и на остальных СДВ трасcax.

В [2] показано, что фаза СДВ сигнала более чувствительна к вариациям параметров D-слоя ионосферы, чем амплитуда. Полученные во время солнечного затмения 20 марта 2015 г. данные, подтверждают это.

Значимых вариаций параметров Шумановских резонансов во время солнечного затмения обнаружено не было. Это, вероят-

Рис. 3. Вариации параметров сигнала на трассе ICV.

но, связано с тем, что вызванное солнечным затмением возмущение нижней ионосферы имело локальный характер и не привело к глобальным изменениям Шумановского резонатора. Разница в эффектах, наблюдавшихся на относительно близко расположенных трассах NAA-Михнево и ICV-Михнево, подтверждает эту версию.

- 1. Адушкин В. В., Гаврилов Б. Г., Горелый К. И., Рыбнов Ю. С., Харламов В. А. Геофизические эффекты солнечного затмения 29 марта 2006 г. // Доклады Академии наук. 2007. Т. 417. № 4. С. 535–540.
- Поклад Ю. В., Рыбаков В. А., Гаврилов Б. Г., Ермак В. М., Крашенинников А. В., Ряховский И. А., Соловьев С. П. Влияние солнечных рентгеновских вспышек на изменения атмосферного электрического поля и прохождение волн СДВ диапазона. // Динамические процессы в геосферах. 2015. Вып. 7. С. 161–167.

Вспышки гамма-излучения на высоких широтах и высыпания магнитосферных электронов по данным космических экспериментов на спутниках «Вернов» и «Ломоносов»

<u>С. И. Свертилов^{1,2}, М. И. Панасюк^{1,2}, В. В. Богомолов^{1,2}, А. В. Богомолов¹,</u> Γ . К. Гарипов¹, П. А. Климов¹, С. И. Климов³, И. Н. Мягкова¹, В. Л. Петров¹, A. С. Позаненко³, И. В. Яшин¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобельцына, Москва ² Физический факультет МГУ, Москва ³ Институт космических исследований РАН, Москва

В ходе космических экспериментов на спутниках «Вернов» и «Ломоносов» с однотипной детектирующей аппаратурой проводились наблюдения вспышек гамма-излучения из атмосферы Земли и высыпаний магнитосферных электронов. Спутник «Вернов» был выведен 8 июля 2014 г. на солнечно-синхронную орбиту с небольшим эксцентриситетом — высота перицентра 640 км, высота апоцентра 830 км, наклонение 98,4°, период обращения 100 мин. Спутник «Ломоносов» был выведен 28 апреля 2016 г. также на солнечно-синхронную орбиту, круговую с высотой 490 км, наклонением 98,4° и периодом обращения 90 мин.

Наблюдения вспышек гамма-излучения из атмосферы Земли и регистрация электронов высоких энергий осуществлялись в обоих экспериментах с помощью однотипных детекторов. В состав аппаратуры РЭЛЕК на спутнике «Вернов» входил спектрометр жесткого рентгеновского, гаммаизлучения и электронов ДРГЭ, включавший четыре высокочувствительных сцинтилляционных фосвич-детекторов NaI(Tl)/CsI(Tl) суммарной площадью ~ 500 см², направленных в надир и обеспечивавших регистрацию рентгеновских и гамма-всплесков в диапазоне от 10 кэВ до 3 МэВ, а также спек-(0,2–10,0 МэВ), электронов включавший трометр три взаимноортогональных детекторных узла, каждый с геометрическим фактором ~2 см²ср, что позволяло оценивать питч-угловое распределение и выделять высыпающиеся частицы. На спутнике «Ломоносов» для регистрации вспышек гамма-излучения и вариаций потоков магнитосферных электронов используется прибор БДРГ, состоящий из трех идентичных блоков детектирования и блока электроники. Детекторы прибора БДРГ полностью аналогичны детекторам блоков ДРГЭ-1(2) прибора ДРГЭ аппаратуры РЭЛЕК на спутнике «Вернов». При этом регистрация электронов осуществляется в основном по тормозному излучению детекторами гамма-квантов. В обоих экспериментах предусмотрена как непрерывная запись скорости счета регистрируемых частиц и квантов с временным разрешением 1 с, так и фиксация времени регистрации каждого гамма-кванта или электрона с точностью ~ 15 мкс, а также их энергии. Это позволяет не только проводить детальный анализ переменности, но и сопоставлять временные профили с результатами измерений других приборов комплекса, а также с данными других космических аппаратов и наземных измерений.

Предполагается, что вспышки гамма-излучения из атмосферы Земли могут быть связаны с высотными электрическими разрядами и, также, как и высыпания магнитосферных электронов, вносить определенный вклад в глобальную электрическую цепь. Особенности орбит космических аппаратов «Вернов» и «Ломоносов» позволили вести наблюдения в различных областях околоземного пространства, включая полярные регионы. Это создало уникальную возможность исследовать проявления высотных разрядов, включая вспышки гамма-излучения в областях, заведомо далеких от зон активного грозообразования. Обсуждаются результаты подобных наблюдений и возможная связь вспышек гамма-излучения, наблюдаемых, в высокоширотных областях с высыпаниями магнитосферных электронов.

Статистические характеристики гроз в Якутске по наблюдениям атмосферного электрического поля

А. А. Торопов, В. И. Козлов

Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю. Г. Шафера СО РАН, Якутск

В работе приводятся статистические характеристики ближних гроз в г. Якутске, полученные по измерениям атмосферного электрического поля. Измерения проводились при помощи электростатического флюксметра установленного на здании ИКИФА СО РАН (62°1' N, E129°43' E) и имеющего диапазон измерений ±42 кВ/м.

Главная особенность вариаций атмосферного электрического поля во время грозы – наличие характерных скачков напряженности поля во время молниевых разрядов, после которых поле восстанавливается до исходной величины в течение секунд и десятков секунд. Причиной таких резких изменений является нейтрализация (или перераспределение) объемных зарядов в грозовом облаке во время молниевых разрядов и последующее восстановление зарядов.

Измерения вариаций поля с помощью электростатического флюксметра позволили получить сведения об основных статистических характеристиках ближних гроз и электрической структуре грозовых облаков за летние грозовые сезоны с 2009 по 2013 гг. Случаем прохождения ближней грозы считалось наблюдение прохождения заряженного облака с одним, как минимум, скачком электрического поля, обусловленным молниевым разрядом. Наблюдения ближних гроз по данным электростатического флюксметра хорошо согласуются с данными регистрации гроз на метеостанции аэропорта Якутск (http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/r_day_stn.sht?num=475).

За время наблюдений с 2009 по 2013 гг. зарегистрировано 66 ближних гроз. В один день с грозой наблюдалось от 1 до 3-х гроз. Число дней с грозой суммарно составляет 54. Количество гроз в год составляет 13,2. Количество дней с грозой 10,8 в год.

При сравнении с более ранними данными инструментальных наблюдений, среднее годовое число гроз в Якутске с 1931 года находится практически на одном уровне — 12,1 (1931–1950 гг.) и 10,8 (2009–2013 гг.) дней соответственно.

Анализ распределение гроз по месяцам показывает, что грозы в Якутске наблюдаются с мая по сентябрь и распределены довольно неравномерно. Минимум грозовой активности приходится на май (две грозы) и сентябрь (одна гроза, 01.09.2013), максимум наблюдается в июне (32 грозы). В июле и августе наблюдается резкий спад (20 и 10 гроз соответственно).

Распределение количества часов с грозами по времени суток представляет собой двойную волну с максимумами в 5–8 и 16–20 часов местного времени и минимумами в 2–4 и 10–14 часов местного времени.

При прохождении над пунктом наблюдения грозовых (и в некоторых случаях дождевых) облаков у поверхности земли наблюдаются сильные вариации напряженности электрического поля в течение 1–5 часов.

По наблюдениям, эти вариации поля можно разделить на пять основных типов в зависимости от электрической структуры грозового облака:

1 тип — в верхней части облака положительный заряд в нижней отрицательный. Облако с положительной поляризацией;

2 тип — в верхней части облака отрицательный заряд, в нижней положительный. Облако с отрицательной поляризацией;

3 тип — облако имеет в верхней части положительный заряд, в нижней отрицательный имеющий компактный положительный заряд в основании облака;

4 тип — облако с положительной поляризацией, у которого положительный верхний заряд смещен относительно нижнего отрицательного;

5 тип — облако с отрицательной поляризацией, у которого отрицательный верхний заряд смещен относительно нижнего положительного;

Показано, что количество фронтальных гроз существенно меняется из года в год (от 7 до 12 гроз в год), в то же время количество внутримассовых гроз остается практически постоянным (3–4 грозы в год).

Длительность фронтальных гроз составляет от получаса до шести часов, в то время как внутримассовые грозы более кратковременные, максимум длительности составляет 2–2,5 часа.

Электромагнитное поле молниевого разряда на Земле и в ионосфере в УНЧ-КНЧ диапазонах

<u>Е. Н. Федоров</u>, Н. Г. Мазур, В. А. Пилипенко Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва

На основе численной модели возбуждения электромагнитных импульсов УНЧ-КНЧ диапазонов атмосферными электрическими разрядами рассчитаны спектры на земле и на высотах ионосферы в частотной области ионосферного альвеновского резонатора (ИАР) и ионосферного МГД волновода. Рассмотрено возбуждение волновода и резонатора одиночными молниевыми разрядами. Рассчитаны пространственная структура, частотные спектры и поляризационные характеристики электромагнитного поля молниевого разряда. Дана оценка отношения полей на высотах ионосферы и на земле.

Исследование взаимосвязи микрофизических и электрических процессов в конвективных облаках на основе трехмерной численной модели

<u>А. В. Шаповалов</u>, В. А. Шаповалов Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Исследование сложного нелинейного взаимодействия термогидродинамических, микрофизических и электрических процессов в мощных конвективных облаках выполнено на основе трехмерной нестационарной численной модели с спектральной микрофизикой [1]. Проверка адекватности и точности модели проводилась с помощью тестовых расчетов и сравнительного анализа полученных характеристик с данными радиолокационных наблюдений грозоградовых процессов в Северо-Кавказском регионе.

В модели принят механизм разделения зарядов, связанный с замерзанием капель воды, ростом крупы и градин. Вследствие разности скоростей падения положительно и отрицательно заряженных частиц в воздухе происходит пространственное разнесение зарядов. В модели рассчитываются плотности объемных зарядов в облаке, потенциал и напряженность электрического поля, детально рассматривается влияние электрического поля облака на микрофизические процессы взаимодействия облачных частиц и обратное влияние — микроструктурных параметров на электрические. Значения заряда и напряженности электрического поля учитываются при определении коэффициентов коагуляции облачных частиц.

На основе численных экспериментов исследованы особенности взаимодействия микрофизических и электрических процессов в облаке и взаимодействия электрических параметров облака с верхними слоями атмосферы. Результаты исследований дают представление о закономерностях развития облаков в целом с учетом взаимосвязи между физическими процессами и их взаимодействия с атмосферой.

Литература

 Ашабоков Б. А., Шаповалов А. В., Кулиев Д. Д., Продан К. А., Шаповалов В. А. Численное моделирование термодинамических, микроструктурных и электрических характеристик конвективных облаков на стадии роста и максимального развития // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2013. Т. 56. № 11–12. С. 900–907.

Электричество средней и верхней атмосферы, высокоэнергичные процессы в атмосфере

Транзиентное УФ свечение грозовых областей по результатам совместного анализа данных спутника «Вернов» и наземных сетей регистрации молний

<u>М. А Казначеева</u>^{1,2}, П. А. Климов¹, Г. К. Гарипов¹, Б. А. Хренов¹, В. О. Баринова¹, В. В. Богомолов^{1,2}, М. И. Панасюк^{1,2}, С. И. Свертилов^{1,2}

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва ² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва

Спутник «Вернов» был выведен на полярную солнечно-синхронную орбиту 8 июля 2014 г. Одной из научных задач эксперимента являлась регистрация транзиентных атмосферных явлений (ТАЯ) в двух спектральных диапазонах: 240–400 нм и 610–800 нм. Детекторы ультрафиолетового (УФ) и красного-инфракрасного (ИК) излучения, установленные на борту спутника, состоят из фотоэлектронных умножителей Нататаtsu R1463 и блока электроники. Полоса пропускания каждого из детекторов ограничена соответствующими фильтрами (УФС2 и КС11). Триггером для записи отбиралось наиболее мощное событие за каждые 4,5 с наблюдения. Результатом одного измерения события является временная развертка с шагом 0,5 мс и длительностью 128 мс [1].

За время работы спутника «Вернов» было зарегистрировано около 8,5 тысяч атмосферных вспышек. Большинство из них связано с грозовой и молниевой активностью. Однако в результате совместного анализа данных спутника и наземных сетей регистрации молний WWLLN [2] и Vaisala GLD360 [3] был выделен класс внегрозовых вспышек в атмосфере Земли, происходящих на расстоянии более 1000 км от ближайшей грозы и не связанных с молниевой активностью. Рассматривались события длительностью более 3 мс, чтобы исключить возможные эффекты одиночных сбоев регистрирующей аппаратуры или попадания заряженных частиц в стеклянные части фотодетектора. Было зарегистрировано 6 таких событий. Их длительность более 30 мс, а полное число фотонов, излученных в УФ диапазоне – не более 5·10²¹. На рис. 1 приведены два примера таких событий.

