

24 – 28 сентября 2012 г  
Санкт-Петербург

# VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству

*Сборник трудов. Том 2*



## СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМА ГРОЗОРЕГИСТРАЦИИ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ	
Аджиев А.Х., Варлей Ю., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. ....	3
СПОСОБЫ ГРОЗОЗАЩИТЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА	
Аджиев А.Х., Князева З.М. ....	5
ПЕРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ КАПИЛЛЯРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ КАПЕЛЬ ЭЛЕКТРИЗОВАННЫХ ОБЛАКОВ	
Богатов Н.А. ....	7
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ПРОВОДЯЩИХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦАХ	
Богатов Н.А. ....	10
СВЧ ДИАГНОСТИКА СТРИМЕРНОЙ ЗОНЫ И ЧЕХЛА ДЛИННОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА	
Богатов Н.А., Костинский А.Ю., Мареев Е.А., Сысоев В.С. ....	12
РАСЧЕТ ТОКА МОЛНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРНОСТИ	
Думаева Л.В., Гятов Р.А. ....	14
МОРСКИЕ ГРОЗЫ НА МЫСЕ КРИЛЬОН, ЮЖНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ САХАЛИНА	
Жирнова Н.С., Кашлева Л.В. ....	16
О РЕЗУЛЬТАТАХ ВЫПОЛНЕНИЯ В ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РАБОТ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ	
Климин Н.Н., Попов И.Б. ....	18
ПЛАНЕТАРНАЯ ГРОЗОВАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ИСТОЧНИК МАГНИТНОГО ШУМОВОГО ФОНА НА ЧАСТОТАХ 0.1-15 ГЦ	
Котик Д.С., Ермакова Е.Н., Рябов А.В. ....	20
ВЫДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ГЛОБАЛЬНОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЕ	
Круглов А.А., Франк-Каменецкий А.В., Котиков А.Л. ....	22
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СМЕРЧА НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 29-30 ИЮЛЯ 2010 ГОДА	
Мазуров Г.И., Акселевич В.И. ....	24
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОНВЕКТИВНОГО ОБЛАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ САМОЛЕТОВ	
Михайловский Ю.П. ....	26
К ПРОБЛЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОБЛАКОВ РАДИОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	
Михайловский Ю.П., Ефременко А.Н., Жуков В.Ю., Кашлева Л.В., Караваев Д.М., Щукин Г.Г. ....	28
О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЛАКАХ И АЭРОЗОЛЯХ	
Михайловский Ю.П., Кашлева Л.В. ....	30
ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПОЛЯРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ВОЗДУХА НА СТАНЦИИ ВОСТОК (АНТАРКТИДА)	
Михайловский Ю.П., Попов И.Б., Стерхов П.Л. ....	33
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ	
Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.И. ....	35

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦЕНКИ АЭРОЗОЛЬНОГО И РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ	
Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В. ....	37
ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НИЖНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ	
Петрова Г.Г., Петров А.И., Панчишкина И.Н. ....	39
ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ «ПАРАТУНКА» (КАМЧАТКА), ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПРИРОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ	
Фирстов П.П., Чернева Н.В., Шевцов Б.М. ....	41
РОЛЬ МЕЗОУСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ГРОЗ И ГРАДА	
Хайруллин К.Ш. ....	43
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВИСТЯЩИХ АТМОСФЕРИКОВ И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ С ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ	
Чернева Н.В., Агранат И.В. ....	45
АВТОРСКИЙ ИНДЕКС .....	47

## СИСТЕМА ГРОЗОРЕГИСТРАЦИИ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Аджиев А.Х.<sup>1</sup>, Варлей Ю.<sup>2</sup>, Стасенко В.Н.<sup>3</sup>, Тапасханов В.О.<sup>1</sup>

1 – «Высокогорный геофизический институт», Нальчик;

2 – фирма «Vaisala», Хельсинки, Финляндия; 3 – ФГБУ «Планета», Москва.

adessa1@yandex.ru

В работе исследуются особенности развития грозовых процессов и параметров молний на юге европейской части России с использованием грозорегистратора LS 8000, а также региональной сети МРЛ.

LS 8000, производства фирмы Vaisala (Финляндия), предназначен для автоматического обнаружения и регистрации координат грозовых разрядов как в автономном режиме, так и в составе региональной системы из нескольких аналогичных комплексов, объединяемых специальной системой связи, или через Интернет.

Грозорегистратор состоит из четырех пеленгаторов и центрального пункта приема и обработки информации [1, 2]. Пеленгаторы расположены у населенных пунктов: Черкесск (КЧР), Кызбурун (КБР), Ставрополь и Зеленокумск (Ст. Кр.). Данные этих сенсоров посредством спутниковой связи передаются на центральный процессор (СР), расположенный в Нальчике, ВГИ и состоящий из 6 компьютеров, программного обеспечения и оборудования для связи с пеленгаторами. Схема расположения пеленгаторов и СР показана на рис. 1.

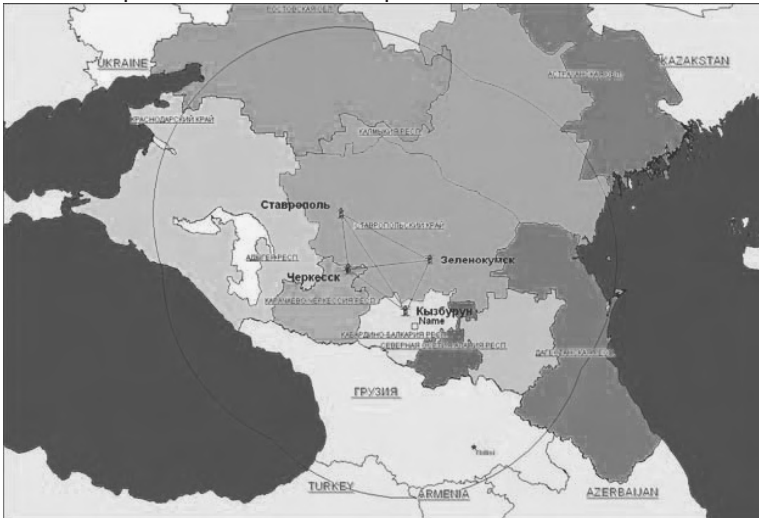


Рис. 1. Схема грозорегистрационной сети LS 8000.

Обозначения:

— границы уверенного приема;  
различными цветами разделены республики Северного Кавказа;

- - местоположение датчиков грозорегистратора.

Каждый пеленгатор имеет два датчика – низкочастотный (LF) и высокочастотный (VHF). LF-датчик регистрирует разряды облако-земля (CG) и внутриоблачные (IC), а VHF-датчик – внутриоблачные. Также в программно-аппаратный комплекс входят антенны GPS, для получения точного времени со спутников, что, в свою очередь, позволяет синхронизировать все измерения, производимые сенсорами, со временем на центральном пункте.

Время измеряется с точностью 100 наносекунд. Каждый датчик определяет азимут, время прихода сигнала и силу сигнала.

СР определяет местоположение каждого разряда, используя сигналы с максимально возможного числа сенсоров. В оптимальном случае используется информация со всех 4-х пеленгаторов, при условии, что эти данные удовлетворяют условиям корректности. Местоположение разряда определяется при получении корректных данных минимум с двух сенсоров.

По данным LF и VHF датчиков СР выдает следующую информацию о разряде:

1. Дата и время с точностью 100 наносекунд
2. Широта, долгота (WGS-84)
3. Сила и полярность сигнала (тока в канале разряда), в кА
4. Количество датчиков, использованных при определении местоположения
5. Классификация разрядов на типы (CG или IC)
6. Классификация разрядов на положительные и отрицательные
7. Позиционная уверенность (chi-квадрат)
8. Время роста сигнала до пикового значения, в мкс
9. Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс

Для отображения данных о молниевых разрядах на карте местности в состав LS8000 входит приложение LTS2005, которое позволяет делать это в режиме реального времени (рис.2).

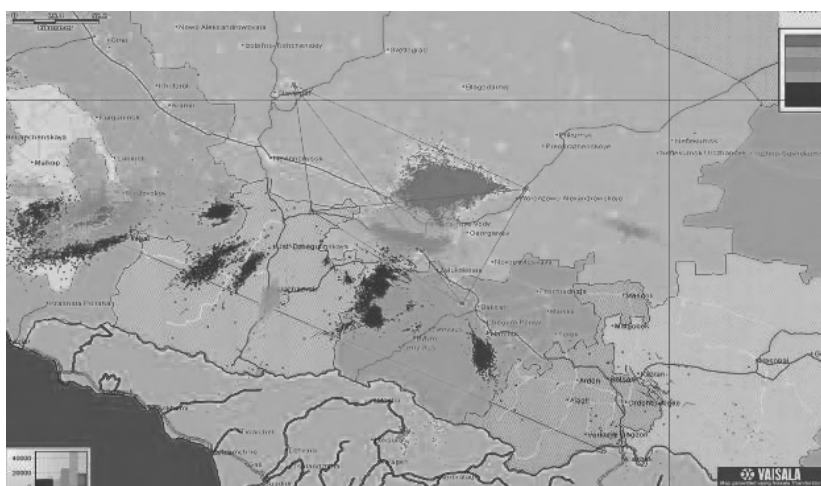


Рис.2 Пример отображения  
грозового процесса на карте местности.

Цвет разрядов обозначает временной (30 минутный) интервал, когда произошел разряд. Для совмещения данных о молниях с данными МРЛ-5 использована программа Data Client.

Она извлекает, по локальной сети из СР информацию о параметрах молниевых разрядов, преобразует их в необходимый вид и записывает на жесткий диск с формированием заранее определенной структуры представления информации. Программа Data Client в оперативном режиме отслеживает все молниевые разряды, разбивает данные по типам (CG или IC), группирует по минутным и часовым интервалам и записывает на жесткий диск компьютера.

Опытная эксплуатация системы в 2010...2012 гг. позволила выявить (предварительные данные) следующие особенности развития грозо-градовых явлений на Северном Кавказе:

а) Наиболее интенсивная генерация электрических зарядов в облаке происходит при формировании в нем градовых частиц. Подтверждением этого является увеличение количества молний различных типов в период индикации града в облаке с помощью метеорадиолокатора МРЛ-5.

б) В зоне роста градовых частиц, которая по имеющимся представлениям пространственно совпадает с отрицательно заряженной областью облака, имеет место интенсивное разделение электрических зарядов и формирование условий для возникновения отрицательных молний CG. В этот период имеет место рост высоты верхней границы облака и его отражаемости до 10 км и 65 dbZ соответственно.

в) Начало формирования града совпадает по времени с максимальным интегральным водосодержанием как облака в целом, так и его переохлажденной части.

Измерение числа грозовых разрядов в период зарождения и выпадения града показывает, что градовая стадия обычно сопровождается наибольшей грозовой активностью кучево-дождевых облаков. Появление градовых частиц в облаке увеличивает грозовую активность в 2-2,5 раза. В тоже время градообразование в конвективном облаке начинается после начала грозы, которая может продолжаться и после прекращения града. Это показывает, что процесс градообразования в облаке занимает значительно меньше времени, чем грозовая деятельность. При этом косвенным подтверждением перехода облака в градоопасную стадию является: рост интенсивности грозы более 5 разрядов в минуту; облако становится градовым, если число разрядов превысит 10 разрядов/мин<sup>1</sup>.

Установлено, что:

- среднее значение тока отрицательной CG молнии составляет 16,8 кА. Для положительных CG молний среднее значение тока составило 22,9 кА;

- с увеличением высоты местности над уровнем моря значение амплитуды тока уменьшается. Среднее значение тока в равнинной и степной зонах территории Северного Кавказа составляет около 23 кА, а в горной части – 14 кА.

Получены распределения токов различной полярности. Средние значения токов молнии в зрелой стадии развития грозового облака составляют 1...100 кА. В начале и завершении грозы грозовая активность определяется, в основном, внутриоблачными молниями.

Проведены работы по объединению радиолокационной и грозорегистрационной информации с учетом орографии местности, над которой развиваются облака для более точного распознавания гроз, града, вида осадков и т.д.

### Литература

1. Аджиев А.Х. и др. Особенности грозозащиты ВЛ в горных условиях: параметры разрядов молнии; влияние структуры грунтов и рельефа местности; схемы грозозащиты // «Проектирование и технология электронных средств», 2004. – С. 50-54.

2. Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Дорина А.Н. Определение параметров молниевых разрядов с использованием грозорегистратора LS 8000 // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Физика атмосферы. – 2010. Спец. выпуск. – С. 10-12.

## СПОСОБЫ ГРОЗОЗАЩИТЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Аджиев А.Х., Князева З.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт»  
zknyaz-kbsu@mail.ru

В данной работе рассматривается один из возможных подходов к получению уравнения для расчета числа дней с грозой на основе инструментальных наблюдений с использованием грозорегистратора LS8000 фирмы Vaisala позволяющего определять следующие параметры разряда:

- дату и время с точностью 100 наносекунд;
- широту, долготу (WGS-84);
- силу и полярность сигнала (тока в канале разряда), в кА;
- количество датчиков, использованных при определении местоположения разряда молнии;
- большую полуось эллипса 50% вероятности;
- малую полуось эллипса 50% вероятности;
- классификацию разрядов на типы облако-земля или внутри-облачный разряд;
- селекцию разрядов на положительные и отрицательные;
- позиционную уверенность (с<sub>hi</sub>-квадрат);
- время роста сигнала до пикового значения, в мкс;
- время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс;
- максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии), в кА/мкс.

На рис. 1 представлен пример регистрации координат молниевых разрядов с использованием грозорегистратора LS8000. Также показаны места расположения датчиков (Кызбурун, Черкесск, Ставрополь, Зеленокумск). Территория сбора грозоразрядной информации системой LS8000 ограничена периметром 2250 км, а ее площадь составляет 400000 км<sup>2</sup>.

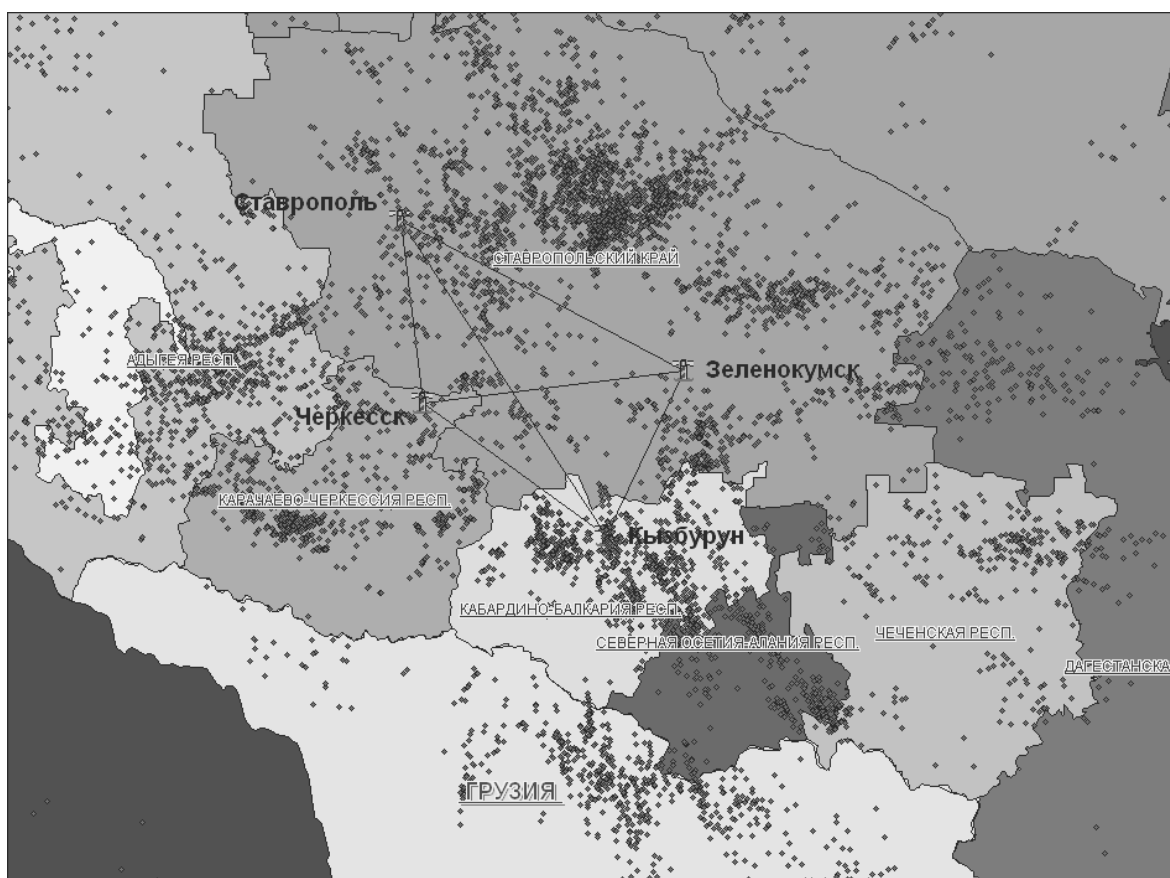


Рис. 1 - Пример регистрации координат молниевых разрядов с использованием LS8000 за май 2011 г.

В большинстве случаев данные о числе дней с различными метеоявлениями представляют собой климатическую характеристику территории [5]. В отношении грозовых явлений на различных территориях обычно ограничиваются сведениями о числе дней с грозой в год или в месяц, приводя их только для пункта наблюдения [4, 6]. Лишь в отдельных работах [2, 3, 7] указывается число дней с грозой для ограниченной площади.

Предлагаемый в работе способ оценки вероятности появления гроз на ограниченной территории основан на взаимосвязи между площадью территории и вероятностью регистрации гроз в течение года. Для такого анализа были использованы инструментальные регистрации числа дней с грозой с использованием грозорегистратора LS8000 и данные метеостанций по территории европейской части России.

За 2009 -2010 гг. с использованием системы LS8000 зарегистрировано 465 дней с грозовыми процессами, в том числе 250 дней в 2009 г. и 215 дней в 2010 г. Анализируемые годы являются годами средней грозовой активности. При этом грозовая активность по территории распределяется неравномерно.

Используя данные о числе дней с грозой по регистрациям грозорегистратора LS 8000 за 2009-2011 гг, нами получено выражение, связывающее площадь территории  $S$  и число дней с грозой в году  $T$ , в виде:

$$\lg S = -37,9 + 39,5 \lg T - 8,9 (\lg T)^2, \quad (1)$$

где  $S$  - площадь территории в км<sup>2</sup>;

$T$  – дни с грозой.

Из выражения (1) можно получить:

$$\lg T = 2,22 - \sqrt{0,67 - 0,112 \lg S}, \quad (2)$$

Выражение (1) проверено было нами на территории Ростовской области, для которой были собраны также значения числа дней с грозой в году по данным всех метеостанций и грозорегистратора LS8000.

Сравнение значений числа дней с грозой в год по инструментальным наблюдениям с данными метеостанций показывает их значительные расхождения. Так, по данным отдельной метеостанции Ростовской области среднее число дней с грозой в год составляет 25-36 дней. По данным LS8000 в те же годы зарегистрировано от 72 до 89 дней с грозой. Такое различие обусловлено двумя факторами:

1) ограниченностью возможностей визуально-слухового метода регистрации гроз на метеостанциях.

2) развитием грозовых процессов на ограниченных территориях Ростовской области.

Данные о среднестатистических значениях числа дней с грозой в году по данным метеостанций и истинные значения числа дней с грозой по всей территории Ростовской области не совпадают. Поскольку мы рассматриваем всю территорию Ростовской области, как единое целое, то необходимо учитывать, что грозовые фронты имеют тенденцию к перемещению, и зачастую одно наблюдаемое грозовое событие фиксируется метеостанцией лишь в зоне покрытия этой метеостанции.

С учетом вышесказанного, для территории Ростовской области мы попытались выявить количество грозовых дней по наблюдениям метеостанций следующим образом. Выбирались грозовые дни в каждом месяце, если хотя бы одной из рассматриваемых метеостанций (метеостанции области) была зафиксирована гроза. В итоге, по информации, полученной, за период с 01.01.2008 по 30.09.2011 гг. было зафиксировано 338 грозовых дней. В 2008 году было зафиксировано 89 грозовых дней, в 2009 – 79, в 2010 – 86, в 2011 – 84. Сводная информация о количестве грозовых дней приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная информация о количестве грозовых дней по Ростовской области.

Месяц	Количество дней с грозой			
	2008	2009	2010	2011
Январь	0	0	1	0
Февраль	0	0	0	0
Март	3	1	0	0
Апрель	9	0	4	2
Май	20	14	26	15
Июнь	18	15	14	22
Июль	17	19	19	18
Август	12	16	9	13
Сентябрь	8	12	10	14
Октябрь	1	2	1	0
Ноябрь	0	0	2	0
Декабрь	1	0	0	0
ВСЕГО	89	79	86	84

Сравнительный анализ показывает, что экстремум средних значений параметров грозовой активности в целом по Ростовской области за рассматриваемый период приходится на май – июль месяцы.

Площадь Ростовской области составляет 100 800 квадратных километров. Подставив это значение в выражение (1), получим число дней с грозой в году на данной территории равное 80, близкое к значению, полученному с использованием грозорегистратора LS8000.