Среди ТАЯ, генерируемых в грозовых областях, но не являющихся прямым следствием молний облако-земля, могут быть события, не сопровождающиеся молниями, регистрируемыми наземными сетями WWLLN и Vaisala GLD360. Поэтому из всех зарегистрированных спутником «Вернов» событий были отобраны УФ вспышки (максимальный уровень сигнала в ИК канале не превышает 3σ над уровнем фона) в грозовых областях, но не сопровождающиеся молниевым разрядом по данным двух наземных сетей (WWLLN и Vaisala). Примеры таких событий показаны на рис. 2. Так же, как в событиях ТАЯ, далеких от гроз (рис. 1), отсутствие сигнала в ИК канале свидетельствует о низкой высоте излучения (в модели излучения молекулярного азота). Источником данных сигналов могут служить внутриоблачные предмолниевые процессы, связанные с перераспределением зарядов внутри облака — предварительные пробои, или высоко атмосферные явления типа «голубых струй».



Рис. 1. Временные профили безгрозовых событий с длительностью более 3 мс из базы данных спутника «Вернов» в УФ (синяя кривая) и ИК (красная кривая) диапазонах длин волн.



Рис. 2. Временные профили безмолниевых УФ событий, произошедших в грозовых областях, из базы данных спутника «Вернов» в УФ (синяя кривая) и ИК (красная кривая) диапазонах длин волн.

- M. I. Panasyuk, S. I. Svertilov, et al. Relec mission: Relativistic electron precipitation and tle study on-board small spacecraft // Advances in Space Research. 2016. 57(3):835–849.
- Abarca S., Corbosiero K., Galarneau T. An evaluation of the Worldwide Lightning Loca-tion Network (WWLLN) using the National Lightning Detection Network (NLDN) as ground truth. // J. Geophys. Res. 2010. vol. 115, number D18.
- 3. *Said R. K., Cohen M. B., Inan U. S.* Highly intense lightning over the oceans: Estimated peak currents from global GLD360 observations //Journal of Geophysical Research: At-mospheres. – 2013. – T. 118. – №. 13. – C. 6905–6915.

Кинетика электронно-возбужденного молекулярного азота в средней атмосфере во время спрайтов

А. С. Кириллов

Полярный геофизический институт РАН, Апатиты

В последние годы достаточно большое внимание уделяется кинетическим исследованиям электронно-возбужденного молекулярного азота в средней атмосфере Земли во время спрайтов [1–5]. Основным недостатком подобных исследований остается отсутствие учета внутримолекулярных и межмолекулярных процессов переноса энергии электронного и колебательного возбуждения молекул при неупругих столкновениях. Именно знание квантовых выходов продуктов неупругого взаимодействия позволяет качественно оценить распределение по колебательным уровням различных электронно-возбужденных состояний молекулярного азота при воздействии на среднюю атмосферу высокоэнергичных частиц.

С помощью приближений Ландау-Зинера (Landau-Zener) и Розена-Зинера (Rosen-Zener) были получены формулы для расчета скоростей как внутримолекулярных, так и межмолекулярных процессов переноса энергии возбуждения между различными электронно-возбужденными состояниями молекул при неупругих столкновениях [6]. На основании полученных формул были рассчитаны константы взаимодействия электронно-возбужденных молекул азота с различными атмосферными газами [7–9].

Рассчитанные константы используются при расчете колебательных населенностей триплетных состояний молекулярного азота на различных высотах средней атмосферы во время спрайтов. При расчетах учтены процессы гашения электронного возбуждения как при спонтанном излучении различных систем полос N_2 , так и перенос энергии возбуждения при неупругих молекулярных столкновениях. Численно показано, что с увеличением плотности атмосферы усиливается влияние столкновительных процессов на колебательные населенности триплетных состояний молекулярного азота. Данное влияние приводит к перераспределению относительных интенсивностей полос свечения молекул азота во время воздействия на атмосферу Земли высокоэнергичных частиц.

Особое внимание при расчетах уделено кинетике и колебательным населенностям метастабильного азота $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ на высотах средней атмосферы Земли. Показано, что его взаимодействие с другими атмосферными газами приводит к эффективному переносу энергии возбуждения на молекулы-мишени.

Литература

1. *Gordillo-Vazquez F. J.* Air plasma kinetics under the influence of sprites. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2008. V. 41. № 23. 234016.

- 2. *Gordillo-Vazquez F. J.* Vibrational kinetics of air plasmas induced by sprites. // J. Geophys. Res. 2010. V. 115. № A5. A00E25.
- 3. *Parra-Rojas F. C., Luque A., Gordillo-Vazquez F. J.* Chemical and electrical impact of lightning on the Earth mesosphere: The case of sprite halos. // J. Geophys. Res. 2013. V. 118. № A8. P.5190–5214.
- Parra-Rojas F. C., Luque A., Gordillo-Vazquez F. J. Chemical and thermal impact of sprite streamers on the Earth's mesosphere. // J. Geophys. Res. 2015. V. 120. № A10. P. 8899–8933.
- Robledo-Martinez A., Garcia-Villarreal A., Sobral H. Comparison between lowpressure laboratory discharges and atmospheric sprites. // J. Geophys. Res. 2017. V. 122. № A1. P. 948–962.
- 6. *Kirillov A. S.* Calculation of rate coefficients of electron energy transfer processes for molecular nitrogen and molecular oxygen. // Adv. Space Res. 2004. V. 33, № 6, P. 998–1004.
- Kirillov A. S. Excitation and quenching of ultraviolet nitrogen bands in the mixture of N₂ and O₂ molecules. // J. Quan. Spec. Rad. Tran. 2011. V. 112. № 13. P. 2164–2174.
- Kirillov A. S. Influence of electronically excited N₂ and O₂ on vibrational kinetics of these molecules in the lower thermosphere and mesosphere during auroral electron precipitation. // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2012. V. 81–82. P. 9–19.
- 9. *Kirillov A. S.* Intermolecular electron energy transfer processes in the collisions of $N_2(A^3\Sigma_u^+, \nu = 0-10)$ with CO and N_2 molecules. // Chem. Phys. Lett. 2016. V. 643. P. 131–136.

Результаты измерений транзиентного УФ свечения атмосферы Земли на спутнике «Ломоносов» с высоким временным разрешением

П. А. Климов от имени коллаборации Ломоносов Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва

Детектор «ТУС» является частью научной аппаратуры спутника «Ломоносов», запущенного 28 апреля 2016 г. с космодрома Восточный на солнечно-синхронную орбиту высотой ~500 км.

«ТУС» представляет собой телескоп-рефлектор, состоящий из зеркалаконцентратора френелевского типа большой площади (2 м²), предназначенного для сбора и фокусировки УФ сигнала из атмосферы и фотоприемника, расположенного в фокальной плоскости зеркала. Фотоприемник представляет собой матрицу из 256 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) типа Нататаtsu R1463 с соответствующей электроникой. Использование большого зеркала-концентратора и ФЭУ позволяет достичь высокой чувствительности и временного разрешения (менее 1 мкс). Поле зрения одной ячейки детектора равно 0,01 рад. Телесный угол обзора ячейки составляет 10^{-4} стер, что в атмосфере соответствует квадрату 5 км × 5 км при высоте орбиты 500 км. Все поле зрения детектора составляет ±4,5 град [1].

За счет алгоритмов последовательного цифрового интегрирования сигнала детектор может работать в режимах с разным временным разрешением: 0,8 мкс, 25,6 мкс, 0,4 мс и 6,6 мс. Это позволяет исследовать транзиентное УФ свечение атмосферы разной длительности и природы: от широких атмосферных ливней, молниевых разрядов, транзиентных атмосферных явлений (ТАЯ) до метеоров и антропогенных источников.

Одним из наиболее часто встречающихся высокоатмосферных явлений, длительностью менее 1 мс, является эльв — расширяющееся световое кольцо на высоте 80–90 км, связанное с нагревом ионосферы при распространении электромагнитного импульса от молнии облако-земля [2]. На рис. 1 представлен пример измерения такого события детектором «ТУС» 18 сентября 2016 г. Отчетливо видно быстрое движение кольцеобразного объекта в поле зрения прибора.

Для всех событий типа эльф был проведен совместный анализ с наземной сетью регистрации молний Vaisala GLD360 [3]. Для каждого события обнаружен грозовой очаг, расположенный в центре видимого кольца и определена родительская молния с амплитудой тока обратного удара, превышающей 60 кА.

В режиме работы с временным разрешением 6,6 мс возможна запись осциллограмм общей длительностью до 1,7 с. В некоторых событиях на-
блюдается длительная серия мощных импульсов. На рис. 2, слева, приведен пример такого измерения в грозовом районе. Узкие высокие пики обратные удары молний, а УФ свечение между ними — предмолниевое свечение облаков и отклик в верхних слоях атмосферы (ТАЯ). На правой части рисунка показано другое событие, которое отличается по временной структуре (отсутствуют короткие пики). Оно произошло вдали от гроз (расстояние более 300 км) по данным сети Vaisala GLD360.



Рис. 1. Движение изображения события типа эльв по матрице фотоприемника. Слеванаправо карты каналов в моменты времени *t* = 0,077 мс, 0,182 мс и 0,174 мс от начала осциллограммы. Цветом показана амплитуда сигнала в относительных единицах.



Рис. 2. Слева: серия УФ вспышек над грозой, острые пики — молниевые разряды. Справа: внегрозовое событие (данные о молниевых событиях наземной сети Vaisala GLD360).

- 1. *Garipov G. K. et al.* Space experiment TUS on board the Lomonosov satellite as pathfinder of JEM-EUSO // Experimental Astronomy. 2015. V. 40. P. 315–326.
- 2. *Fukunishi H., et. al.* Elves: Lightning-induced transient luminous events in the lower ionosphere // Geophysical Research Letters, 1996. V. 23, P. 2157–2160.
- Said R. K., et al. Long-range lightning geolocation using a VLF radio atmospheric waveform bank // Journal of Geophysical Research (Atmospheres), 2010.
 V. 115(D14) P. D23108.

Специфика исследования КНЧ-ОНЧ электромагнитных излучений на солнечно-синхронной орбите. Спутник РЭЛЕК/Вернов

<u>С. И. Климов</u>¹, В. А. Грушин¹, Л. А. Осадчая¹, Ч. Ференц², П. Сегеди², С. И. Свертилов³, В. Е. Корепанов⁴, С. В. Беляев⁴, А. А. Марусенков⁴ ¹ Институт космических исследований РАН, Москва

² Университет Этвеша, Будапешт

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Москва ⁴ Львовский Центр Института космических исследований НАН-НКА Украины,

Львов

Спутник РЭЛЕК/Вернов был запущен 8.VII.2014. Рабочая орбита спутника солнечно-синхронная, высота апогея — 830 км, перигей — 640 км, наклонение — 98,4°, орбитальный период 100 минут. Целью научных экспериментов на борту РЭЛЕК/Вернов [1] является исследование потоков магнитосферных релятивистских электронов, а также переходных процессов, т.е. кратковременных спорадических явлений в атмосфере Земли в различных диапазонах электромагнитного спектра.

Научная программа также включает изучение спектров излучений КНЧ-ОНЧ диапазонов по одной электрической и 3-м магнитным компонентам. Для этих исследований был использован метод комбинированной волновой диагностики [2], основанный на проведении одновременных измерений электрических и магнитных полей, колебаний токов в плазме; использовании идентичных методов бортовой обработки сигналов для всех измеряемых параметров; возможности изменения частотно-временного разрешения измеряемых параметров в зависимости от режима работы бортовой системы телеметрии спутника.

Сформирована база данных мониторинговых (до нескольких десятков часов) измерений спектров E, Bx, By, Bz в диапазоне 0,01–40 кГц. Каждый спектр отражает среднее значение в течение 6,5 с.

- 1. Панасюк М.И., Свертилов С.И., и др. Эксперимент на спутнике Вернов: транзиентные энергичные процессы в атмосфере и магнитосфере земли. Ч. II. Первые результаты. Космические исследования, 2016, том 54, № 5, с. 369–376.
- Klimov S.I., Nozdrachev M.N., Petrukovich A.A, et al. Combined wave diagnostics a new tool for the plasma turbulence studies. COSPAR COLLOQUIUM'96 Magnetospheric Research with Advanced Techniques, Beijing China, 15-19 April 1996, Abstracts, P. 18–19.

Ожидаемые параметры жесткого излучения шаровой молнии

М. Л. Шматов

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург

Обсуждение предположения об испускании шаровой молнией жесткого излучения началось в работах [1-3]. Будет представлена модель шаровой молнии, соответствующая данному предположению [4-7]. Основное модельное предположение состоит в том, что движение электронов ядра шаровой молнии является суперпозицией колебательного и теплового движения. Тепловое движение происходит в направлениях, перпендикулярных направлению колебательного [6]. При сферической симметрии шаровой молнии колебательное движение электронов происходит в радиальном направлении [4-7]. В ядре шаровой молнии ионы азота и кислорода ионизованы практически полностью, в некоторых случаях ионы аргона тоже ионизованы практически полностью, однако наличие заметного количества ионов Ar⁺¹⁷ и Ar⁺¹⁶ также возможно [6]. Стабильность шаровой молнии обеспечивается атмосферным давлением, компенсирующим давление в ядре, связанное с трехмерным характером колебательного движения и хаотическим движением ионов и электронов [4]. Передача атмосферного давления на ядро осуществляется через обедненный слой с пониженной (по сравнению с числом Лошмидта) концентрацией частиц со сравнительно большими кинетическими энергиями [4, 6]. При сферической симметрии шаровой молнии основные потери ее энергии связаны с тормозным излучением [4-7].