#### Литература

1. Дивинская Б.И. К вопросу о методике определения частоты гроз в пункте и на ограниченных площадях// Тр. ГГО. 1964. Вып. 159. - 79-84 с.
2. Колоколов В. П. Некоторые особенности разрядной деятельности гроз в средних широтах// Тр. ГГО. – 1965. Вып. 177. - 13-22 с.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМОГА-73). – Изд.: Гидрометеоздат, 1973. - 137 с.
4. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях РФ/ Под редакцией К.Ш. Хайруллина. СПб: Гидрометеоздат, 1997 – 588 с.
5. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации. СПб: Гидрометеоздат, 1997. - 588 с.
6. Чуваев А.П., Шварц В.Т. Влияние физико-географических условий на формирование гроз в районах Чувашского плато и мордовской возвышенности// Тр. ГГО. 1977. Вып. 389. - 123-132 с.

## ПЕРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, ГЕНЕРИРУЕМОЕ КАПИЛЛЯРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ КАПЕЛЬ ЭЛЕКТРИЗОВАННЫХ ОБЛАКОВ

Богатов Н.А.

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия;*

*Российский новый университет, Москва, Россия*

*bogatov@appl.sci-nnov.ru*

Капиллярные колебания проводящей капли, заряженной или помещенной во внешнее электрическое поле, вызывают изменение во времени распределения заряда на меняющейся поверхности капли, что, в свою очередь, приводит к генерации электромагнитного излучения и



переменного квазистатического электрического поля. Этот эффект, в принципе, может давать вклад в генерацию переменного электрического поля (как волнового, так и квазистатического) электризованными конвективными (грозовыми) облаками.

Рассмотрим колебания капли идеальной (невязкой), несжимаемой и идеально проводящей жидкости, обладающей зарядом  $Q$  и помещенной во внешнее поле  $E_\infty$ . Амплитуду колебаний предположим малой по сравнению с длиной волны капиллярных волн (для колебаний низших мод это условие эквивалентно условию малости амплитуды колебаний по сравнению с радиусом капли), а заряд капли и внешнее электрическое поле достаточно малыми для того, чтобы несущественно влиять на колебания капли. Тогда колебания капли можно представить в виде суммы колебаний на собственных частотах  $\omega_l$  [1]:

$$\omega_l^2 = \frac{\alpha R_0^{-3}}{\rho} l(l-1)(l+2) \quad l \geq 2 \quad (1)$$

где  $R_0$  – радиус невозмущенной капли,  $\alpha$  – коэффициент поверхностного натяжения,  $\rho$  – плотность жидкости,  $l$  – номер моды. Электрическое поле представим в виде суммы поля  $E_0$  вокруг невозмущенной заряженной сферы и полей  $E_l$ , связанных с модами  $l$  колебаний капли:

$$\vec{E}(r, \theta, t) = \vec{E}_0 + \sum_l \vec{E}_l(r, \theta) e^{i\omega_l t} \quad E_0 = -\nabla\varphi_0 \quad \varphi_0 = \frac{Q}{r} - E_\infty \left(1 - \frac{R_0^3}{r^3}\right) r \cos\theta \quad (2)$$

Общее решение уравнений максвелла для электрического поля можно представить в виде разложения по сферическим функциям:

$$\vec{E}_l(r, \theta) = \frac{1}{r} \sum_n C_n \left[ \vec{i}_r h_n^{(2)}(k_l r) P_n(\cos\theta) + \vec{i}_\theta \frac{1}{n(n+1)} \frac{dP_n(\cos\theta)}{d\theta} \frac{d(rh_n^{(2)}(k_l r))}{dr} \right] \quad (3)$$

где  $P_n(\cos\theta)$  – полиномы Лежандра,  $h_n^{(2)}(k_l r)$  – сферические функции Бесселя четвертого рода,  $k_l = \omega_l/c$ ,  $c$  – скорость света,  $C_n$  – произвольные константы. Коэффициенты  $C_n$  найдем из условия равенства нулю тангенциальной компоненты поля на поверхности капли. Отличными от нуля будут только три коэффициента с  $n = (l-1)$ ,  $l$ ,  $(l+1)$ . С учетом малости параметра  $k_l R_0$ , имеющего порядок отношения скорости капиллярных волн к скорости света, выражения для коэффициентов приводятся к виду:

$$C_{l-1} \approx i \frac{3(l-1)^2}{2(l+1)} \frac{l!}{(2l-1)!} (2k_l R_0)^l E_\infty \xi_l \quad C_l \approx i \frac{(l+1)!}{2(2l)!} (2k_l R_0)^{l+1} \frac{Q}{R_0^2} \xi_l \quad C_{l+1} \approx i \frac{3(l+2)^2}{2l} \frac{(l+2)!}{(2l+3)!} (2k_l R_0)^{l+2} E_\infty \xi_l \quad (4)$$

То есть в капле, у которой возбуждены капиллярные колебания  $l$ -й моды, заряд приводит к появлению зарядов и токов, соответствующих мультиполю порядка  $l$ , а внешнее электрическое поле – к появлению зарядов и токов, соответствующих двум мультиполям:  $(l-1)$ -го и  $(l+1)$ -го порядка. Ввиду крайней малости параметра  $2k_l R_0$  из (4) следует, что амплитуда переменного электрического поля, генерируемого капиллярными колебаниями, быстро уменьшается с ростом номера моды  $l$ . Поэтому можно утверждать, что при широкополосном возбуждении колебаний капли (возбуждении широкого спектра мод) переменные поля – как волновые, так и квазистатические, – генерируемые колебаниями капли на основной моде ( $l = 2$ ), будут преобладать над полями, возбуждаемыми колебаниями капли на более высоких модах, и всегда  $C_3 \ll C_1$ . Полную мощность излучения  $W_2$  капли, колеблющейся на основной моде, найдем, проинтегрировав поток электромагнитной энергии  $S_2 = c |E_2|^2 / 8\pi$  на бесконечности:

$$W_2 \approx \frac{c}{27} \xi_2^2 E_\infty^2 (k_2 R_0)^4 \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{5} (k_2 R_0)^2 \frac{Q^2}{R_0^4 E_\infty^2} \right\} \quad (5)$$

Излучение, обусловленное зарядом капли (второй член в (5)), может быть сравнимо с излучением поляризационных токов только при очень маленькой величине внешнего поля  $E_\infty \leq k_l Q / \sqrt{5} R_0 = E_Q$ .

Подставляя сюда максимальный по Рэлею заряд на капле  $Q = Q_m = 4\sqrt{\pi\alpha R_0^3}$  (в гауссовой системе единиц) и

собственные частоты колебаний капли (1), получим:  $E_Q = \frac{8\alpha}{3cR_0} \sqrt{\frac{2\pi}{\rho}}$ . Для капель радиусом  $(1 - 0.1)$  мм эта

величина составляет  $E_Q = 5 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-2}$  В/м. Атмосферное поле почти всегда много больше этой величины, поэтому влиянием заряда на излучение колеблющихся капель можно пренебречь. Подставляя в (5)  $k_2 = \omega_2/c$  из (1) получим:

$$W \approx \left(\frac{4}{3c}\right)^3 \left(\frac{\alpha \xi_2 E_\infty}{\rho R_0}\right)^2 \quad (6)$$

Из (6) видно, что при заданной относительной амплитуде колебаний  $\xi_2/R_0$  мощность излучения от размера капель не зависит. Плотность потока в направлении максимума диаграммы направленности излучения  $\theta = \pi/2$  равна:  $S_{2\max} = \frac{c}{8\pi} |E_{2\max}|^2 = \frac{3}{2} \frac{W_2}{4\pi r^2}$ . Для воды  $\alpha \approx 73$  дин/см,  $\rho \approx 1$  г/см<sup>3</sup>. Тогда

$$W(Bm) \approx 5 \cdot 10^{-34} \left( \frac{\xi_2}{R_0} \right)^2 [E_\infty (\kappa B / cM)]^2 \quad S_{\max} (Bm / M^2) \approx 6 \cdot 10^{-41} \left[ \frac{E_\infty (\kappa B / cM) \xi_2}{r(\kappa M) R_0} \right]^2 = S_1 \quad (7)$$

Формула (7) задает величину плотности потока  $S_1$  электромагнитного излучения одной капли в направлении, перпендикулярном направлению поля  $E_\infty$ , на расстоянии  $r$ . Частота излучения равна частоте основной моды колебаний капли. Спектр излучения облака колеблющихся в электрическом поле капель будет определяться распределением капель по размерам  $n(R_0)$ :

$$S_f = S_1 \cdot n(R_0(\omega)) \frac{dR_0(\omega)}{d\omega} \cdot 2\pi \quad \omega = 2\pi f, \quad (8)$$

где  $R_0(\omega) = (8a/\rho\omega^2)^{1/3}$  – зависимость радиуса капли от круговой частоты основной моды колебаний ( $l = 2$ ) из формулы (1). Спектр размеров облачных капель в диапазоне  $R_0 \subset (1 \div 100)$  мкм описывается с помощью гамма распределения [2]:

$$n(R_0) = \frac{N_0}{\Gamma(\alpha_r + 1) \beta^{\alpha_r + 1}} R_0^{\alpha_r} \exp\left(-\frac{R_0}{\beta}\right) \quad (9)$$

где  $N_0$  – концентрация капель,  $\alpha_r$  и  $\beta$  – параметры распределения. Типичный разброс значений параметров  $N_0 = 100 - 200$  см<sup>-3</sup>,  $\alpha_r = 2 \pm 1$ ,  $\beta = 0.3 - 3$  мкм. Выберем для оценки сверху величины спектральной плотности  $S_f$  значения параметров  $N_0 = 200$  см<sup>-3</sup>,  $\alpha_r = 3$ ,  $\beta = 3$  мкм. Относительный спектр излучения (нормированный на плотность потока излучения одной капли  $S_1$ ) для такого распределения приведен на рисунке. Далее для оценки положим  $\xi_2/R_0 \sim 0.3$  и возьмем характерную для развитого грозового облака величину  $E \sim 1$  кВ/см. Тогда максимальная спектральная плотность потока излучения из облака объемом  $10^3$  км<sup>3</sup> на расстоянии 10 км составит:

$$S_f \approx S_1 \cdot 10^{-3} \approx 10^{-25} \text{ Вт/см}^2\text{кГц},$$

что ниже порога чувствительности приемной аппаратуры ( $10^{-23} \div 10^{-24}$ ) Вт/см<sup>2</sup>кГц и на несколько порядков величины меньше интенсивности излучения конвективных облаков в этом диапазоне частот [3].