Модель объясняет существование шаровой молнии в течение времени порядка 1–10 с и объемную плотность ее энергии до нескольких кДж/см³. Максимальная энергия ε_{max} , соответствующая колебательному движению электрона, может достигать нескольких десятков МэВ. При снижении ε_{max} до 10 кэВ, ядро шаровой молнии исчезнет за время менее одной секунды.

Модель соответствует предположению о большой радиационной опасности некоторых шаровых молний для человека (см., например, [3, 7, 8] и библиографию в [3, 7]).

Будут представлены спектры излучения, испускаемого шаровыми молниями с различными ε_{max} [7].

Будут рассмотрены недавние сообщения, соответствующие предположению об испускании шаровой молнией ионизирующего излучения [9–12]. В частности, будет представлено объяснение сообщения о регистрации сопровождающих обычную молнию короткой вспышки гамма-излучения и последовавшего за ней потока фотонов с энергиями 100 кэВ – 10 МэВ (с наличием линии, соответствующей аннигиляции позитронов) длительностью приблизительно 60 с [10]. Согласно данному объяснению, начальная короткая вспышка гамма-излучения соответствует тормозному излучению фотонов, ускоренных обычной молнией до релятивистских энергий (в дальнейшем часть этих электронов формирует ядро шаровой молнии), поток излучения большой длительности испускается шаровой молнией.

Будет представлена модель формирования шаровой молнии и рассмотрена возможность ее создания в экспериментах с использованием обычных или инициированных при помощи ракет молний [7, 13].

- Klass P. J. Many UFO are identified as plasmas // Av. Week Space Technol. 1966. V. 85, № 14. P. 54–73.
- 2. Дмитриев М. Т. Природа шаровой молнии // Природа. 1967. № 6. С. 98–106.
- 3. Имянитов И., Тихий Д. За гранью закона Л.: Гидрометеоиздат. 1967. 156 с.
- Shmatov M. L. New model and estimation of the danger of ball lightning // J. Plasma Phys. 2003. V. 69, N 6. P. 507–527.
- 5. *Shmatov M. L.* Expected spectrum of high-energy photons from ball lightning // J. Plasma Phys. 2006. V. 72, № 2. P. 277–284.
- 6. *Shmatov M. L.* Ball lightning with the nonrelativistic electrons of the core // J. Plasma Phys. 2015. V. 81. Pap. 905810406.
- Shmatov M. L. Possible scenarios for the initial acceleration of electrons of the core of ball lightning // J. Plasma Phys. 2015. V. 81. Pap. 905810607.
- 8. *Дмитриев М. Т.* Шаровые молнии: новые наблюдения и новые гипотезы // Природа. 1971. № 6. С. 50–57.
- Dwyer J. R., Smith D. M., Hazelton B. J.et al. Positron clouds within thunderstorms // J. Plasma Phys. 2015. V. 81. Pap. 475810405.
- 10. Umemoto D. Tsuchiya H., Enoto T.et al. On-ground detection of an electron-positron annihilation line from thunderclouds // Phys. Rev. E. 2016. V. 93. Pap. 021201 (R).
- 11. *Kuroda Y., Oguri S., Kato Y. et al.* Observation of gamma ray burst at ground level under the thunderclouds // Phys. Lett. B. 2016. V. 758. P. 286–291.
- Stephan K. D., Krajcik R., Martin R. T. Fluorescence caused by ionizing radiation from ball lightning: Observation and quantitative analysis // J. Atmos. Sol.-Ter. Phys. 2016. V. 148. P. 32–38.
- 13. *Shmatov M. L.* TGF and ball lightning studies // Newsletter on Atmospheric Electricity. 2016. V. 27. № 1. P. 18–20.

Глобальная электрическая цепь, метеорология и климат, экологические аспекты глобальной электрической цепи

Исследование параметров грозовых явлений на Северном Кавказе

<u>А. Х. Аджиев¹, Д. Д. Кулиев¹, С. Т. Казакова¹, А. С. Болдырев², Х. А. Тумгоева³</u> ¹ Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

² Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

³ Чеченский государственный университет, Грозный

Работа посвящена мониторингу электрического состояния атмосферы и грозовой активности на Северном Кавказе РФ дистанционными наземными средствами.

Учитывая недостаточность сведений и растущие запросы молниезависимых технологий, авиации, связи и т.д. предпринимаются попытки создания активно-пассивных дистанционных технологий мониторинга грозоразрядной деятельности [1, 2].

Для исследования параметров грозовых явлений используются данные грозопеленгационной сети LS8000 ФГБУ «ВГИ», установленная на Северном Кавказе. Грозопеленгационная сеть фиксирует молниевые разряды, происходящие над всей территорией юга европейской части РФ. Фиксируются как наземные молнии (Облако–Земля), так и внутриоблачные молнии (Облако–Облако).

Грозопеленгационная сеть определяет до 25 параметров по каждому фиксируемому молниевому разряду. Основные параметры следующие. Для молниевых разрядов Облако–Земля:

- Дата и время с точностью до 100 наносекунд;
- Широта, долгота (WGS-84) (координаты разряда);
- Сила и полярность сигнала (тока в канале разряда), в кА;
- Классификация разрядов на положительные и отрицательные;
- Время роста сигнала до пикового значения, в мкс;
- Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс.

Для молниевых разрядов Облако-Облако и внутри облачных:

- Дата и время с точностью до 100 наносекунд;
- Широта, долгота (WGS-84) (координаты разряда).

Результаты и обсуждения

В целом на рассматриваемой территории наблюдается достаточно стабильная грозовая активность. Всего за годы работы с 2008 по 2016 гг. система зарегистрировала около 2050 дней с грозой. Из них 229 дня характеризуются как интенсивные грозы с количеством наземных молний в грозовой период более 10 000 разрядов в день.

Наибольшее число дней с грозой отмечено в 2009 г. — 308 дня, и наименьшее — 219 дня в 2014 г. Средняя грозовая активность на рассматриваемой территории за указанный период составляет 239 дня с грозой в год. За рассматриваемый период над территорией обзора зафиксировано более 7 500 000 молниевых разрядов Облако–Земля и более 55 000 000 молниевых разрядов Облако–Облако.

Наиболее интенсивным по количеству грозовых разрядов был 2012 год, когда было зафиксировано 1 383 872 молниевых разрядов Облако–Земля и 9 677 760 молниевых разрядов Облако–Облако. Рекордный день по числу молниевых разрядов пришелся на день в этом году, а именно 21 мая 2012 года, когда за сутки произошло более 82 000 наземных и более 330 000 внутриоблачных разрядов.

В среднем молниевая активность грозового дня продолжается в течении 240 минут. Продолжительность грозового цикла одной облачной ячейки в среднем составляет около 31,2 минут (стандартное отклонение $\pm 20,2$ мин), генерируют при этом около 235 молний (стандартное отклонение ± 392).

По всем рассмотренным годам соотношение между количеством облачных, наземных, наземных положительных и отрицательных молний характеризуются следующими значениями:

- соотношение долей наземных и облачных в общем количестве всех молниевых разрядов составляет 12% к 88%;
- соотношение долей положительных и отрицательных в общем количестве наземных разрядов составляет 23% к 77%.

Удельная поражаемость по территории обзора грозопеленгационной сети находится в диапазоне от 2 до 6 молниевых разрядов на квадратный километр в год. Грозовая активность на юге юга европейской части России выше, чем на севере. Удельная поражаемость поверхности земли молниями за год в районе г. Сочи составляет 5–6 на 1 км², а в районе г. Ростов-на-Дону около 2 на 1 км².

Интенсивность молниевых разрядов по всей территории обзора грозопеленгационной сети достигает:

- для наземных молниевых разрядов до 210 разрядов в минуту;
- для облачных молниевых разрядов до 1 650 разрядов в минуту.

- 1. Степаненко В. Д., Гальперин С. М. Радиотехнические методы исследования гроз / Л.: Гидрометеоиздат. 1983. 204 с.
- 2. Аджиев А. Х., Тапасханов В. О., Стасенко В. Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 5–11.

Влияние орографии на динамику электрических явлений в атмосфере

<u>А. Х. Аджиев</u>, Д. Д. Кулиев, С. Т. Казакова, Н. В. Юрченко Высокогорный геофизический институт, Росгидромет, Нальчик

Существуют два основных способа мониторинга грозовой активности. Один из них основан на обнаружении молниевых разрядов различными техническими средствами, а другой — на измерении статической компоненты электрического поля у поверхности земли. В ряде работ отмечается, что при грозовых процессах имеет место значительный рост значений напряженности электрического поля по сравнению с ясной погодой. Суточный ход значения напряженности электрического поля атмосферы служит объектом разделения глобальных и локальных факторов атмосферного электричества. Поэтому он наиболее изучен из всех закономерностей атмосферного электричества. Более значительные искажения в естественный ход напряженности поля атмосферы вносят грозовые процессы, связанные с генерацией объемного заряда в облаках, туманах и зонах осадков [1–3].

С целью более детального анализа пространственно-временных изменений электрического поля атмосферы в данной работе проведены совместные исследования суточных вариаций градиента потенциала электрического поля атмосферы при грозах и параметров разрядов молний на территориях с различной орографией.

Методика измерений и состав аппаратуры выбирались с учетом возможности их работы без обслуживания длительное время, что позволяет собрать за короткий период времени достаточное количество измерений.

Анализируется динамика временных изменений грозовой активности и значения напряженности электрического поля при развитии грозо-градовых процессов по территории Северного Кавказа в различные дни. Для выявления динамики временного хода напряженности поля атмосферы при разрядах молнии осуществлялись:

 наложения на временной ход значений электрического поля гистограммы количества положительных и количества отрицательных разрядов молний на землю в радиусе 10 км от места установки измерителя напряженности электрического поля атмосферы;

 наложения на временной ход значений электрического поля гистограммы общего количества облачных разрядов и общего количества наземных разрядов в радиусе 10 км от места установки измерителя электрического поля атмосферы.

На рисунке 1 приводятся полученные статистические распределения значений токов отрицательных и положительных разрядов молний характерных для всей территории юга европейской части России.



Рис. 1. Распределение значений токов молнии отрицательной и положительной полярности.

Для параметров распределения силы тока молниевых разрядов различной полярности над равнинной и горной местностью получены следующие значения:

1. Амплитуда тока положительных молний варьируется от +2,79 до +188 кА и от +2,94 до +211 кА для горной и равнинной части соответственно.

2. Для отрицательных разрядов аналогичный диапазон значений составили от -2,63 до -173 кА и от -2,79 до -170 кА.

3. В горной части более половины отрицательных разрядов имеют токи менее 8,6 кА, а положительные менее 6,9 кА.

4. В равнинной части более половины отрицательных разрядов имеют токи менее -6,85 кА, а положительные менее +6,0 кА.

- 1. *Имянитов И. М., Шифрин Н. С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества // УФН. 1962. Т. 76, вып. 4. С. 593–642.
- 2. Golde R. H. Lightning, V. 1. / Academic Press, London. 1977.
- 3. *Montanya J., Bergas J., Hermosoet B.* Electric field measurements at ground level as a basis for lightning hazard warning // J. of Electrostatics. 2004. V. 60. P. 241–246.

Идентификация пространственной локализации грозы и града по данным метеорологических спутников

<u>В. П. Горбатенко</u>, О. Е. Нечепуренко Томский государственный университет, Томск

На слабо освещенных наблюдениями территориях Западной Сибири и Дальнего Востока использование данных дистанционного зондирования позволяет уточнять как временную, так и пространственную локализацию конвективных ячеек и оценивать вероятность развития опасных конвективных явлений. В процессе разработки описываемой методики выполнено:

1. Рассчитаны значения индексов неустойчивости атмосферы, описывающих латентную нестабильность атмосферы, конвективный потенциал, наличие сдвигов ветра в средней тропосфере, комплексные характеристики, содержащие одновременно информацию о стабильности и влагосодержании атмосферы над юго-восточной частью Западной Сибири при наличии в атмосфере опасных конвективных явлений разной степени развития: ливня, грозы, града, шквала [1, 2]. Воспользоваться результатами зарубежных исследований, в которых определены интервалы изменчивости индексов, характеризующих ту или иную вероятность грозы и града, не представляется возможным, поскольку пороговые значения индексов существенно различаются.

3. По интервалам значений индексов, зарегистрированных при наличии тех или иных явлений, произведена классификация состояний атмосферы Западной Сибири по степени неустойчивости. Степень развития неустойчивости качественно поделена на ряд этапов: слабо неустойчивая (наличие ливней), неустойчивая (наличие ливней и отдельных гроз), сильно неустойчива (на всей территории регистрируются грозы), крайне неустойчивая (гроза, град), экстремально неустойчивая (гроза, град, шквал) [1, 2].

4. Определены пороговые значения индексов, при достижении которых формируются грозы над территориями России, расположенными в разных географических условиях [1].

5. Проведено сравнение значений индексов неустойчивости атмосферы, рассчитываемых по данным аэрологического зондирования и восстановленных с помощью спектрорадиометра MODIS, установленного на космических платформах EOS AM-1 (Terra) и EOS PM-1 (Aqua). Получено [3, 4], что результаты зондирования атмосферы спектрорадиометром MODIS позволяют получить информацию о значениях ряда индексов, характеризующих неустойчивость атмосферы. Значение индекса позволяет оценить вероятность грозы и града и отследить пространственное расположение и динамику развития конвективных кластеров. На рис. 1 приведено расположение очагов крайней неустойчивости атмосферы, определенных по значения индекса TOTL (°C), которые были восстановлены по данным тематического продукта MOD07_L2 за 13 июля 2014 года (06:00 UTC) для юго-востока Западной Сибири. В этот день случились непредвиденные синоптиками опасные явления погоды, повлекшие человеческие жертвы: гроза, шквалистый ветер и град размером с перепелиное, а иногда и с голубиное яйцо. Линия шквала на рис. 1 обозначена положением конвективных ячеек, со значениями индекса TOTL в интервале 50–60°C. Заметим, что значения индекса TOTL, превышающие порог в 48°C, свидетельствуют о вероятности грозы и града не менее 70%, а порог 52°C — 90% [1].



Рис. 1. Значения индекса ТОТL (°С) за 13 июля 2014 года (06:00 UTC).

- 1. *Konstantinova D. A., Gorbatenko V. P.* Threshold values of characteristics of atmosphere instability during thunderstorms // Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100356Q (November 29, 2016).
- 2. Ершова Т. В., Горбатенко В. П., Клипова О. А. Термодинамические параметры атмосферы при грозах и ливнях // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. № 122. вып. 7. С. 9–13.
- 3. Горбатенко В. П., Нечепуренко О. Е., Кречетова С. Ю., Беликова М. Ю. Верификация параметров неустойчивости атмосферы, восстановленных по данным спектрорадиометра MODIS/Terra данными аэрологического зондирования // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 07. С. 603–607.
- 4. Горбатенко В. П., Кречетова С. Ю., Беликова М. Ю., Нечепуренко О. Е. Сравнение индексов неустойчивости атмосферы, восстанавливаемых по данным радиозондирования и спектрорадиометра MODIS в дни с грозами, над территорией Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 10–19.

Моделирование прямых и обратных эффектов между грозовой активностью, температурой и составом атмосферы в региональном масштабе

Л. И. Коломеец, С. П. Смышляев

Российский государственный гидрометеорологический Университет, С.-Петербург

Окислы азота оказывают значительное влияние на содержание озона, гидроксильных радикалов и других радиационных газов [1]. С экологической точки зрения не желательно их увеличение ни в тропосфере, ни в стратосфере. Важным не поверхностным источником окислов азота являются грозовые разряды, поэтому учет дополнительного источника окислов азота молниевого происхождения в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов являются важной задачей с точки зрения более детального описания протекания подсеточных физических процессов.

Для изучения особенностей обратных связей между грозовой активностью, содержанием атмосферных газов и полями температуры, используется численная региональная модель *The Weather Research and Forecasting model* (WRF-Chem), версия 3.6. Для расчета молниевой продукции окислов азота в каждом узле модельной сетки используется параметризация Price и Rind (PR92, PR94) для нейтральной стратификации. Основной задачей данной параметризации является прогноз временного и пространственного распределения отдельных грозовых вспышек без использования дополнительной сложной электрической схемы [2]. Вертикальное распределение количества молниевых вспышек соответствует Гауссовому распределению в диапазоне температур от -15 до -45° С. Для проверки гипотезы о значимости обратных связей между молниевой активностью, газовым составом и температурой атмосферы был выбран регион побережья Черного моря.

В настоящей работе используется химическая схема RADM2, которая включает в себя неорганические и органические соединения. Неорганические соединения представлены 14 устойчивыми видами, 4 реакционноспособными промежуточными соединениями и 3 устойчивыми соединениями (кислород, азот и водяной пар). Атмосферные органические соединения представлены 26 устойчивыми видами и 16 пероксильными радикалами.

В настоящей работе разработана методика исследования эффектов молниевой активности на состав и структуру тропосферы и нижней стратосферы в региональном масштабе.

- Выявлены прямые и обратные связи между атмосферным электричеством, структурой и составом атмосферного воздуха в тропосфере/нижней стратосфере. - Получены качественные оценки влияния молниевых вспышек на изменение полей температуры в тропосфере/нижней стратосфере в региональном масштабе.

- Рассчитаны значения изменений значений индексов конвективной неустойчивости атмосферы при учете дополнительных источников окислов азота молниевого происхождения.

На основании численных экспериментов с моделью численного прогноза погоды / качества воздуха показана важность правильного учета пространственного распределения продуктов грозовых разрядов, поскольку от этого существенно зависит эффект, оказываемый атмосферным электричеством на прогноз конвективного состояния атмосферы. Удаленные от поверхности источники молниевого происхождения окислов азота вносят существенный вклад в результаты моделирования не только основных параметров атмосферы, такие как температура, газовый состав, но и в значительной степени влияют на прогноз энергии неустойчивости атмосферы. Это говорит о том, что учет прямых и обратных связей в атмосфере влияет на прогноз опасных конвективных локальных явлений, основанный на расчете индексов конвективной неустойчивости атмосферы.

- 1. Lawrence M. G., Chameides W. L., Kasibhalta P. S., Levy II H., Moxim W. Lightning and atmospheric chemistry: The rate of atmospheric NO production // Handbook of Atmospheric Electrodynamics. V. 1., ed. H. Volland / CRC Press, Boca Raton, Florida. P. 189–202.
- Wang Y., DeSilva W., Goldenbaum G. C., Dickerson R. R. Nitric oxide production by simulated lightning: Dependence on current, energy, and pressure // J. Geophys. Res. 1988. V. 103 (D15). P. 19,149–19,159. doi:10.1029/98JD01356.

Эффекты сильных землетрясений в вариациях электрических и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке

С. Э. Смирнов¹, <u>Г. А. Михайлова</u>², Ю. М. Михайлов², О. В. Капустина² ¹ Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка ² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн

им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк

Впервые детально исследованы суточные вариации электрических (квазистатического электрического поля и электропроводности) и метеорологических (температура, давление, относительная влажность атмосферы и скорость ветра) величин, измеренных одновременно перед сильными Курильскими землетрясениями (3T): 15 ноября 2006 г., M = 8,3; 13 января 2007 г., *M* = 8,1; 30 января 2016 г., *M* = 7,2 [1]. Показано, что в течение 6–10 дней до момента землетрясения (вопреки естественному отрицательному тренду в это время года [www.pogodaiklimat.ru]) наблюдался положительный тренд температуры с нарушенным регулярным суточным ходом. При этом был нарушен также регулярный суточный ход относительной влажности воздуха: она сохранялась практически неизменной и очень высокой: ~ 90% и выше. В некоторые дни на кривой температуры появились кратковременные всплески, которые сопровождались появлением в вариациях электрического поля знакопеременных колебаний большой интенсивности: ±1000 В/м и значительным ростом электропроводности (особенно отрицательного знака), связанной с обильными осадками и в два-три раза превышающей значения в условиях «хорошей погоды». Одновременно наблюдалось резкое понижение атмосферного давления и усиление ветра до 16 м/с, т.е. имели место метеорологические процессы, характерные для условий локальной грозовой активности в приземной атмосфере. Эти процессы наблюдались до момента сильного 3T и сохранились на следующий день после него. Для образования кучево-дождевых облаков, определяющих состояние грозовой активности в приземной атмосфере на Камчатке в зимние месяцы недостаточно тепла, поступающего от Солнца. Следовательно, эти процессы связаны с включением дополнительного источника теплового излучения. С учетом известных в литературе результатов наблюдений уходящего от земли инфракрасного излучения перед сильными землетрясениями можно предположить, что этот дополнительный источник сейсмической природы.

Литература

1. 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. 2017. (в печати).

Аномальные вариации температуры атмосферы перед сильными землетрясениями на Камчатке и их связь с потоками уходящего от земли инфракрасного излучения

<u>Г. А. Михайлова¹</u>, О. В. Капустина¹, Ю. М. Михайлов¹, С. Э. Смирнов² ¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Троицк

² Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка

Выполнен анализ аномальных вариаций температуры приземной атмосферы на Камчатке (обс. «Паратунка») перед сильными Курильскими землетрясениями: 15 ноября 2006 г., M = 8,3; 13 января 2007 г., M = 8,1. Показано, что за 7-8 суток перед землетрясениями включается источник тепла. дополнительный к естественному источнику от земной поверхности. Интенсивность его такова, что он последовательно увеличивает температуру и влажность атмосферы, существенно изменяя их регулярный суточный ход. Одновременно на больших высотах с помощью метеорологических спутников были зарегистрированы аномальные потоки уходящего от земли инфракрасного излучения. Измеренные потоки над эпицентрами землетрясений и над удаленной от них обсерваторией совпадают между собой и по величине, и по характеру изменения во времени, указывая на большой пространственный масштаб явления. Наблюдаемые в обсерватории аномалии температуры перед землетрясениями и оцененные из одновременных спутниковых наблюдений вблизи поверхности земли различаются по величине, но совпадают между собой по характеру изменения во времени. Полученные результаты в совокупности с результатами ранее исследованных аномальных вариаций таких величин, как квазистатического электрического поля [1-3]; КНЧ-ОНЧ электромагнитного естественного излучения [1, 2, 4]; уровня и температуры подземных вод, потоков воды в скважинах [4-6]; объемной активности радона [2, 7] перед сильными землетрясениями на Камчатке, позволяют сделать вывод о том, что дополнительный источник тепловых аномалий в приземной атмосфере находится в коре земли.

- 1. Руленко О. П., Дружин Г. И., Вершинин Е. Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед Камчатским землетрясением 13.11.93 г. М = 7.0 // ДАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814–816.
- Бузевич А. В., Дружин Г. И., Фирстов П. П., Вершинин Е. Ф., Смирнов С. Э., Филимонов В. И. Гелиогеофизические эффекты, предварявшие Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г., М = 7.7 // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997г. Предвестники, особенности, последствия. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатской Гос. академии рыбопромыслового флота. 1998. С. 177–188.

- 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. 2017. (в печати).
- 4. Гаврилов В. А., Дружин Г. И., Полтавцева Е. В. Результаты одновременных измерений естественных электромагнитных СНЧ–ОНЧ - излучений с использованием подземной и наземной антенн // IV Международная конф. «Солнечноземные связи и предвестники землетрясений» 14–17 августа 2007 г. с. Паратунка, Камчатский край. Труды конференции. Петропавловск-Камчатский: изд-во РАН, ИКИР ДВО РАН. 2007. С. 14-19.
- Копылова Г. Н., Болдина С. В. О механизме гидрогеодинамического предвестника Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г. М = 7.8 // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 5. С. 104–114.
- Tronin A. A., Biagi P. F., Molchanov O. A., Khatkevich Y. V., Gordeev E. I. Temperature variations related to earthquakes from simultaneous observation at the ground stations and by satellites in Kamchatka area // Physics and Chemistry of the Earth. 2004. V. 29. P. 501–506.
- Руленко О. П., Кузьмин Ю. Д. Увеличение объемной активности радона и торона на Камчатке перед катастрофическим землетрясением в Японии 11 марта 2011 г. // VI Международная конференция «Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений» 9 – 13 сентября 2013 г., с. Паратунка, Камчатский край. Труды конференции. Петропавловск-Камчатский: изд-во РАН, ИКИР ДВО РАН. 2013. С. 430–434.

Пороговые значения индексов неустойчивости атмосферы при грозах над Сибирью

<u>О. Е. Нечепуренко</u>¹, В. П. Горбатенко¹, Д. А. Константинова¹, Т. В. Ершова² ¹ Томский государственный университет, Томск ₂ Томский государственный педагогический университет, Томск

В процессе разработки методики идентификация пространственной локализации грозы и града по данным метеорологических спутников [1, 2] замечено, что значения индексов неустойчивости при грозе могут отличаться в разных регионах [3, 4]. Пороговые значения вышеназванных индексов, приведенные в зарубежной литературе, неприемлемы для выявления аналогичных явлений над Сибирью [5].

Целью настоящей части работы является определение пороговых значений индексов неустойчивости, на которые можно с высокой степенью надежности ориентироваться для оценки вероятности развития грозы в разных физико-географических условиях.

Индекс	50%	70%	90%	50%	70%	90%
	Омск	(Омская обл	асть)	Александровское (Томская область)		
SHOW	< 2,5	< 1	< -1	< 2	< 1	<-0,5
LIFT	< 1	<-0,5	<-2,5	< 0,5	<-1	<-3
SWEAT	> 150	> 180	> 240	> 170	> 200	> 270
KIND	> 30	> 33	> 35	> 30,5	> 32,5	> 34,5
TOTL	>49	> 50	> 53	> 50	> 51,5	> 54
CAPE	> 200	> 400	> 900	> 300	> 550	> 1100
Индекс	50%	70%	90%	50%	70%	90%
	Барнаул	п (Алтайский	і край)	Абакан (Республика Хакасия)		
SHOW	< 3	< 1,5	< 0,5	< 2,5	< 0,5	<-0,5
LIFT	< 2,5	< 1	<-2,5	< 0	<-1	<-2,5
SWEAT	> 140	>170	> 220	>165	>175	> 260
KIND	> 28	> 30,5	> 34	> 32	> 34,5	> 37
TOTL	> 47,5	> 49,5	> 52	> 49	> 51,5	> 54
CAPE	-	> 400	> 900	> 400	> 600	> 1000
Индекс	50%	70%	90%	50%	70%	90%
	Емельянов	о (Краснояро	ский край)	Братск (Иркутская область)		
SHOW	< 2	< 1	<-1	< 1,5	< 0,5	<-2
LIFT	< 0,5	< -1	<-3	< 0	<-1,5	<-3,5
SWEAT	> 160	> 190	> 250	>170	> 200	> 270
KIND	> 31	> 33	> 36	> 32	> 33,5	> 35
TOTL	> 49	> 51	> 53	> 49	> 50,5	> 53,5
CAPE	> 200	> 500	> 1300	> 250	> 350	> 1000

Таблица 1.	Значени	ія индексов	неустойч	ивости ат	мосферы,	при д	остижении	которых
	c pa	зличной сте	пенью ве	оятност	и развиван	этся г	розы.	