Оценка максимальной спектральной интенсивности переменного квазистатического

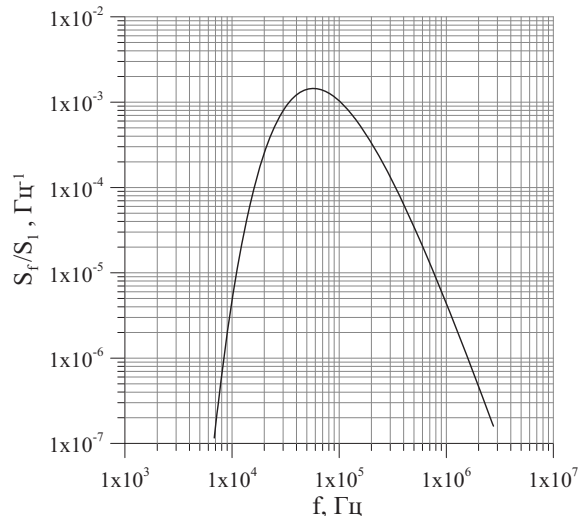
электрического поля, генерируемого колеблющимися каплями облака, которую можно получить из формул (3,4) дает величину  $10^{-5}$  мкВ/м·Гц<sup>1/2</sup>, что опять же меньше порога чувствительности измерительных приборов и намного меньше величины переменного поля, генерируемого конвективными облаками в герцовом и килогерцовом диапазонах частот [3].

Таким образом, переменное электромагнитное поле, вызываемое случайными (несинхронизованными) колебаниями капель (в том числе заряженных) в электризованных облаках, не дает заметного вклада в волновое и квазистатическое электрические поля облаков.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», и при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

### Литература

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц, «Гидродинамика», М.: «Наука», 1986.
2. Справочник «Облака и облачная атмосфера» под ред. И. П. Мазина и А. Х. Хргиана, Л.: «Гидрометеиздат», 1989.
3. Л.Г. Качурин, М.И. Кармов, Х.Х. Медалиев, «Основные характеристики радиоизлучения конвективных облаков», Физика атмосферы и океана, т. 10, №11, с. 1163, (1974).



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА НА ПРОВОДЯЩИХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦАХ

Богатов Н.А.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия;

Российский новый университет, Москва, Россия

bogatov@appl.sci-nnov.ru

Коронный разряд на аэрозольных частицах играет важную роль в физике электризованных аэрозольных сред, в частности, грозовых облаков. Зажигание коронного разряда на водяных каплях в воздухе изучалось в серии работ [1-10]. Было показано, что при давлении, близком к нормальному атмосферному, зажиганию разряда предшествует электрогидродинамическая неустойчивость проводящей капли в электрическом поле, приводящая к вытягиванию в области максимального электрического поля на капле конуса (конус Тэйлора), с вершины которого выбрасывается струя воды, разбивающаяся далее на сильно заряженные капли. Порог зажигания коронного разряда уменьшается с уменьшением плотности газа, в то время как порог электрогидродинамической неустойчивости от плотности газа не зависит. Поэтому при достаточно низкой плотности воздуха корона на каплях зажигается раньше, чем капля становится неустойчивой, она ограничивает поле на поверхности капли и тем самым предотвращает развитие неустойчивости. Коронирование аэрозольных частиц несферической формы практически не изучалось, хотя ледяные частицы, покрытые пленкой воды, обладают достаточно высокой проводимостью в широком диапазоне отрицательных температур для поддержания коронного разряда.

В настоящем докладе представлены результаты экспериментального исследования биполярного разряда на изолированных проводящих частицах, имеющих разную форму и размеры. Измерена зависимость порога зажигания разряда от размера частиц для трех наборов металлических частиц, имеющих одинаковую форму, но разные размеры, - сфер и двух наборов круглых цилиндров с соотношением продольного размера к диаметру, равным 30. В одном из наборов цилиндры имели плоскими торцы, в другом - концы цилиндров были заточены на конус с углом  $45^\circ$ . Частицы приклеивались к тонким изолирующим спицам и помещались между плоскими электродами диаметром 200 мм. Расстояние между электродами могло изменяться в диапазоне 0 – 120 мм. Эксперименты проводились в атмосферном воздухе.

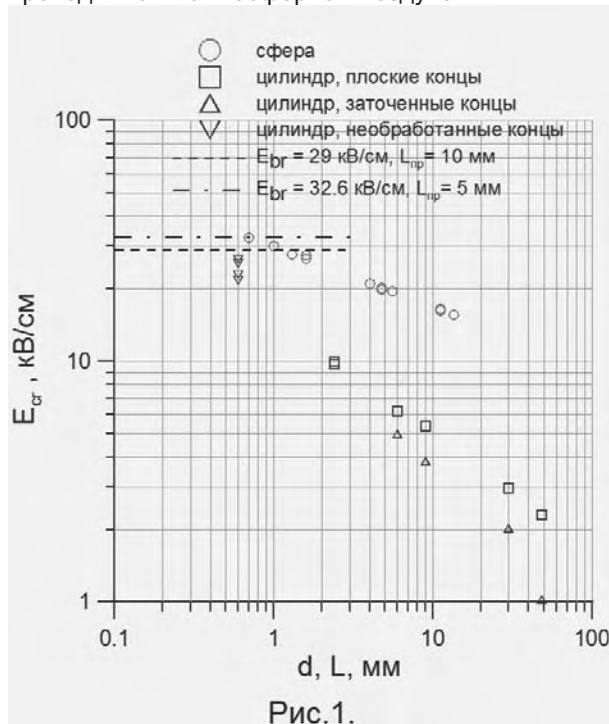


Рис. 1.

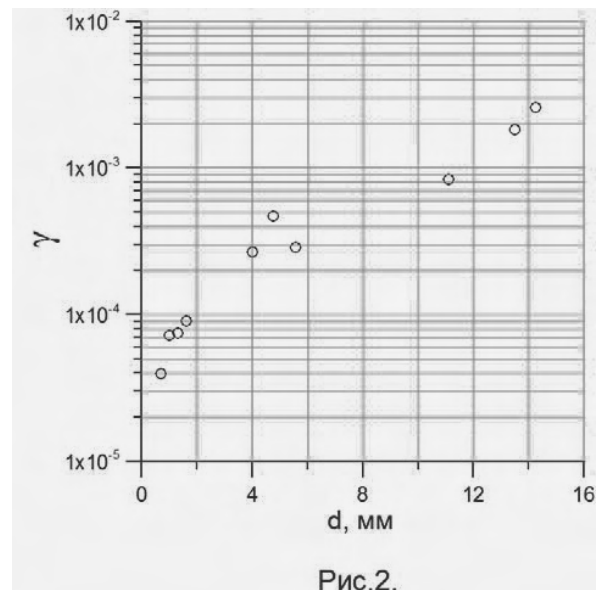


Рис. 2.

При превышении электрическим полем некоторого критического значения  $E_{cr}$  на частицах зажигался разряд. В случае цилиндров это был коронный разряд, а в случае сфер – пробой

газоразрядного промежутка. Зависимость измеренной критической величины напряженности электрического поля от диаметра шарика  $d$  и длины цилиндра  $L$  приведена на рис.1. Критическое поле для частиц любой формы растет с уменьшением их размера и при некотором критическом размере достигает пробойной величины для пустого газоразрядного промежутка. Частицы размером меньше критического не инициируют разряд, а в сверхпробойных полях разряд возникает в разных местах газоразрядного промежутка, но никогда искровой канал не проходит через частицу. Различие порогов зажигания короны для цилиндров, имеющих разную форму концов, уменьшается с уменьшением их размера и исчезает при диаметре цилиндра меньше 0.1 мм.

Разряд на изолированной проводящей частице состоит из двух разрядов разной полярности на противоположных в направлении внешнего электрического поля концах частицы. Если бы пороги зажигания этих разрядов различались существенно, то при постепенном повышении внешнего электрического поля сначала возник бы нестационарный разряд на той стороне частицы, где порог зажигания разряда ниже. Этот разряд привел бы к появлению заряда на частице такой полярности, которая повысила бы порог зажигания разряда на этой стороне частицы и понизила бы порог зажигания на противоположной стороне. Очевидно, что порог зажигания стационарного биполярного разряда на частице в этом случае должен быть между порогами зажигания положительного и отрицательного разрядов. Нами были измерены пороги зажигания положительного и отрицательно разрядов на выступах плоского электрода, имевших форму половин исследованных нами частиц относительно их плоскостей симметрии, перпендикулярных направлению электрического поля, - полусферах и цилиндрах половинной длины. Пороги зажигания положительного и отрицательного разрядов оказались равными между собой и равными порогам зажигания биполярного разряда на соответствующих частицах. Используем условие зажигания разряда для того, чтобы по результатам измерения  $E_{cr}$  определить коэффициент вторичной эмиссии  $\gamma$ :

$$\int_{x_0}^{\infty} \lambda \left( \frac{E}{N} \right) dx = \ln \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – это кажущийся коэффициент ионизации, характеризующий размножение электронной лавины на единицу пройденного ею пути с учетом потерь электронов. Коэффициент  $\lambda$  является функцией параметра приведенного поля  $E/N$  ( $E$  – напряженность электрического поля,  $N$  – концентрация молекул) и обращается в ноль при величине параметра приведенного поля, равной пробойному значению. Интегрирование в формуле (1) ведется вдоль наиболее сильной силовой линии, а  $x_0$  – координата поверхности электрода. Используем следующую аппроксимацию экспериментальных данных [11] для  $\lambda$ :

$$\frac{\lambda}{N} = 8 \cdot 10^{-18} \left( \frac{E}{N} \right)^{0.5} \exp \left( - \frac{600}{E/N} \right) \cdot \Phi \left( \frac{E}{N} - 96.8 \right) - 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2, \quad (2)$$

где  $E/N$  измеряется в Таундсендах ( $1\text{Td} = 10^{-17} \text{ В} \cdot \text{см}^2$ ),  $\Phi(x)$  – единичная функция. Для сфер  $E = E_{cr}(1+d^3/4x^3)$ ,  $x_0 = d/2$ ,  $d$  – диаметр сферы. Полученная таким образом зависимость коэффициента вторичной эмиссии от диаметра сферы приведена на рис.2.

При уменьшении проводящей частицы, расположенной вдоль направления электрического поля,  $E_{cr}$  уменьшается и достигает минимума при поперечном размере  $\sim 0.1$  мм. Дальнейшее уменьшение поперечного размера приводит к слабому росту  $E_{cr}$ . Используемые в наших экспериментах цилиндрические частицы имели поперечный размер  $\leq 0.1$  мм при  $L \leq 3$  мм. Поэтому можно утверждать, что зависимость  $E_{cr}(L)$ , показанная на рис.1. соответствует минимальному  $E_{cr}$  для частиц любой формы с продольным размером  $\leq 3$  мм. Из рис.1 видно, что частицы размером  $< 0.5$  мм независимо от их формы не могут влиять на разрядные процессы в атмосфере, потому что критическое поле зажигания разряда на них больше пробойного поля атмосферы.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Электродинамика атмосферы, радиофизические методы исследований атмосферных процессов», и при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

### Литература

1. C.N. Richards, G.A. Dawson, *J. Geophys. Res.*, 76, 3445-3455, (1971).
2. R. F. Griffiths, J. Latham, *J. Met. Soc. Japan*, 50, 416-422, (1972).
3. R. F. Griffiths, J. Latham, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 100, 163-180, (1974).
4. J. A. Crabb, J. Latham, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 100, 191-202, (1974).
5. R. F. Griffiths, J. Latham, R. L. Reed, *J. Met. Soc. Japan*, 54, 123-125, (1976).
5. S. Coquillat, and S. Chauzy, *J. Geophys. Res.*, 98, 10,319-10,324, (1993).
6. S. Coquillat, and S. Chauzy, *J. Geophys. Res.*, 99, 16,897-16,905, (1994).