Информацией о степени развития конвекции послужило наличие опасных конвективных явлений погоды, таких как гроза и град. Данные о времени образования и локализации этих явлений за теплый период (мартсентябрь) с 1990 по 2015 гг. были получены с сети метеорологических станций. Станции были выбраны с таким учетом, чтобы поблизости, в радиусе 100 км, проводились аэрологические наблюдения. Кроме того, в выбранных пунктах располагаются аэродромы различного назначения, для которых в целях обеспечения безопасности полетов крайне необходимо знать синоптическую обстановку с грозовыми событиями.

За те дни, когда на метеостанциях регистрировались опасные конвективные явления, изучались термодинамические характеристики атмосферы (индексы неустойчивости), рассчитанные по данным аэрологического зондирования атмосферы в стандартные сроки 00 и 12 часов ВСВ. В таблице 1 приведены значения термодинамических характеристик, при достижении которых над рядом пунктов Западной и Восточной Сибири с различной степенью вероятности развиваются грозы.

- 1. Горбатенко В. П., Кречетова С. Ю., Беликова М. Ю., Нечепуренко О. Е. Сравнение индексов неустойчивости атмосферы, восстанавливаемых по данным радиозондирования и спектрорадиометра MODIS в дни с грозами, над территорией Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 10–19.
- Konstantinova D. A., Gorbatenko V. P. Threshold values of characteristics of atmosphere instability during thunderstorms // Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100356Q (November 29, 2016).
- 3. Ершова Т. В., Горбатенко В. П., Клипова О. А. Термодинамические параметры атмосферы при грозах и ливнях // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. № 122. вып. 7. С. 9–13.
- Константинова Д. А., Горбатенко В. П., Ершова Т. В. Сравнение характеристик конвекции над равниной и горами в дни с грозой // VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству (24–28 сентября 2012 г., г. Санкт-Петербург): Сборник трудов – С-Пб: Изд-во Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, 2012. С. 135–137
- 5. Горбатенко В. П., Константинова Д. А. Конвекция в атмосфере над юговостоком Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2009. № 12. Т. 22. С.17–21.

Формирование аэрозолей путем генерации коронного разряда и характеристики их эволюции

М. А. Васильева¹, В. Г. Ераньков², Н. В. Жохова³, <u>А. А. Палей</u>⁴, Н. П. Романов² ¹ Московский государственный университет путей сообщения, Москва ² Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск ³ Государственный океанографический институт, Москва ⁴ Институт прикладной геофизики, Москва

Рассматривается коронный разряд в качестве одного из источников техногенного загрязнения атмосферы аэрозольными частицами нано метрового размера (10–200 нм). Результаты лабораторных исследований, выполненных в большой аэрозольной камере НПО «Тайфун» (объем камеры 3200 м³) показали, что через 20 минут после генерации коронного разряда в очищенном от всех аэрозолей объеме атмосферного воздуха появляются аэрозоли нано метрового диапазона размеров, концентрацией ~ 10^5 см⁻³. Генерация коронного разряда (ток –3 мА) осуществлялась путем подачи высокого напряжения (35 кВ) на коронирующие электроды, установленные с зазором (8 см) относительно заземленной свободной для прохождения воздушного потока решетчатой конструкции площадью 1,2 м². Суммарная мощность коронного разряда составляла ~ 100 Вт. Для регистрации аэрозольных частиц использовался спектрометр фирмы TSI SMPS 3936.



Рис. 1. Спектр аэрозольных частиц в очищенной от всех аэрозолей камере спустя 20 минут после генерации коронного разряда.



Рис. 2. Эволюция спектра образовавшихся аэрозольных частиц в объеме большой аэрозольной камеры. Обозначения: F17 (7 февраля): 1011 (10 часов 11 мин).

Формирующийся в процессе коронного разряда аэрозоль — это, скорее всего, так называемые вторичные аэрозоли (new particle formation), которые являются нуклеационной фракцией частиц, зарождающихся в воздухе из содержащихся в нем малых газовых составляющих. В результате эволюции образовавшегося аэрозоля, обусловленной Броуновской коагуляцией, формировался спектр частиц, описываемый нормальным распределением. В процессе эволюции масса аэрозоля остается постоянной.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проект № 15-08-04724.

- Васильева М. А., Дубцов С. Н., Жохова Н. В., Палей А. А., Писанко Ю. В., Толпыгин Л. И. Оценка уровня концентрации аэрозольных частиц у автомобильной дороги и ЛЭП в сравнении с фоновыми показателями субмикронных частиц естественной атмосферы //Труды ГГО. 2016. вып. 580. С. 99–109.
- Васильева М. А., Дубцов С. Н., Жохова Н. В., Палей А. А. Полевые исследования по влиянию ЛЭП на концентрацию атмосферных аэрозолей // Глобальная электрическая цепь. Материалы Второй Всероссийской конференции / ГО «Борок» ИФЗ РАН – Ярославль: Филигрань. 2015. С. 87–88.
- 3. *Paley A. A., Romanov N. P.* Construction and characteristics of a Fog Droplet Collector made with the Use of a Corona Discharge // Proc. of the 6th Int. Conf. on Fog, Fog Collection and Dew. Yokohama, Japan. 2013. p. 19.

Глобальная электрическая цепь как система, обеспечивающая взаимодействие атмосферы и ионосферы

<u>С. А. Пулинец</u>, Д. В. Давиденко Институт космических исследований РАН, Москва

Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) представляет собой уникальную систему, включающую в механизм своего образования также источники пространственной и временной изменчивости, обеспечиваемой за счет ионизации, загрязнения и динамики атмосферы [1]. В течение первых десятилетий исследования ГЭЦ ионосфера входила в модель цепи только в виде ионосферного потенциала, а в самой модели под ионосферой понималась ее нижняя граница на высоте порядка 60 км [2]. При создании комплексной модели литосферно-атмосферно-ионосферно-магнитосферных связей [3] было установлено, что ГЭЦ играет исключительно важную роль в обеспечении взаимодействия атмосферы и ионосферы в присутствие искусственных источников ионизации и загрязнения атмосферы [4], причем в результате взаимодействия образуются крупномасштабные неоднородности электронной концентрации в области F ионосферы.

В работе рассмотрены различные подходы к моделированию эффектов ионизации (модификация проводимости и генерация аномального электрического поля), рассмотрена роль пограничного слоя атмосферы на восходно-заходные эффекты, приводятся примеры экспериментальной регистрации ионосферных предвестников землетрясений, эффектов пылевых бурь и извержений вулканов, а также радиоактивного загрязнения в результате аварий на атомных электростанциях и при испытаниях ядерного оружия.

- 1. *Мареев Е. А.* Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // УФН. 2010. Т. 180. вып. 5. С. 527–534.
- 2. *Markson R*. The global circuit intensity: its measurement and variation over the last 50 years // B. Am. Meteorol. Soc. 2007. V. 88. No 2. P. 223–241.
- Пулинец С. А., Узунов Д. П., Карелин А. В., Давиденко Д. В. Физические основы генерации краткосрочных предвестников землетрясений. Комплексная модель геофизических процессов в системе литосфера-атмосфера-ионосферамагнитосфера, стимулируемых ионизацией, Геомагнетизм и аэрономия // 2015. Т. 55, вып. 4. С. 521–538.
- 4. *Pulinets S., Davidenko D.* Ionospheric precursors of earthquakes and Global Electric Circuit // Adv. Space Res. 2014. V. 53. No 5. P. 709–723.

Сезонная изменчивость электрического поля в приземном слое атмосферы

<u>М. В. Шаталина</u>, В. В. Клименко, Е. А. Мареев Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород

Для исследований глобальной электрической цепи существенный интерес представляет вопрос о влиянии областей нарушенной погоды на электрические процессы в атмосфере. Облака покрывают более половины земного шара, и, следовательно, их вклад в глобальную цепь может оказаться существенным. В настоящем докладе представлены результаты наблюдений и обработки экспериментальных данных длительных (2012–2016 гг.) непрерывных измерений электрического поля с помощью сети флюксметров, расположенной в Нижегородском регионе, и проведено их сопоставление с метеорологическими параметрами для условий нарушенной погоды (рис.1.).



Рис. 1. Вариации среднесуточных нормированных значений поля *E* и облачности *С* в первом квартале 2015 года.

Показано, что среднесуточные значения электрического поля коррелируют с среднесуточной температурой приземного атмосферного слоя и облачностью летом в фазе, а зимой в противофазе. Характерный временной масштаб этих коррелированных вариаций составляет порядка 30 суток.

Сделаны теоретические оценки влияния облачности на электрическое поле в приземном слое для различных предельных случаев, в частности, в приближении постоянного ионосферного потенциала, и проведено их сопоставление с экспериментальными результатами. Получена зависимость ослабления электрического поля от проводимости облачного слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-01086-а.

МОНИТОРИНГ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И БАЗЫ ДАННЫХ

Обсерваторские аэроэлектрические и аэрофизические наблюдения на геофизической обсерватории «Борок»

<u>С. В. Анисимов</u>, Э. М. Дмитриев, К. В. Афиногенов, А. В. Гурьев Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

На Геофизической обсерватории «Борок» Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН (ГО «Борок» ИФЗ РАН) непрерывно регистрируются как аэроэлектрические, так и аэрофизические, метеорологические и геомагнитные поля (рис. 1). Низкий уровень сейсмических и электромагнитных шумов в районе расположения ГО «Борок» [58° 04' N; 38° 14' E], отсутствие источников техногенного загрязнения, позволяют использовать данные наблюдений для исследования естественных процессов в глобальной электрической цепи [1–3].



Рис. 1. Измерительный комплекс ГО «Борок» ИФЗ РАН.

Аэроэлектрические наблюдения включают измерения плотности вертикального электрического тока атмосферы (антенна «токовый коллектор») и вертикального электрического поля (электростатический флюксметр).

Объемная активность (OA) радиоактивных газов — основных ионизирующих факторов приземной атмосфере измеряется сейсмической радоновой станцией «CPC-01» (OA 222 Rn и 220 Rn в почвенном воздухе в диапазоне 20 – 2·10⁴ Бк/м³), радиометр «AlphaGuard PQ2000» (вариации OA 222 Rn в приземной

атмосфере в диапазоне $3 - 2 \cdot 10^6 \, \text{Бк/м}^3$), радон-монитор «Radon Scout Plus» (среднесуточные значения OA ²²²Rn в помещении).

Метеорологические наблюдения (измерения температуры воздуха, давления, влажности, осадков, скорости и направления ветра) проводятся с помощью автоматической цифровой метеостанции «WS-2500». Пульсации температуры воздуха и скорости ветра, а также относительная влажность воздуха и атмосферное давление, измеряются цифровым ультразвуковым метеокомплексом «Метео-2М».

Метеорологический допплеровский акустический локатор (содар) «Волна-3» измеряет вертикальные профили трех компонент скорости ветра до высот 300 – 800 м. Метеорологический температурный профилемер «МТП-5» определяет высотные профили температуры нижней атмосферы до высот 1000 м с разрешением 50 м по высоте и 5 мин по времени.

В измерительный комплекс входят также пиранометр «СМР-3» для измерения полной плотности потока солнечного излучения и высокоточный жидкостной микробарограф для регистрации инфразвуковых вариаций давления.

Наблюдаемые геофизические поля регистрируются компьютерами сбора данных с высоким временным разрешением (до 10 Гц) и через локальную сеть сбора данных поступают в базу данных ГО «Борок» ИФЗ РАН. Доступ к базе данных осуществляется через интернет-ресурс по направлению глобальной электрической цепи, аэроэлектричества и геомагнетизма (geodata.borok.ru). В настоящее время наряду с данными цифровой регистрации (с 1998 г.) база данных пополняется результатами оцифровки бумажных регистрограмм аэроэлектрического поля и тока (с 1988 г.), что расширяет возможности выявления длиннопериодных колебаний и трендов в вариациях атмосферного электрического поля и тока.

Работа по развитию измерительного комплекса и базы данных ГО «Борок» ИФЗ РАН ведется при поддержке РФФИ (гранты №№ 15-05-04960 и 16-07-01242).

- Анисимов С.В., Дмитриев Э.М., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Аэроэлектрические и аэрофизические наблюдения на геофизической обсерватории «Борок» // Мат-лы 2-й Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь», Борок 5 – 9 октября 2015. ГО «Борок» ИФЗ РАН, Ярославль. 2015. С. 98–99.
- Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М., Прохорчук А.А. База данных Геофизической обсерватории «Борок» для аэроэлектрических исследований // Мат-лы Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь», Борок 28 октября – 01 ноября 2013. ГО «Борок» ИФЗ РАН, Ярославль. 2013. С. 82–83.
- Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Гурьев А.В., Дмитриев Э.М. Атмосферные электрические наблюдения на Геофизической обсерватории «Борок» / в сб. трудов VII Всерос-кой конф. по атмосферному электричеству. С.-Петербург. 2012. С. 24–26.

Аппаратное обеспечение аэростатных наблюдений высотных аэроэлектрических профилей

<u>К. В. Афиногенов</u>, С. В. Анисимов, А. В. Гурьев Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

Формирование атмосферного электрического поля и глобальной электрической цепи остается одной из нерешенных проблем современной геофизики [1]. Для исследования электричества атмосферного пограничного слоя (АПС) на полигоне геофизической обсерватории «Борок» [58°04' N; 38°14' E] в условиях отсутствия промышленных помех и атмосферных загрязнений регулярно проводятся полевые аэроэлектрические наблюдения, результаты которых служат входными параметрами численного моделирования электродинамического состояния АПС [2]. Цель данной работы заключается в создании измерительного аппаратного комплекса для проведения аэростатных наблюдений высотных электрических профилей АПС.

С целью исследования вертикальных профилей электрических параметров АПС разработано аппаратное и программное обеспечение, построен опытный образец аэростатной платформы, с помощью которой проведены экспериментальные полевые наблюдения. Подъем аэростатной платформы выполняется привязным аэродинамическим аэростатом, наполняемым гелием. Рабочий объем оболочки аэростата — 75 м³, а грузоподъемность — 25 кг. Корпус платформы — алюминиевый каркас, экранированный металлизированным пенополипропиленом. Аппаратурный состав платформы включает в себя дифференциальную пару авторских электростатических флюксметров, датчик полярных электрических проводимостей воздуха, датчик концентрации аэрозольных частиц, датчик объемной активности радона, метеорологические датчики, барометрический высотомер, акселерометр-гироскоп и GPS приемник. Управление работой датчиков осуществляется бортовым компьютером платформы, построенным на базе одноплатного ПК Raspberry PI под управлением OC Debian GNU/Linux.

Работа выполнена за счет гранта РНФ № 16-17-10209 и частичной поддержке гранта РФФИ № 15-05-04960.

- 1. Анисимов С. В., Мареев Е. А. Геофизические исследования глобальной электрической цепи, Физика Земли, 2008, № 10, С. 8–18.
- 2. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Шихова Н. М., Афиногенов К. В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Физика атмосферы и океана, 2014, Т. 50, № 4. С. 445–454.

Универсальная система удаленного сбора данных для мониторинга характеристик природной среды

<u>Л. В. Грунская</u>, А. Н. Золотов, Л. В. Лукьянов Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир

Разработана и создана на физическом полигоне ВлГУ система удаленного сбора данных для мониторинга характеристик природной среды: электрическое поле пограничного слоя атмосферы Земли, геомагнитное поле, метеоданные. Созданный комплекс выполняет задачи: регистрация электрического поля, геомагнитного поля, метеоданных; сбор, обработка и хранение результатов мониторинга; удаленный анализ баз экспериментальных данных. Новизна разработанного комплекса: удаленный доступ к базам данных, возможность контролировать и устанавливать параметры системы мониторинга, возможность использования системы на передвижных установках, компактность. Разработанные алгоритмы работы системы направлены на повышение точности временной привязки и резервирования регистрируемых данных, для предотвращения потери данных в случаях сбоя. Основная задача планируемых исследований связана с созданием мобильного переносного приемно-регистрирующего комплекса мониторинга характеристик природной среды: электромагнитное поле пограничного слоя атмосферы Земли и метеофакторы. Создаваемый комплекс будет выполнять задачи: регистрация электрического поля, геомагнитного поля, метеоданных; сбор, обработка и хранение результатов мониторинга. Комплекс будет работать в синхронном режиме с приемно-регистрирующей системой характеристик природной среды физического экспериментального полигона ВлГУ. Разрабатываемый комплекс будет компактным, переносным и с его помощью планируется создание карты вариаций электромагнитного поля пограничного слоя атмосферы Земли на территории Владимирской области. Получаемые данные мониторинга с помощью комплекса будут использоваться для исследования рисков возникновения заболеваний, связанных с характеристиками природной среды Владимирской области. Работы базируются на имеющихся патентах и свидетельствах [1-8].

- 1. Грунская Л. В., Полушин П. А., Ефимов В. А. Патент «Электростатический флюксметр» № 104729 от 20.05.2011/30.11.2010.
- 2. Грунская Л. В., Полушин П. А., Ефимов В. А. Патент «Датчик электрического поля» № 110469 от 20.11.2011/29.06.2011.
- 3. Золотов А. Н., Руфицкий М. В. Патент «Аналого-цифровой преобразователь» № 2477564 от 10.03.2013.
- 4. Исакевич В. В., Исакевич Д. В., Грунская Л. В., Рубай Д. В., Лещев И. А. Патент РФ № 141582 на полезную модель от 28 апреля 2014 года: «Обнаружитель сла-

бых переотражений в импульсных помехах». 5. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ Программа для оценки вероятности ложной тревоги при выявлении во временных рядах спектрально локализованных составляющих с использованием анализатора собственных векторов и компонент сигнала Автор: Рубай Д.В. 22.06.2015, 2015661309, 23.10.2015.

- 6. Золотов А. Н., Руфицкий М. В. Цифроаналоговый преобразователь: пат. на изобретение № 2459352 РФ; заявитель и патентообладатель Владимирский государственный университет. № 2011124564/08; опубл. 20.08.2012.
- 7. Золотов А. Н., Руфицкий М. В. Аналого-цифровой преобразователь: пат. на изобретение № 2477564; заявитель и патентообладатель Владимирский государственный университет. № 2011140359/08; опубл. 10.03.2013.
- 8. Найш М. М., Руфицкий М. В., Осин А. В., Золотов А. Н., Махмуд Б. Микросхема с оптической системой синхронизации: пат. на полезную модель № 139679 РФ; заявитель и патентообладатель ООО «РУСАЛОКС». № 2013107282, опубл. 20.03.2014.

Айгеноскопия многолетних временных рядов электрического поля пограничного слоя атмосферы Земли на частотах лунных приливов

<u>Л. В. Грунская</u>¹, В. В Исакевич², Д. В. Исакевич², Л. В. Лукьянов¹ ¹ Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир ² ООО «БизнесСофтСервис», Владимир

Исследования посвящены использованию анализатора собственных векторов и компонент сигнала (айгеноскопа) для выявления главных компонент вертикальной составляющей электрического поля в приземном слое атмосферы, амплитудный спектр которых локализован на частотах лунных приливов [1–8].

При получении результатов использовалась четырехуровневая процедура:

1. Построение ортонормированного базиса собственных векторов и спектра собственных значений ковариационной матрицы исследуемого временного ряда.

2. Анализ амплитудных спектров Фурье собственных векторов ковариационной матрицы и отбор тех из них, амплитудные спектры Фурье которых локализованы на частотах, близких к частотам лунных приливов.

3. Оценка — на основе нормированных собственных значений — действующих значений главных компонент, амплитудные спектры которых локализованы вблизи частот лунных приливов.

4. Оценка вероятности ложной тревоги — вероятности случайного возникновения собственных векторов, имеющих амплитудные спектры, локализованные вблизи частот лунных приливов.

Проведенное исследование собственных векторов ковариационных матриц временных рядов многолетних наблюдений за вертикальной составляющей электрического поля в пограничном слое атмосферы в инфранизкочастотном диапазоне убедительно показывает, что:

• часть этих собственных векторов имеет амплитудные спектры, которые локализованы на частотах лунных приливов;

• вероятность того, что такая спектральная локализация амплитудных спектров собственных векторов возникает случайно, ничтожно мала;

• действующие значения главных компонент временных рядов, амплитудные спектры которых локализованы на частотах лунных приливов, составляют несколько десятых В/м;

• главные компоненты, амплитудные спектры которых локализованы на частотах лунных приливов, не обнаружимы с использованием классического спектрального анализа в силу своей некогерентной сложнопериодической природы. Авторы считают, что использование айгеноскопии и айгеноскопов будет полезным при исследовании энергетически недоминирующих сигналов и процессов.

- Исакевич В. В., Грунская Л. В., Исакевич Д. В. Выявление спектрально локализованных компонент на частотах лунных приливов во временных рядах вертикальной составляющей электрического поля пограничного слоя атмосферы Земли // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия – М.: ООО «Профиль-2С». 2014. вып. 2. С. 43–53.
- Грунская Л. В., Исакевич В. В., Алексеевич Е. В., Сушкова Л. Т., Закиров А. А., Рубай Д. В. Решение задачи обнаружения лунных приливов в электрическом поле пограничного слоя атмосферы. // Электромагнитные волны и электронные системы – М.: «Радиотехника», 2012, т. 17, № 3, С. 45–50.
- 3. Грунская Л. В., Исакевич В. В., Исакевич Д. В., Рубай Д. В., Золотов А. Н. Исследование воздействия лунных приливов на электромагнитное поле пограничного слоя атмосферы с помощью метода собственных векторов. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. № 4. С. 65–70.
- 4 Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» / Д. Л. Данилов, А. А. Жиглявский (ред.) – СПбГУ. изд-во Пресском. 1997. 308 с.
- 5. Сушкова Л. Т., Грунская Л. В., Исакевич В. В., Батин А. С., Исакевич Д. В. Использование собственных векторов ковариационных матриц для обнаружения гармонических составляющих временных рядов. // Известия института инженерной физики, 2010, т. 4, № 18, С. 62–66.
- 6. Исакевич В. В., Исакевич Д. В., Грунская Л. В. Анализатор собственных векторов и компонент сигнала. Патент РФ на полезную модель 354 № 116242 от 30.09.2011.
- 7. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения Минск: Наука и техника. 1987. 688 с.
- 8. Грунская Л. В., Морозов В. В. Лунно-солнечные приливы в электрическом поле атмосферы Земли // Известия высших учебных заведений. Физика. 2003. № 12. С. 71–77.

К определению условий «хорошей погоды»

В. И. Демин Полярный геофизический институт, Апатиты

При изучении явлений атмосферного электричества принято использовать экспериментальные данные, полученные в условиях «хорошей погоды». К последним относят периоды времени, когда отсутствуют грозы, атмосферные осадки, туман, дымка, метель, поземок, изморозь, сильный ветер, нижняя (и особенно кучевая) облачность, а также отрицательные или аномально высокие положительные значения напряженности электрического поля. Как показывают измерения, в ряде случаев соблюдение только этих требований может оказаться недостаточным. Метеорологические величины в приземном и пограничном слоях имеют определенный суточный ход. Его нарушение не является случайным и является следствием каких-либо крупномасштабных динамических процессов, происходящих в атмосфере. Так, например, ветер в ночные часы ослабевает с установлением инверсии и усиливается днем при ее разрушении. В связи с этим, ночное усиление скорости ветра, даже если оно не выходит не установленные условиями «хорошей погоды» пределы, или, наоборот, его ослабление днем следует считать признаком каких-то изменений, связанных с интенсификацией турбулентного обмена с вышележащими слоями атмосферы, влияющего и на характеристики электрического поля. О происходящих изменениях могут говорить и изменения типичного суточного хода температуры, влажности, облачности. Очень важно, что нарушения характерного суточного хода метеорологических параметров часто происходят за много часов до того момента, как регистрируются нарушения принятых условий «хорошей погоды». В ряде случаев, если ориентироваться только на существующие условия «хорошей погоды», можно не заметить изменения термодинамического состояния пограничного слоя и приход другой воздушной массы (с другими аэрозольными характеристиками). Можно предположить, что соблюдение характерного для данного региона и сезона суточного хода метеорологических параметров может быть дополнительным критерием к уже общепринятым условиям «хорошей погоды» при изучении ряда явлений атмосферного электричества (например, при исследовании солнечно-магнитосферных эффектов), так как позволяет снизить шум, создаваемый динамическими процессами в атмосфере.

Изменение грозовой активности над Горным Алтаем в период 1955–2011 гг.

<u>С. Ю. Каранина</u>, А. В. Каранин, Н. А. Кочеева, Т. А. Пушкарева Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск

Для территории Республики Алтай был проведен общий анализ изменения активности гроз за 1955–2011 гг. [1]. На основе результатов факторного анализа проведено районирование территории Республики Алтай по сходным тенденциям в изменчивости грозовой активности. Были выделены три категории регионов.

1. Территории «стабильности» грозовой активности — метеостанция Шебалино, которая расположена на южной границе Северо-Алтайской физико-географической провинции. Данная гидрометеостанция (ГМС) ранее была выделена как грозовой очаг с максимальной для территории республики активностью гроз [1].

2. Территории снижения числа дней с грозой и продолжительности гроз — ГМС Усть-Кан (Западно-Алтайская провинция) и Улаган (Восточная провинция). Территории этих ГМС характеризуются средним уровнем активности гроз.

3. Территории «смешанного типа». Для этого типа характерна тенденция снижения до 2001 года суммарной продолжительности гроз в год на фоне практически неизменного числа дней с грозой. В дальнейшем проявляется рост вариативности показателей грозовой активности. Такой ход развития грозовой активности наблюдается на ГМС Усть-Кокса (Центральная провинция), Турочак (Северо-Восточная Алтайская провинция), Кызыл-Озек (Северо-Алтайская провинция). Сильная вариативность и увеличение продолжительности гроз с 2001 года при уменьшении числа дней с грозой характерны для ГМС Кош-Агач (Юго-Восточная провинция) и при увеличении числа дней с грозой — для ГМС Онгудай (Центрально-Алтайская провинция). Станции, расположенные на этой территории, показывают различную степень активности гроз — от грозового очага (ГМС Турочак), до низкого уровня активности гроз (ГМС Кош-Агач) [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ, проект 16-47-040081 p_a.

Литература

 Дмитриев А. Н., Кречетова С. Ю., Кочеева Н. А. Грозы и лесные пожары от гроз на территории Республики Алтай – Горно-Алтайск: Изд-во Горно-Алтайского государственного университета. 2011. 195 с.