7. J-F. Geogis, S. Coquillat, S. Chauzy, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 121, 745-761, (1995).
8. S. Coquillat, S. Chauzy, and J. Médale, *J. Geophys. Res.*, 100, 14327-14334, (1995).
9. A. M. Blyth, H. J. Christian, J. Latham, *J. Geophys. Res.*, 103, 13,975-13,977, (1998).
10. V. Schroeder, M. B. Baker, J. Latham, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, 125, 1681-1693, (1999).
11. J. Dutton, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, V.4, N 3, p.577, (1975)

## СВЧ ДИАГНОСТИКА СТРИМЕРНОЙ ЗОНЫ И ЧЕХЛА ДЛИННОГО ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Богатов Н.А.<sup>1,4</sup>, Костинский А.Ю.<sup>3,4</sup>, Мареев Е.А.<sup>1,4</sup>, Сысоев В.С.<sup>2,4</sup>

1 – Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

2 – Всероссийский электротехнический институт, Москва, Россия

3 – Российская венчурная компания, Москва, Россия

4 – Российский новый университет, Москва, Россия

*bogatov@appl.sci-nnov.ru*

В настоящее время экспериментальных данных о стримерной зоне лидерных разрядов немного – они ограничиваются скоростной фоторегистрацией движения стримеров и измерением напряженности электрического поля внутри стримерной зоны. Важную информацию могут дать измерения проводимости воздуха в стримерной зоне по поглощению диагностического СВЧ излучения. Известно, что в распространении стримеров принципиальную роль играет ионизирующее УФ излучение, генерируемое в головках стримеров. В стримерной зоне лидерных разрядов одновременно движутся десятки тысяч стримеров. Фотоионизация газа в стримерной зоне УФ излучением этих стримеров должна увеличивать проводимость газа, что может оказывать существенное влияние на распределение пространственного заряда и электрического поля в стримерной зоне и, в конечном итоге, на динамику стримеров и лидера.

СВЧ зондирование может помочь в решении другой важной задачи в физике молниевых разряда – определении проводимости в чехле молнии. Знание этого параметра позволит, в частности, адекватно описать процесс сбора заряда в канал молнии во время обратного удара.

Диагностическое СВЧ излучение должно направляться на объект в виде пучка электромагнитных волн – внесение каких-либо проводящих элементов в разрядный промежуток недопустимо. Для того чтобы обеспечить пространственное разрешение, меньшее размеров стримерной зоны и радиуса чехла разрядного канала, нужно использовать сфокусированные пучки с фокусом в исследуемой области. Минимальный поперечный размер СВЧ пучка – размер в фокальной области – порядка  $L\lambda/D$ , где  $L$  – расстояние от излучающей антенны до фокуса пучка,  $\lambda$  – длина волны СВЧ излучения,  $D$  – диаметр излучающей антенны. На высоковольтном стенде в Истре предполагается использовать излучение 8 мм диапазона и диэлектрические линзы диаметром 0.5 м, которые будут установлены на расстоянии 10 м от разряда (см. схему на рис.1). Тогда поперечный размер СВЧ пучка в фокальной области будет порядка 10 см. Размер стримерной зоны и чехла лабораторного лидерного разряда в промежутках длиной в несколько десятков метров составляет 1-3 м, поэтому данная диагностика позволит измерить пространственное распределение проводимости в этих зонах.

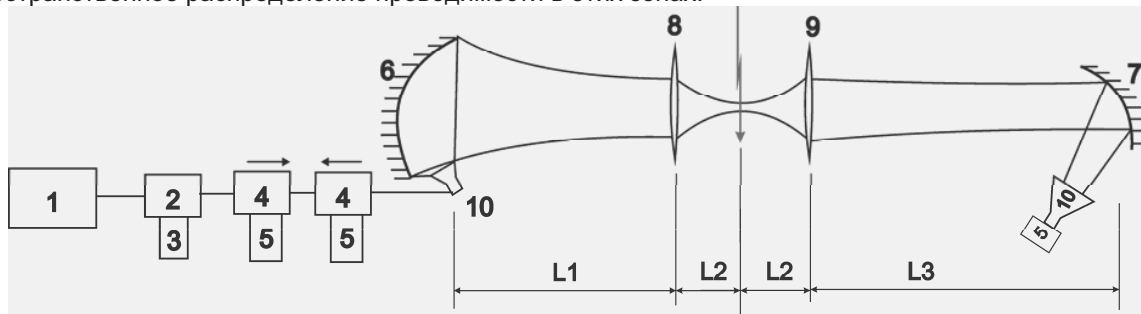


Рис.1. Схема СВЧ диагностики искрового разряда.

1 - ВЧ генератор, 2 – циркулятор, 3 – согласованная нагрузка, 4 – направленный ответвитель, 5 – детектор, 6 – излучающая параболическая антенна, 7 – принимающая параболическая антенна, 8 – фокусирующая линза, 9 – собирающая линза, 10 - облучатель.

### Чувствительность метода при диагностике квазиоднородной среды

Квазиоднородная среда (то есть имеющая масштаб неоднородности много больший поперечного размера СВЧ пучка), вероятно, имеет место в чехле лидера.

Высокочастотная проводимость равна:

$$\sigma = \frac{e^2 n \nu}{m(\omega^2 + \nu^2)}, \quad (1)$$

где  $n$  и  $m$  – концентрация и масса заряженных частиц,  $e$  – заряд электрона,  $\omega$  – круговая частота СВЧ поля,  $\nu$  – частота столкновений заряженных частиц с молекулами воздуха. Частота столкновений свободных электронов с молекулами зависит от величины параметра приведенного поля  $E/N$  ( $E$  – напряженность электрического поля,  $N$  – плотность газа). При характерных для стримерной зоны и чехла лидерного разряда величинах постоянного поля  $E \sim (5 - 10)$  кВ/см параметр  $E/N \sim (1 - 2) \cdot 10^{-16}$  В·см<sup>2</sup>. Тогда частота столкновений электронов, как это следует из измерений дрейфовой скорости электронов в воздухе [1], будет приблизительно равна  $\nu_{em} \approx 10^{-7} \cdot N \approx 3 \cdot 10^{12}$  с<sup>-1</sup> (для нормальной плотности воздуха  $N = 2.7 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>). Подвижности простых ионов в воздухе различаются не сильно и при нормальной плотности воздуха лежат в диапазоне 2-3 см<sup>2</sup>В<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup>. Соответствующие этим подвижностям частоты столкновений ионов с молекулами воздуха равны  $\nu_{im} \approx (1-1.5) \cdot 10^{10}$  с<sup>-1</sup>. Круговая частота СВЧ поля для 37 ГГц излучения ( $\omega \approx 2.3 \cdot 10^{11}$  с<sup>-1</sup>) удовлетворяет условиям  $\nu_{im} \ll \omega \ll \nu_{em}$ , поэтому электронная  $\sigma_e$  и ионная  $\sigma_i$  проводимости будут приближенно равны:

$$\sigma_e \approx \frac{e^2 n_e}{m_e \nu_{em}}, \quad \sigma_i \approx \frac{e^2 n_i \nu_{im}}{m_i \omega^2}, \quad (2)$$

индексы  $e$  и  $i$  обозначают электроны и ионы соответственно.

Коэффициент затухания СВЧ излучения по амплитуде в слабо проводящей среде равен (в системе единиц СИ):

$$\alpha \approx \frac{\omega}{2c} \varepsilon'' = \frac{\sigma}{2c \varepsilon_0}, \quad \varepsilon'' = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0} \ll 1 \quad (3)$$

где  $\varepsilon'' = \sigma / \omega \varepsilon_0$  – мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости,  $\varepsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума,  $c$  – скорость света в вакууме. Подставляя (2) в (3) получим

$$\alpha \approx \frac{e^2}{2c \varepsilon_0} \left( \frac{n_i \nu_{im}}{m_i \omega^2} + \frac{n_e}{m_e \nu_{em}} \right) \quad (4)$$

В процессе ионизации электронным ударом и фотоионизации образуются преимущественно положительные ионы молекулярного кислорода и легкоионизируемых примесей в воздухе. В процессе прилипания электронов к молекулам электроотрицательных газов воздуха преобладает прилипание к молекулам кислорода, поэтому основными отрицательными ионами на коротких промежутках времени после ионизации также являются отрицательные ионы молекулярного кислорода. С течением времени ионный состав воздушной плазмы меняется, средняя масса ионов возрастает, прежде всего за счет гидратирования простых ионов. Мы положим в формуле (4)  $m_i$  равной массе молекулы кислорода – это будет соответствовать оценке сверху на чувствительность метода к концентрации ионов. Подставляя в формулу (4) остальные численные значения величин, получим

$$\alpha [M^{-1}] \approx 3.3 \cdot 10^{-17} n_i [CM^{-3}] + 1.8 \cdot 10^{-13} n_e [CM^{-3}] \quad (5)$$

Минимальная регистрируемая величина относительного ослабления зондирующего СВЧ излучения в динамическом режиме обусловлена уровнем флуктуаций амплитуды СВЧ генератора и составляет величину порядка  $10^{-4}$ . Полагая характерный размер области повышенной проводимости равным 1м, из формулы (5) находим минимальные регистрируемые данной диагностикой величины концентраций электронов и ионов:

$$n_{e,\min} \approx 5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3} \quad n_{i,\min} \approx 3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3} .$$

В случае неоднородной среды, как это имеет место в стримерной зоне лидера, существенными будут отражение и рассеяние зондирующего излучения. Регистрация динамики этих эффектов должна дать важную информацию для построения количественной физической модели стримерной зоны.

Настоящая работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК № 11.519.11.5017 и ГК № 16.518.11.7006).

### Литература

1. J. Dutton, J. Phys. Chem. Ref. Data, V.4, N 3, p.577, (1975)

## РАСЧЕТ ТОКА МОЛНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПОЛЯРНОСТИ

Думаева Л.В., Гятов Р.А.  
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик  
armand97a@gmail.com

Полярность молнии устанавливается по знаку нейтрализуемого заряда. Молния положительная – если нейтрализуется положительный заряд. Молния отрицательная – если нейтрализуется отрицательный заряд. Чаще всего молния ударяет в высокие сооружения, особенно в выделяющиеся над местностью. В результате ударов молнии возникают множество лесных пожаров. Сгорают строения, гибнут люди и животные. Кроме того, грозовое электричество – одна из важнейших, фундаментальных проблем атмосферной физики.