О наблюдениях спектральных резонансных структур в полосе частот ионосферного альфвеновского резонатора на магнитной станции «Байгазан»

А. Ю. Гвоздарев¹, Е. О. Учайкин¹, А. А. Колмаков², <u>С. В. Келюев¹</u> Горно-Алтайский государственный университет, Горно-Алтайск ² Томский государственный университет, Томск

В ноябре 2014 г. на магнитной станции «Байгазан» Горно-Алтайского государственного университета был установлен индукционный магнитометр разработки ГАГУ на базе датчика ИНТ-1 (предоставлен Институтом солнечно-земной физики СО РАН) и начат мониторинг геомагнитных вариаций с его помощью. Низкий уровень магнитных шумов на станции, которая расположена на кордоне Алтайского заповедника, и относительно высокая чувствительность аппаратуры позволяет уверенно регистрировать спектральные резонансные структуры (СРС) в полосе частот ионосферного альфвеновского резонатора и три первых шумановских резонанса (8, 14, 20 Гц).

Был проведен предварительный анализ частоты наблюдений СРС на станции за 2015–2016 гг. Для этого по данным индукционного магнитометра строились динамические спектры и по характерным для СРС картинам спектров выявлялись дни их наблюдений. СРС наблюдались в ночное время. На рисунке ниже представлена зависимость количества дней с СРС и дней наблюдений от месяца года за исследуемый период. Хорошо заметна годовая волна с минимумом в летние месяцы. Снижение количества дней наблюдений в летний период связано с вынужденными перерывами в регистрации в грозовой период из-за молниевых повреждений энергосистемы станции. Средний процент дней с СРС на станции составляет 35%.

Влияние облачности на объемную активность радона и параметры приземной турбулентности

<u>А. С. Козьмина</u>, С. В. Галиченко, С. В. Анисимов Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

При разработке моделей электричества нижней атмосферы, учитывающих переменную интенсивность образования ионных пар в воздухе, необходимо оценить влияние облачности на вариабельность высотных профилей объемной активности изотопов радона [1]. Результаты проведенных ранее исследований вертикального распределения радона ²²²Rn в атмосфере показали наличие устойчивой связи температурной стратификации атмосферы и наличия облачности с типом формируемого высотного профиля объемной активности радона [2]. Как было установлено в [3], конвективная облачность, создавая неоднородные возмущения турбулентного потока тепла с земной поверхности, влияет на динамику атмосферного пограничного слоя, турбулентные масштабы, статистику и скорость диссипации турбулентной кинетической энергии.

В докладе представлены результаты обработки наземных натурных наблюдений объемной активности радона ²²²Rn и торона ²²⁰Rn совместно с турбулентными параметрами приземной атмосферы: дисперсией вертикальных турбулентных пульсаций скорости ветра, скоростью диссипации турбулентной кинетической энергии, вертикальным турбулентным потоком тепла, динамической скоростью в условиях конвективной облачности и при отсутствии облаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 16-17-10209).

- Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В., Макрушин А. П., Шихова Н. М. Объемная активность радона и ионообразование в невозмущенной нижней атмосфере: наземные наблюдения и численное моделирование // Физика Земли. 2017. № 1. С. 155–170.
- Williams A. G., Zahorowski W., Chambers S., Griffiths A., Hacker J. M., Element A., Werczynsky S. The vertical distribution of radon in clear and cloudy daytime terrestrial boundary layers // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 26, № 6. P. 500–520.
- Horn G. L., Ouwersloot H. G., Vilà-Guerau de Arellano J., Sikma M. Cloud shading effects on characteristic boundary-layer length scales // Bounary-Layer Meteorol. 2015. V. 157. P. 237–263.

Сравнительные измерения градиента потенциала приземного электрического поля датчиками «Поле-2», «CS110» и «EFS-2/50»

<u>А. В. Кочин</u>¹, К. Н. Пустовалов², П. М. Нагорский², А. А. Кобзев², А. Е. Тельминов² ¹ НПО «Тайфун», Обнинск

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

В весенний период 2017 г. были проведены сравнительные измерения градиента потенциала ($\nabla \phi$) приземного электрического поля с помощью датчиков электрического поля «Поле-2» (ГГО им. А. И. Воейкова), «CS110» (Campbell Scientific, Inc.) и «EFS-2/50» (ООО «НТЦР») на геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН (г. Томск). В ходе сравнительных измерений датчики «CS110» и «EFS-2/50» располагались на плоской крыше здания ИМКЭС высотой 24 м и устанавливались на заземлённой мачте-треноге на высоте 2 м над поверхностью деревянного настила, закреплённого на крыше (рис. 1). Датчик «Поле-2» располагался на поверхности земли и устанавливался на металлическую сетку с размерами 2×2 метра и высотой 1 м. Расгоризонтали стояние по межлу точками vстановки латчиков «CS110» / «EFS-2/50» и «Поле-2» составляло 50 м.



Рис. 1. Схема размещения датчиков.

При сопоставлении синхронно измеренных значений $\nabla \phi$ с помощью датчиков «EFS-2/50» (каналы Ain0 и Ain1), «Поле-2» и «CS110» было отмечено, что коэффициент корреляции (рис. 2) между значениями ϕ , измеренными «EFS-2/50» (Ain0) и «Поле-2» составляет 0,8673, «EFS-2/50» (Ain1) и «Поле-2» — 0,8675, «EFS-2/50» (Ain0) и «CS110» — 0,9897, «EFS-2/50» (Ain1) и «CS110» — 0,9899. Более высокие коэффициенты корреляции между значениями ϕ , измеренными датчиками «EFS-2/50» и «CS110», можно объяснить близостью расположения, а также сходством конструкции этих датчиков и одинаковой ориентацией их измерительных пластин.



Рис. 2. Суточный временной ход показаний трех датчиков. Синяя кривая — «CS110», красная кривая — «EFS-2/50», — зеленая кривая «Поле-2». Для сопоставления с «Поле-2» данные «CS110» и «EFS-2/50» были усреднены по 1 мин. Показания «CS110» и «EFS-2/50» практически совпадают.

Измерения пришлись на дни с облачностью и осадкам, которые характеризовались значительной изменчивостью градиента потенциала. Это затрудняло нахождения значения коэффициента редукции между датчиками. Тем не менее, следует отметить хорошую повторяемость данных различных датчиков, несмотря на разные способы их установки, включая ориентацию измерительных пластин.
Вариации градиента потенциала электрического поля при прохождении облачности основных форм

<u>К. Н. Пустовалов</u>, П. М. Нагорский

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск

Представлены результаты анализа изменчивости градиента потенциала ($\nabla \phi$) электрического поля приземного слоя атмосферы на основе среднеминутных данных при безоблачной погоде и при прохождении облаков основных форм отдельно для тёплого и холодного сезонов года.

Локальное электрическое поле в атмосфере весьма чувствительно к метеорологическим условиям и существенно изменяется под влиянием облачности и различных атмосферных явлений [1–4]. Данная особенность может быть использована для диагностирования и уточнения метеорологических условий на основе данных об электрических характеристиках приземного слоя атмосферы. В настоящее время проведены исследования влияния различных природных факторов на $\nabla \phi$ [2–4], однако полученные результаты дают лишь общие представления, поскольку получены на основе данных с низким временным разрешением или при отсутствии детальной метеорологической информации.

В исследовании были использованы данные, полученные в 2006– 2017 гг. на геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН, а также данные об облачности и атмосферных явлениях в стандартные метеорологические сроки на метеостанции «Томск», расположенной ~ 6 км от ИМКЭС.

Для оценки изменчивости значений $\nabla \varphi$ при безоблачной погоде, а также при прохождении облаков *Ci*, *Cc*, *Cs*, *Ac*, *As*, *Cu*, *Sc*, *St* и *Ns* из данных метеостанции за исследуемый период были отобраны метеорологические сроки отдельно за тёплое (май–сентябрь) и холодное полугодие (ноябрь–март), характеризующиеся: а) отсутствием облачности (ясно) или наличием одной из форм облаков; б) наличием моросящих осадков в случае *St* и обложных в случае *Ns*; в) отсутствием *Cb*, ливневых осадков и гроз; г) отсутствием тумана, дымки, мглы. Из данных $\nabla \varphi$ в отобранные сроки выделялись участки $\nabla \varphi$ в интервалах ±30 минут относительно срока.

Чтобы исключить влияние на статистические оценки изменчивости $\nabla \varphi$ во время случаев каждой из категорий не учтённого прохождения *Cb* (например, «затопленной» конвекции), отобранные случае проходили фильтрацию, в ходе которой выбраковывались случаи с СКО > 1000 В/м.

Для оценки изменчивости значений $\nabla \varphi$ при облаках *Cb* из данных метеостанции «Томск» были отобраны метеорологические сроки, характеризующиеся: а) наличием *Cb*; б) наличием ливневых осадков; в) отсутствием облаков *Ns*, *As* и *St*; г) отсутствием обложных, моросящих, жидких и смешанных ливневых осадков; д) отсутствием дымки, тумана и мглы. В отобранные сроки с *Cb* определялись участки с интенсивными вариациями $\nabla \varphi$, связанные с *Cb*, при условии, что интервал между событиями ≥ 30 минут.

Оценены статистические характеристики значений градиента потенциала электрического поля во время отобранных случаев (рис. 1).



Рис. 1. Средние значения (кружки) и размах (±σ) значений ∇φ (прямоугольники) в безоблачных условиях и при прохождении основных форм облачности в холодный (а) и теплый (б) сезоны года, полученные на основе среднеминутных значений ∇φ.

В результате исследований было установлено, что СКО значений $\nabla \varphi$ при прохождении *Cb* превышает аналогичные значения при других формах облачности в холодный сезон более чем в 4 раза, а теплый — более чем в 5 раз. Исследование поддержано грантом Президента РФ (МК-179.2017.5).

Литература

- Красногорская Н. В. Электричество нижних слоёв атмосферы и методы его измерения – Л.: Гидрометиздат, 1972. – 323 с.
- 2. Филиппов А. Х. Грозы Восточной Сибири Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 76 с.
- Bennett A. J., Harrison R. G. Atmospheric electricity in different weather conditions // Weather. 2007. V. 62. P. 277–283.
- Попов И. Б. Статистические оценки влияния различных метеорологических явлений на градиент электрического потенциала атмосферы // Труды ГГО. 2008. вып. 558. С. 152–161.

Указатель авторов

A. X.	Аджиев	78, 80	M. A.	Казначеева	68
A. A.	Аджиева	51	O. B.	Капустина	53, 86, 87
С. В.	Анисимов	14, 16, 36, 96,	A. B.	Каранин	48, 104
		98, 106	С. Ю.	Каранина	48, 104
A. A.	Асташкин	44	A. B.	Карелин	44, 46
К. В.	Афиногенов	14, 96, 98	C. B.	Келюев	105
B. O.	Баринова	68	В. П.	Ким	46
М. Н.	Бейтуганов	24	A. C.	Кириллов	70
М.Ю.	Беликова	48	B. B.	Клименко	94
С. В.	Беляев	74	П. А.	Климов	61, 68, 72
A. B.	Богомолов	54, 61	С. И.	Климов	61, 74
B. B.	Богомолов	54, 61, 68	A. A.	Кобзев	107
A. C.	Болдырев	78	В. И.	Козлов	63
B. A.	Болдырева	34	A. C.	Козьмина	14, 106
M. A.	Васильева	91	A. A.	Колмаков	105
H. E.	Веремей	20	Л. И.	Коломеец	84
Б. Г.	Гаврилов	55, 59	Д. А.	Константинова	89
C. B.	Галиченко	14, 16, 36, 106	B. E.	Корепанов	74
Г. К.	Гарипов	61, 68	H. A.	Кочеева	48, 105
А. Ю.	Гвоздарев	105	A. B.	Кочин	49, 107
В. П.	Горбатенко	82, 89	A. B.	Крашенинников	22, 37
Л. В.	Грунская	99, 101	Д. А.	Критский	26
B. A.	Грушин	74	Д. Д.	Кулиев	78, 80
A. B.	Гурьев	14, 96, 98	А. И.	Купинская	32
Д. В.	Давиденко	93	А. Д.	Легенька	46
C. O.	Дементьева	40	B. E.	Лукьянов	99, 101
В. И.	Демин	103	Н. Г.	Мазур	65
B. B.	Денисенко	6	E. A.	Мареев	94
Э. М.	Дмитриев	18, 96	A. A.	Марусенков	74
Ю. А.	Довгалюк	20	C. A.	Маслов	32
B. B.	Дорожков	42	И. Х.	Машуков	51
E. B.	Егоров	30, 32, 34	X. X.	Машуков	24
В. Г.	Ераньков	91	Ю. М.	. Михайлов	53, 86, 87
B. M.	Ермак	55, 59	Г. А.	Михайлова	53, 86, 87
Т.В.	Ершова	89	B. H.	Морозов	7
Н. В.	Жохова	91	И. Н.	Мягкова	54, 61
А. Н.	Золотов	99	П. М.	Нагорский	107, 109
B. B.	Исакевич	101	C. A.	Нестеров	6
Д. В.	Исакевич	101	O. E.	Нечепуренко	82, 89
С. Т.	Казакова	78, 80	Н. П.	Новикова	44

E. A.	Овчиннико	ва 30	
Л. А.	Осадчая	74	
A. A.	Палей	91	
М. И.	Панасюк	54, 61, 68	
И. Н.	Панчишкин	a 26, 28, 30,	
		32, 34	
А. И.	Петров	26, 28, 30, 32, 34	
В. Л.	Петров	54, 61	
Н. А.	Петров	32	
Γ.Γ.	Петрова	26, 28, 30, 32, 34	
A. H.	Пивкин	24	
B. A.	Пилипенко	65	
A. C.	Позаненко	61	
Ю. В.	Поклад	55, 59	
A. A.	Потапов	57	
A. A.	Прохорчук	14, 36	
C. A.	Пулинец	93	
К. Н.	Пустовалов	107, 109	
Т. И.	Пушкарёва	104	
Н. П.	Романов	91	
B. A.	Рыбаков	22	
Ю. С.	Рыбнов	37	
И. А.	Ряховский	55, 59	
С. И.	Свертилов	54, 61, 68, 74	
П.	Сегеди	74	
A. A.	Синькевич	20	