Одним из важнейших аспектов электродинамики грозового электричества является изучение молниевых разрядов и электрические токи, сопровождающие их развития. Особый интерес представляет разряды молнии на землю. Он обусловлен необходимостью защиты от их воздействия. Как правило, разряд молнии состоит из нескольких импульсов – компонентов. Надежные исследования относятся к токам первой компоненты отрицательной молнии [2, 4]. Ток удобен для регистрации, так как его фронт занимает несколько микросекунд и при осциллографической записи воспроизводятся в деталях. Знание

длительности фронта  $\tau_\phi$  позволяет вычислить крутизну волны тока  $S_{cp} = \frac{I_M}{\tau_\phi}$ . Для расчетов воздействия

волны тока на технические средства важно не среднее значение  $S_{cp}$ , а максимальная величина  $S$ , определяемая выражением

$$S_{max} = \left( \frac{dI}{dt} \right)_{max} \quad (1)$$

Для иллюстрации роли  $\phi$  в воздействии тока молнии на технические объекты следуя [3] найдем индуцированную ЭДС  $U_M$  в рамке площадью  $S=1m^2$ , когда она размещена на расстоянии  $D=1m$  от канала молнии или заземленного проводника, по которому течет ток первого компонента молнии (рамка в плоскости, перпендикулярной магнитному полю тока). Даже при небольших значениях

$$S_{max} = 3,3 \cdot 10^{10} \text{ A/c} \text{ получаем } \phi$$

$$U_M = \mu_0 S_{max} S (2\pi D)^{-1} = 6,6kV \quad (2)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  - магнитная проницаемость вакуума.

В случае, если вместо рамки будут технические объекты из проводящего материала, проводов и т.д., полученная ЭДС может критической для него. Такие величины способны вызвать электрическую искру значительной мощности.

В этой связи важно знание аналитических выражений для токов молний разной полярности.

В данной работе для определения параметров тока молнии на Северном Кавказе использованы данные, получаемые грозорегистратором LS 8000 Высокогорного геофизического института [1] типа LPATS.

В таблице 1 приведен фрагмент базы данных использованная нами для расчетов  $J(t)$  отрицательной полярности. В таблице 2 – данные молний положительной полярности.

Используя базу данных (таблицы 1, 2) полученные значения параметров молний различной полярности методами математической статистики нами получены выражения токов молний в виде :

Для токов отрицательных молний со средними значениями  $t$  и  $J$ :

Таблица 1

t	3	5.8	11.6	17.4	22	38.2
J(t)	4.2	8.4	16.8	8.4	4.2	1.2

Функция приближения:

$$J(t) = C \cdot t^a \cdot e^{-bt} \quad (3)$$

Ряд 1 - данные из таблицы 1,

Ряд 2 - график функции (3) с параметрами  $C=0,040351$ ,  $a=4,425217$  и  $b=0.416271$

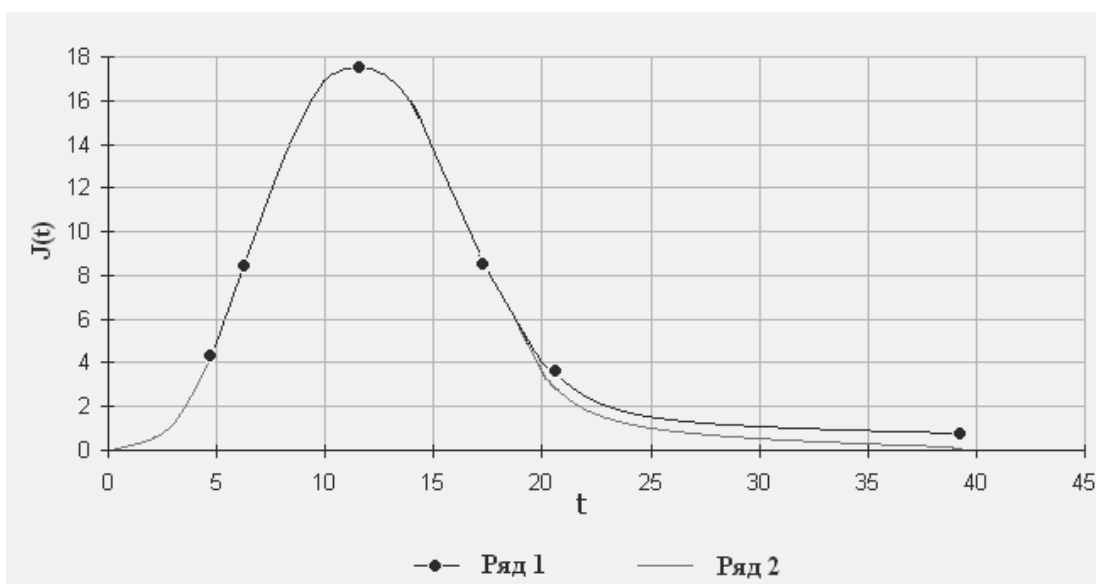


Рис. 1. Стилизованная кривая импульса тока первого компонента отрицательной молнии.

Для токов положительных молний средними значениями  $t$  и  $J$ :

Таблица 2.

$t$	3,3	6,6	13,3	21	26	34
$J(t)$	5,7	11,4	22,9	11,4	5,7	2

Функция приближения:

$$J(t) = C \cdot t^a \cdot e^{-bt} \quad (4)$$

Ряд 1 - данные из таблицы 2,

Ряд 2 - график функции (4) с параметрами  $C=0,124844$ ,  $a=3,456659$  и  $b=0.283944$

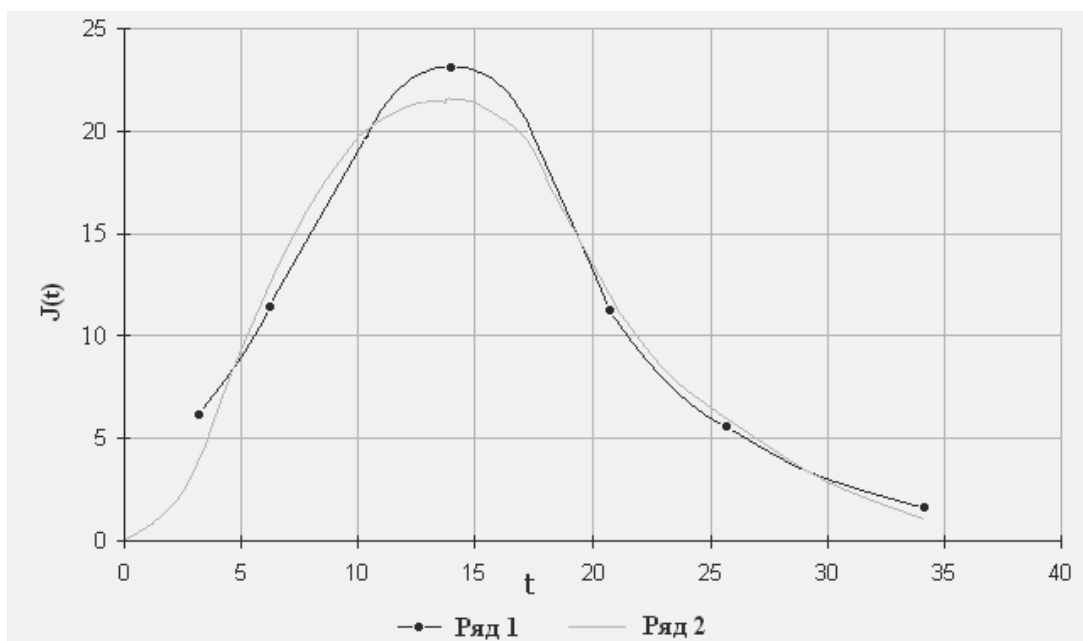


Рис. 2. Стилизованная кривая импульса тока первого компонента положительной молнии.

В выражениях (3) и (4) коэффициенты в показателях  $e^{bx}$  имеют размерность  $\text{мкс}^{-1}$  Размерность численных множителей  $ct^a$  –  $\text{кА}$ .



В работе [5] предложено использовать для расчета первого импульса разряда молнии приносящего на землю отрицательный заряд следующее выражение:

$$J(t) = J_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) + J_1 e^{-\gamma t} \quad (5)$$

Параметры  $I_0$ ,  $\alpha$  и  $\beta$  выбраны таким образом, чтобы иметь наиболее реальные времена нарастания тока, максимальный ток и время спадания тока до половины максимального значения. Параметры  $I_1$  и  $\gamma$  выбраны так, чтобы получить близкий к реальному промежуточный ток.

Их сравнения с выполненными нами расчетами свидетельствует о хорошем совпадении. При этом следует отметить, в отличие от ранее предложенных выражений наши значения  $J(t)$  получены в зависимости от знака разряда молнии, что очень важно для понимания физики грозового электричества.

### Литература

1. Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Дорина А.Н. Определение параметров молниевых разрядов. Известия высших учебных заведений. Северо - Кавказский регион. Физика атмосферы. -2010.- С.10-12.
2. Аджиев А.Х., Богаченко Е.М. Применение радиотехнических средств для оценки используемых в грозозащите параметров разрядов молнии. //Электричество, 1990. -№7. С.-18-22.
3. Базелян Э.М. Физика молнии и молние защиты. Москва. Физматлит. 2001. - 320 с.
4. Стандарт отраслевой: СО – 153 – 34.21.122 – 2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004.
5. Dennis A.S., Pierce E.T. The Return Stroke of a Lightning Flash to Earth as a Source of VLF Atmospheres. I. Res/ NBS/USNC-URSI, 68D (Radio Science). 1964. Pp. 777-794.

## МОРСКИЕ ГРОЗЫ НА МЫСЕ КРИЛЬОН, ЮЖНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ САХАЛИНА

Жирнова Н.С., Кашлева Л.В.

Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, С-Петербург  
kashleva@ya.ru

Морские грозы безусловно можно отнести к тем малоизученным явлениям, которые представляют опасность и для авиации, и для морского транспорта. В работе исследуются метеорологические и синоптические условия возникновения морских гроз и даны рекомендации для их прогноза. С этой целью были собраны архивные материалы о грозах за 2004г. - 2008г на мысе Крильон, расположенном на берегу пролива Лаперуза и являющемся самой южной территорией острова Сахалин. Был проведен анализ изменений метеопараметров при прохождении гроз; анализ синоптических процессов, приводящих к возникновению гроз; разработаны рекомендации по прогнозу гроз в районе мыса Крильон.

Оказалось, что грозы по сезонам грозы наблюдаются с лета по зиму, при этом максимальная повторяемость приходится на осенний сезон (сентябрь-октябрь). Результаты анализа данных представлены на рисунке 1.

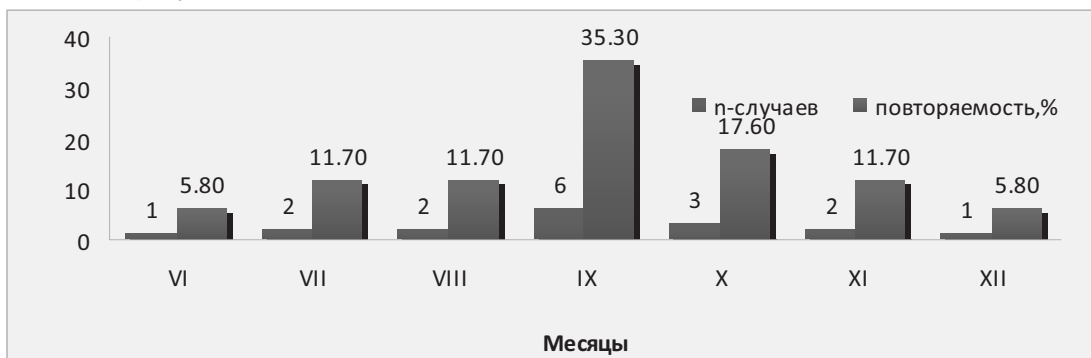


Рис.1. Число случаев и повторяемость гроз по месяцам за период 2004 -2008 гг.

Основное количество гроз в течение суток (см. рисунок 2) возникает ночью и утром.

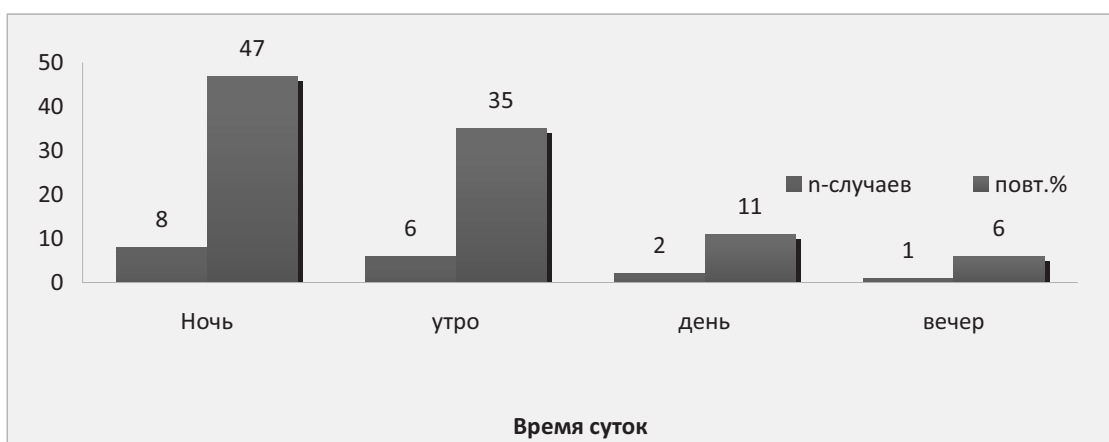


Рис.2. Суточный ход гроз в процентах (%) и число случаев за сутки в период 2004 – 2008 гг.

Характерные значения метеорологических характеристик следующие: грозы возникают при температуре воздуха от +3 °С до +21 °С, максимальное количество случаев приходится на интервал +6 – +12 °С, минимальное количество наблюдается при температурах от +3 до +6 °С. Ветер при грозах имеет направление в северо-восточном и юго-западном секторе.

Подробный синоптический анализ показал, что особенности грозовой деятельности на юге Сахалина объясняются особенностями общей циркуляции на Дальнем Востоке в летний период. Летом над Охотским морем располагается антициклон, который не дает выход циклонам. Циклоны заполняются над Амуром и только приблизительно 17 % выходят на акваторию морских вод. С ними и связаны редкие летние грозы в районе мыса Крильон. Осенью изменяется общая циркуляция и этот антициклон разрушается, меняется общая циркуляция, активизируется циклоническая деятельность, с континента приходят циклоны, что приводит к возникновению гроз над теплой, морской поверхностью.

При этом следует выделить два типа фронтальных процессов. Первый тип связан с циклоном, который перемещается из районов Средней Азии в юго-западном направлении. Второй тип связан с ныряющими циклонами, которые прорываются с Чукотки и Камчатки.

Грозы возникают на теплых фронтах и фронтах окклюзий, которые приходят с Азии (в 76.5% общего числа случаев гроз) при юго-западном ветре у земли и на высоты в тропосфере. Также грозы могут возникнуть при ныряющих циклонах, когда арктический воздух при северо-восточном ветре на картах барической топографии и у земли прорывается с Чукотки (в 23.5% случаев).

Установленные закономерности могут быть рекомендованы при прогнозах гроз на станции МГ-2 Крильон для района мыса Крильон и пролива Лаперуза.

Благодарим Сахалинское УГМС и Южно-Сахалинском бюро погоды за представленные материалы.

# О РЕЗУЛЬТАТАХ ВЫПОЛНЕНИЯ В ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РАБОТ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

Климин Н.Н., Попов И.Б.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург  
popov\_ib@mail.ru

В настоящее время в ряде организаций Росгидромета ведутся работы по созданию системы геофизического мониторинга, предназначенной для определения фоновых значений различных геофизических параметров, их пространственных распределений, сезонных и локальных временных изменений, а также выявление на измеренном фоне возникающих аномалий. Эта система будет включать в себя также мониторинг электрического состояния атмосферы в приземном слое на специализированных пунктах сети Росгидромета и в тропосфере с помощью самолета-лаборатории.

Для решения задач по созданию атмосферно-электрических измерительных комплексов (АЭИК) в Главной геофизической обсерватории проведены опытно-конструкторские разработки новых типов средств измерений (СИ) напряженности электрического поля атмосферы Е и СИ полярных электрических проводимостей воздуха  $\lambda$ .

## 1. Наземный АЭИК.

Разрабатываемый измерительный комплекс предназначен в первую очередь для оснащения специализированных пунктов наблюдений, на которых в дальнейшем будет основана система контроля электрического состояния атмосферы. Эта система должна решать задачи геофизического и экологического мониторинга электрического состояния атмосферы, а также ряд научных задач, связанных с исследованиями атмосферного электричества и влияния его на различного рода объекты и человека. Система должна обеспечивать непрерывное слежение за электрическими характеристиками атмосферы и входить в состав общей системы геофизического мониторинга. В связи с этим были сформулированы следующие общие требования к входящим в комплекс приборам: наличие цифрового интерфейса, метрологическая обеспеченность, сохранение работоспособности в условиях открытой атмосферы в течение длительного периода времени.

Новый тип СИ Е представляет собой модернизированный измерительный преобразователь (ИП) «Поле-2» с сохранением конструкции первичного преобразователя (датчика), работающего по принципу электростатического флюксметра. Полностью переработаны схемы усиления и детектирования сигнала с использованием малошумящих операционных усилителей. Схемы усиления и детектирования реализованы на одной плате, размещенной в корпусе датчика. В целом, введенные изменения позволили увеличить динамический диапазон СИ до 60 дБ со среднеквадратическим уровнем шума 2 В/м в диапазоне 0-10 Гц.

Для калибровки и поверки СИ используется внесенный в Госреестр калибратор напряженности электрического поля КНЭП-1. Для периодического контроля рабочих характеристик используется контрольное устройство в виде крышки, которая устанавливается на первичный преобразователь СИ Е (рис .1) и создает на измерительных пластинах датчика заданную величину Е.

Первичный преобразователь СИ  $\lambda$  состоит из двух цилиндрических аспирационных измерительных конденсаторов (АИК), что

обеспечивает одновременное измерение  $\lambda$  обеих полярностей. Собирающими являются центральные электроды АИК, на внешние отталкивающие электроды подается постоянное напряжение соответствующей полярности. Геометрические размеры АИК выбраны такими же, как в конструкции ИП «Электропроводность-2», который получил сертификат соответствия типа по результатам испытаний с использованием Государственного первичного эталона единиц объемной плотности электрического



Рис 1. Изображены КНЭП-1 (вверху), первичный преобразователь СИ Е (внизу справа) и устройство для контроля СИ (внизу слева).

заряда ионизированного воздуха и счетной концентрации аэроионов ГЭТ 177-2010. В ходе испытаний также была исследована и одобрена для использования схема контроля коэффициента преобразования СИ  $\lambda$ , основанная на использовании генератора линейно меняющегося напряжения, подаваемого на внешние электроды АИК.

В модернизированном СИ  $\lambda$  переработаны схемы электрометрических усилителей, реализована возможность автоматического управления работой СИ по командам с ЭВМ.

## 2. Самолетный АЭИК

Измерение электрических характеристик атмосферы (ЭХА) с помощью самолета-лаборатории позволяет в оперативном режиме проводить мониторинг параметров глобальной атмосферно-электрической цепи – потенциала ионосферы и вертикального тока Земля-Ионосфера. Также возможно

отслеживать пространственные изменения ЭХА, связанные с аэрозольным или радиоактивным загрязнением отдельных пунктов и территорий с целью обнаружения, картографирования и отслеживания перемещения и распространения загрязненных областей в оперативном режиме. Кроме того, АЭИК может быть использован для контроля электрического состояния облаков в процессе их естественного развития и при проведении активных воздействий.

По сравнению с наземными приборами, самолетные СИ  $E$  и  $\lambda$  имеют существенное отличие в диапазонах измерений, климатических характеристиках и присутствии некоторых конструктивных особенностей, связанные с проведением измерений электрических параметров свободной атмосферы на самолете. Остались неизменными принципы действия и основные схемотехнические решения в части усиления и детектирования сигналов.

Для измерения трех компонент вектора  $E$  на самолете в разных точках фюзеляжа установлено шесть комплектов СИ  $E$ . Блоки, входящие в каждый комплект, изображены на рис.2. Диапазон измерений 2-200000 В/м. Результаты измерений всех шести комплектов по линии цифровой связи передаются на ЭВМ и с помощью специальных программных средств в оперативном режиме проводится расчет компонент  $E$  и оценивается собственный заряд самолета.

СИ  $\lambda$ , основные блоки которого изображены на рис.3, рассчитано на диапазон измерений 2-200 фСм/м. Выносной блок с двумя АИК, закрепленными на штанге длиной 300 мм, устанавливается в носовой части самолета, заборные отверстия АИК ориентированы по направлению набегающего воздуха. В выносном блоке под кожухом между АИК также установлена плата электрометрических усилителей.



Рис. 2. Общий вид СИ  $E$ .

1 - выносной измерительный датчик, 2 - блок преобразования сигнала (2), 3 - контрольное устройство, вмонтированное в защитную крышку, 4 - соединительные кабели.



Рис. 3. Общий вид СИ  $\lambda$ .

1 – выносной блок с двумя аспирационными конденсаторами, 2 - измерительный блок, 3 - блок питания, 4 - соединительные кабели.

Выполнены лабораторные испытания СИ самолетного АЭИК, которые показали соответствие их характеристик предъявленным требованиям. На ближайшее время после окончания всех работ по монтажу запланировано проведение летных испытаний СИ.