С. Э.	Смирнов	86, 87
С. П.	Смышляев	84
С. П.	Соловьев	22, 37
A. E.	Тельминов	107
M. X.	Тлеужева	24
A. A.	Торопов	63
X. A.	Тумгоева	78
E. O.	Учайкин	105
Е. Н.	Федоров	65
Ч.	Ференц	74
B. B.	Хегай	46
Б. А.	Хренов	68
Л. Ф.	Черногор	9, 11
Ο. Γ.	Чхетиани	34
A. B.	Шаповалов	66
B. A.	Шаповалов	51,66
M. B.	Шаталина	94
A. B.	Шевченко	28
М. Л.	Шматов	75
B. A.	Шувалов	44
Н. В.	Юрченко	80
A. A.	Яковлев	44
И. В.	Яшин	61
M. Y.	Boudjada	6
H.	Lammer	6

Содержание

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ	_ 3
Предисловие	_4
ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ — ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	
<u>V. V. Denisenko</u> , S. A. Nesterov, M. Y. Boudjada, H. Lammer A mathematical model of quasistationary electric field penetration from ground to the ionosphere with inclined magnetic field	6
В. Н. Морозов Вариации потенциала ионосферы, обусловленные гармоническими вариациями тока грозового генератора	_7
<i>Л. Ф. Черногор</i> Электрические, магнитные, электромагнитные и плазменные эффекты крупных метеороидов	_9 11
Электричество нижней атмосферы в глобальной электрической цепи	
<u>С. В. Анисимов</u> , С. В. Галиченко, К. В. Афиногенов, А. В. Гурьев, А. С. Козьмина, А. А. Прохорчук Формирование электрического состояния атмосферного	
пограничного слоя средних широт над сушей <u>С. В. Галиченко</u> , С. В. Анисимов Глобальные и региональные составляющие	14
электричества невозмущенной нижней атмосферы средних широт Э <i>М. Дмитриев</i> Влияние переноса радона в нижней атмосфере	16
на его поток с земной поверхности A <i>Сили и сали</i> . В тидине заворода и ого загрязиетия (A <i>Поводина: H F В водов A А Сили и сали</i> . В тидине заворода и ого загрязиетия	18
<u>10. А. довешнок</u> , П. Е. Беремен, А. А.Синокевич Блияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эволюцию электрической структуры конвективного облака по данным численного молелирования	20
<u>А. В. Крашенинников</u> , В. А. Рыбаков, С. П. Соловьев	20
в условиях Москвы и Московской области	22
Некоторые результаты инициирования искусственных молниевых разрядов	24
<u>И. Панчинкина</u> , Г. Г. Петрова, А. И. Петров, Д. А. Критский Оценка влияния	24
<u>И. Н. Панчишкина</u> , Г. Г. Петрова, А. И. Петров, А. В. Шевченко Результаты экспедиционных исследований выполнимости закона Ома	20
в приземной атмосфере <u>А. И. Петров</u> , Г. Г. Петрова, И. Н. Панчишкина, Е. В. Егоров, Е. А. Овчинникова	28
Процессы разделения объёмных зарядов вблизи земной поверхности: результаты наблюдений	30
<u>Г. Г. Петрова</u> , И. Н. Панчишкина, А. И. Петров, Е. В. Егоров, С. А. Маслов, Н. А. Петров, А. И. Кулинская Особенности вертикального профиля	
электропроводности приземной атмосферы при различном эманировании почвы	32

<u>Г. Г. Петрова</u> , А. И. Петров, И. Н. Панчишкина, О. Г. Чхетиани, Е. В. Егоров, В. 4. Болдырева Исспедования вариаций градиента потенциала	
вблизи земной поверхности при различной стратификации атмосферы	
с учётом эманирования почвы	34
А. А. Прохорчук. С. В. Анисимов. С. В. Галиченко	
Реализации граничного условия земля-атмосфера в стохастических молелях	
турбулентного переноса ионизирующих примесей и аэроионов	36
Ю. С. Рыбнов, С. П. Соловьев, А. В. Крашенинников Полярные сияния как	-
источник инфразвуковых и электрических полей в приземном слое атмосферы	37
ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ — ГРОЗОВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	э,
МОЛНИЕВЫЕ РАЗРЯДЫ, ИОНОСФЕРНЫЕ И МАГНИТОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ	
С. О. Дементьева Влияние турбулентности	
на электрические процессы в грозовых облаках	40
В. В. Дорожков О имитации ЭМИ молниевых разрядов	42
А. А. Асташкин, <u>А. В. Карелин</u> , Н. П. Новикова, В. А. Шувалов, А. А. Яковлев	
Концепция развития единой гидрометеорологической	
и геофизической орбитальной группировки РФ	44
<u>А. В. Карелин</u> , В. В. Хегай, В. П. Ким, А. Д. Легенька	
Электростатическое поле в ионосфере, связанное с ураганом «Эмили»	46
<u>Н. А. Кочеева</u> , С. Ю. Каранина, А. В. Каранин, М. Ю. Беликова	
Данные WWLLN для изучения грозовой активности	48
<i>А. В. Кочин</i> Индукционный механизм электризации кучево-дождевых облаков	49
<u>И. Х. Машуков</u> , А. А. Аожиева, В. А. Шаповалов	
Исследование характеристик напряженности электрического поля	~ 1
в приземном слое по измерениям сети датчиков EFM550	51
<u>I. А. Михаилова</u> , Ю. М. Михаилов, О. В. Капустина	
тонкая структура спектров мощности волн цунами	50
как источник ВІ В в приземной атмосфере	. 53
<u>В. Л. Петров</u> , С. И. Свертилов, М. И. Панасюк, В. В. Богомолов, А. В. Богомолов,	
И. Н. Мягкова Возможная роль в глооальной электрической цепи энергичных	51
электронов в низкоширотных областях околоземного пространства	. 54
<u>Ю. Б. Поклао</u> , Б. Г. Гаврилов, Б. М. Ермак, И. А. Гяховский	
Блияние телиотеофизических возмущении на параметры	55
шумановского резонатора по данным измерении в ГФО «михнево»	. 33
А. А. Поталов исследование пространственно-временной эволюции	
и показателей херста	57
и лакунарности гигантских молнисвых разрядов	57
<u>И. А. ГЯЛОВСКИИ</u> , В. Г. ГИВРИЛОВ, В. М. Ермик, Ю. В. ПОКЛИО Исностратиче аффекти социсиново зависница 20 марта 2015 г.	50
Гоносферные эффекты солнечного загмения 20 марта 2015 Г.	. 59
<u>С. И. Свертилов</u> , М. И. Пинискок, Б. Б. Богомолов, А. Б. Богомолов, $1. K. 1 аринов, П. К. 1 аринов, \Pi А Климов С И Климов И Н Мазхова В П. Патров А С Позанацию$	
$M = M_{100}$ Веньшики гамма-изпушения на рысских широтах и рыссивания.	
и. <i>Б. ниши</i> Бонышки намма-излучения на высоких широтах и высышания магнитосферинах электронов по ланиным косминеских экспериментов	
иа питосформых электропов по дапным космитоских экспериментов из спутниках «Вернор» и «Помоносор»	61
А А Торопов В И Коздов Статистические характеристики гроз в Якутеке	01
по наблюдениям атмосферного электрического поля	63
	- 05

Е. Н. Федоров, Н. Г. Мазур, В. А. Пилипенко Электромагнитное поле	
молниевого разряда на Земле и в ионосфере в УНЧ-КНЧ диапазонах	65
А. В. Шаповалов, В. А. Шаповалов	-
Исследование взаимосвязи микрофизических и электрических процессов	
в конвективных облаках на основе трехмерной численной модели	66
	-
Электричество средней и верхней атмосферы,	
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ	
<u>М. А. Казначеева</u> , П. А. Климов, Г. К. Гарипов, Б. А. Хренов, В. О. Баринова,	
В. В. Богомолов, М. И. Панасюк, С. И. Свертилов Транзиентное УФ свечение	
грозовых областей по результатам совместного анализа данных	
спутника «Вернов» и наземных сетей регистрации молний	_ 68
А. С. Кириллов Кинетика электронно-возбужденного молекулярного азота	
в средней атмосфере во время спрайтов	_70
П. А. Климов Результаты измерений транзиентного УФ свечения атмосферы	
Земли на спутнике «Ломоносов» с высоким временным разрешением	_72
<u>С. И. Климов</u> , В. А. Грушин, Л. А. Осадчая, Ч. Ференц, П. Сегеди, С. И. Свертилов	3,
В. Е. Корепанов, С. В. Беляев, А. А. Марусенков Специфика исследования	
КНЧ-ОНЧ электромагнитных излучений на солнечно-синхронной орбите.	
Спутник РЭЛЕК/Вернов	_74
М. Л. Шматов Ожидаемые параметры жесткого излучения шаровой молнии	_75
ГЛОБАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕЛЬ, МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТ	
ЭКОПОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЛОБАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ	
А Х Аджиев П П Кулиев С Т Казакова А С Болдырев Х А Тумгоева	
<u>И. Л. Ложиев</u> , Д. Д. Кулиев, С. Т. Кизикови, Л. С. Болойрев, А. П. Тумеееви Исспедование параметров грозовых явлений на Северном Кавказе	78
А Х Аджиев П П Кулиев С Т Казакова Н В Юпиенко	- /0
<u>Влияние орографии на линамику электрических явлений в атмосфере</u>	80
В П Горбатенко О Е Нечепуренко Илентификация пространственной	_ 00
покализации грозы и грала по данным метеорологических спутников	82
Л И Коломеец С. П. Смышляев Молепирование прямых и обратных эффектов	_ 0 _
межлу грозовой активностью, температурой и составом атмосферы	
в региональном масштабе	84
С. Э. Смирнов, Г. А. Михайлова, Ю. М. Михайлов, О. В. Капустина	
Эффекты сильных землетрясений в вариациях электрических	
и метеорологических величин в приземной атмосфере на Камчатке	86
Г. А. Михайлова, О. В. Капустина, Ю. М. Михайлов, С. Э. Смирнов Аномальные	_ 00
вариации температуры атмосферы перед сильными земпетрясениями на Камчатк	е
и их связь с потоками ухолящего от земли инфракрасного излучения	87
О Е. Нечепуренко, В. В. Горбатенко, Л. А. Константинова, Т. В. Ершова	- 07
Пороговые значения индексов неустойчивости атмосферы	
при грозах нал Сибирью	89
М. А. Васильева, В. Г. Ераньков, Н. В. Жохова, А. А. Палей, Н. П. Романов	
Формирование аэрозолей путем генерации коронного разряла	
и характеристики их эволюции	91
С.А.Пулинеи. Д.В.Лавиденко Глобальная электрическая цепь как система	
обеспечивающая взаимодействие атмосферы и ионосферы	93
······································	

<u>М. В. Шаталина</u> , В. В. Клименко, Е. А. Мареев Сезонная изменчивость электрического поля в приземном слое атмосферы	94
Мониторинг глобальной электрической цепи —	
НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И БАЗЫ ДАННЫХ	
С. В. Анисимов, Э. М. Дмитриев, К. В. Афиногенов, А. В. Гурьев	
Обсерваторские аэроэлектрические и аэрофизические наблюдения	
на геофизической обсерватории «Борок»	96
<u>К. В. Афиногенов</u> , С. В. Анисимов, А. В. Гурьев Аппаратное обеспечение	
аэростатных наблюдений высотных аэроэлектрических профилей	98
<u>Л. В. Грунская</u> , А. Н. Золотов, В. Е. Лукьянов Универсальная система	
удаленного сбора данных для мониторинга характеристик природной среды	99
<u>Л. В. Грунская</u> , В. В. Исакевич, Д. В. Исакевич, В. Е. Лукьянов	
Айгеноскопия многолетних временных рядов электрического поля	
пограничного слоя атмосферы Земли на частотах лунных приливов	101
В. И. Демин К определению условий «хорошей погоды»	_ 103
<u>С. Ю. Каранина</u> , А. В. Каранин, Н. А. Кочеева, Т. И. Пушкарёва Изменение	
грозовой активности над Горным Алтаем в период 1955-2011 гг.	104
А. Ю. Гвоздарев, Е. О. Учайкин, А. А. Колмаков, <u>С. В. Келюев</u>	
О наблюдениях спектральных резонансных структур в полосе частот	
ионосферного альфвеновского резонатора на магнитной станции «Байгазан»	_ 105
<u>А. С. Козьмина</u> , С. В. Галиченко, С. В. Анисимов Влияние облачности	
на объемную активность радона и параметры приземной турбулентности	106
<u>А. В. Кочин</u> , К. Н. Пустовалов, П. М. Нагорский, А. А. Кобзев, А. Е. Тельминов	
Сравнительные измерения градиента потенциала приземного	
электрического поля датчиками «Поле-2», «CS110» и «EFS-2/50»	_ 107
<u>К. Н. Пустовалов</u> , П. М. Нагорский Вариации градиента потенциала	
электрического поля при прохождении облачности основных форм	_ 109
Указатель авторов	111