## ПЛАНЕТАРНАЯ ГРОЗОВАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ИСТОЧНИК МАГНИТНОГО ШУМОВОГО ФОНА НА ЧАСТОТАХ 0.1-15 ГЦ

Котик Д.С., Ермакова Е.Н., Рябов А.В.

ФГБУ «Научно-исследовательский радиофизический институт», г. Нижний Новгород,  
rf@nirfi.sci-nnov.ru

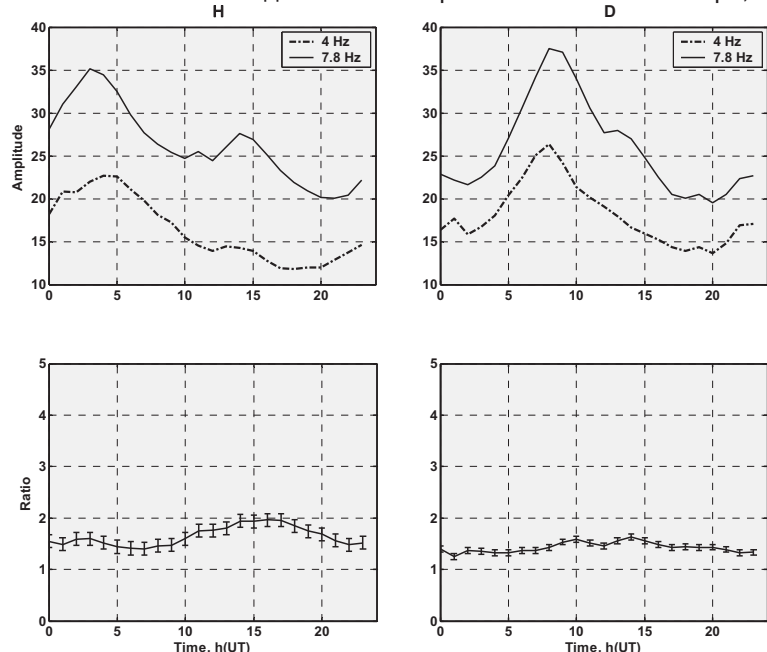
Дискуссия о природе шумового фона на частотах ниже первого шумановского резонанса ведется в научной литературе достаточно долго. Традиционно считается, что источником фонового шума в указанном диапазоне частот являются всемирные грозовые очаги. В настоящее время отечественными учеными рассматриваются и дополнительные источники формирования фонового шума на частотах РСС, связанные с турбулентным нейтральным ветром в нижних слоях ионосферы. Эти источники поднимают общий уровень шума, который, по мнению авторов идеи не могут обеспечить источники дальних грозовых очагов [3]. В данной работе предпринято исследование данного вопроса по трем направлениям:

анализ суточной корреляции вариаций амплитуды шума на частоте первого шумановского резонанса 7.8 Гц и на частоте 4 Гц;

анализ влияния специальной обработки данных по регистрации горизонтальных компонент магнитного шума на резонансную структуру спектра (РСС) [1],

численное моделирование спектров магнитных компонент от источника, имеющего структуру белого шума [3].

По данным среднеширотного наблюдательного пункта Новая Жизнь (NL: 55,97 С.Ш., 45,74 В.Д.) был проведен сравнительный анализ суточных вариаций амплитуды магнитных компонент шума на частоте первого шумановского резонанса и на частоте 4 Гц. Для анализа были выбраны три магнитоспокойные недели: 01-06 марта 2006 г и 14-20 января, 14-20 июля 2007 г.



Обработка данных заключалась в следующем: ряды данных были отфильтрованы фильтрами с полосой 1 Гц с центральными частотами 7.8 и 4 Гц. Затем были получены суточные вариации амплитуды магнитного шума по обеим компонентам на каждой из частот для каждых суток из выбранных периодов. Суточные вариации были усреднены по неделям сезона, затем было вычислено отношение амплитуд шума на частоте первого шумановского резонанса к амплитуде на частоте 4 Гц

$$R = A(F = 7.8 \text{ Гц}) / A(F = 4 \text{ Гц}).$$

Пример обработки для 01-06 марта показаны на рис. 1.

Анализ усредненных по неделям суточных вариаций амплитуды шума на частотах 7.8 и 4 Гц показал их идентичность во все сезоны, кроме летнего, когда существенное влияние оказывает локальная грозовая активность.

Рис. 1. Март, 2006. Суточная вариация амплитуды магнитного шума на частотах 7,8 и 4 Гц (верхняя панель) и их отношение (нижняя панель) с почасовым усреднением.

Результат свидетельствует в пользу предположения об общем источнике шумов во всем рассматриваемом диапазоне частот, а именно - грозовой активности на планете

Для того чтобы показать, что источником РСС наряду с грозовыми импульсами (сфериками) является шумовая компонента, была предпринята специальная обработка данных за интервал времени 11.11 2007г. с 15:00 до 22:00 UT, когда отчетливо наблюдался РСС. При задании определенного порога (от 0.1 до 0.9) от максимального значения импульсной составляющей шума она заменялась «белым» шумом, с амплитудой, не превышающей порога. Результат записывался в новый файл и подвергался

спектральному анализу. Сравнения спектрограмм при разных уровнях порога показали, что в интервале от 0.1 до 15 Гц их вид принципиально не изменяется.

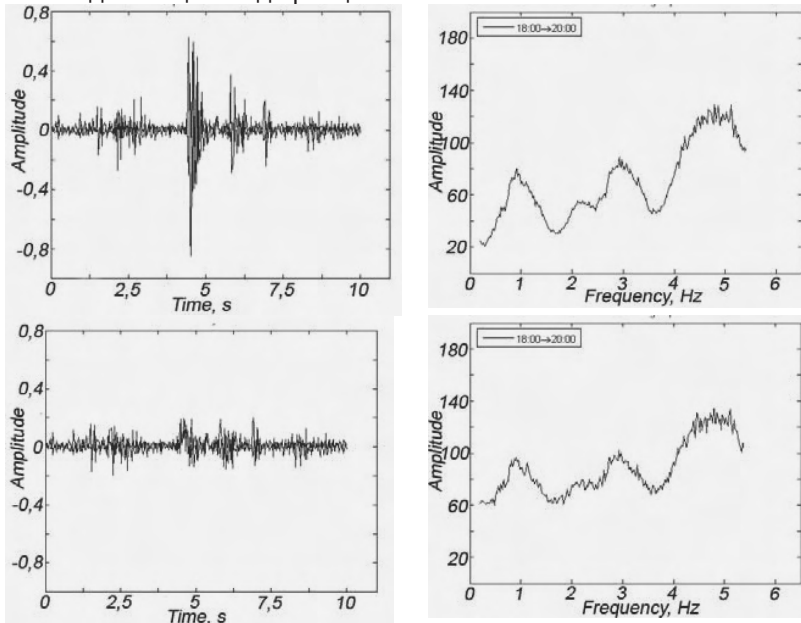


Рис. 2. Сравнение спектров 11 ноября 2007 при пороге 0.2, шумовой и импульсной компонент естественного шума в диапазоне исследуемых частот.

Аналогичным образом были получены линейные спектры в диапазоне 0.1-5Гц. Пример результата такой обработки показан на рис. 2 с двух- часовым усреднением. Верхняя панель на этом рисунке соответствует исходному файлу данных, нижняя – файлу полученному при ограничении импульсной составляющей на уровне 0.2. Видно, что спектр на претерпел принципиальных изменений. Таким образом, можно сделать вывод, что шумовая компонента в значительной мере определяет явление РСС, наряду с импульсной компонентой шума. Последнее обстоятельство так же является свидетельством общности происхождения

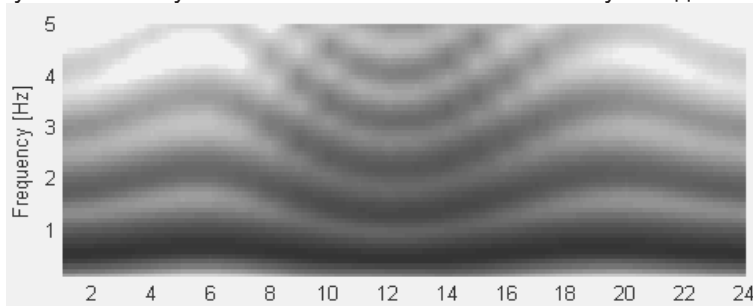


Рис. 3. Моделирование РСС в продольной (по направлению на источник) компоненте магнитного поля для точки с координатами 14 E, 78 N.

На базе развитой в работе [2] количественной теории РСС было проведено моделирование спектра магнитного шума при удаленном источнике в виде белого шума. Результаты такого численного моделирования (см. рис.2) показали появление четкой структуры РСС при типичной суточной вариации параметров ионосферы. При расчетах использовались взятые из модели IRI-2007 профили ионосферных параметров.

Таким образом, результаты исследований по предпринятым нами трем направлениям свидетельствуют в пользу общности источника шума в диапазоне 0.1-15 Гц, которым является планетарная грозовая активность. Показано также, что наряду с импульсами от грозовых разрядов, шумовая компонента дает свой вклад в формирование РСС.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты №№ 11-02-97104 p\_поволжье\_a, 11-02-00419-а.

### Литература

1. Беляев П.П., Поляков С.В., Рапопорт В.О., Трахтенгерц В.Ю. Обнаружение резонансной структуры спектра атмосферного электромагнитного шумового фона в диапазоне короткопериодных геомагнитных пульсаций // Докл. АН СССР. 1987. Т.297. С. 840-843.
2. Ермакова Е.Н., Котик Д.С., Поляков С.В. Исследование особенностей резонансной структуры спектра фонового шума в диапазоне частот 1-10 Гц с учетом наклона магнитного поля Земли // Изв. вузов, Радиофизика. 2008. Т.51, №7. С. 575-584.
3. Surkov, V.V., O.A. Pochotelov, M. Parrot, E.N. Fedorov, and M. Hayakawa, Excitation of the resonance cavity by neutral winds at middle latitudes // Annales. Geophysicae, 2004, Vol. 22. Pp. 2877-2889.

# ВЫДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ГЛОБАЛЬНОЙ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЕ

Круглов А.А.<sup>1,2</sup>, Франк-Каменецкий А.В.<sup>1</sup>, Котиков А.Л.<sup>2,3</sup>

1 – Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики;

2 – Санкт-Петербургский государственный университет;

3 – Санкт-Петербургский филиал института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН  
kruglov@ari.ru

Глобальная электрическая цепь формируется между поверхностью Земли и ионосферой, которые являются хорошими проводниками по сравнению с атмосферой между ними. Грозы создают в атмосфере генераторы постоянного и переменного электрического тока, текущего до ионосферы. Глобальная цепь замыкается в областях с «хорошей» погодой, как правило, достаточно удаленных от генераторов.

Во время гроз наблюдаются грозовые разряды, которые излучают электромагнитные волны в широком диапазоне частот; эти волны составляют переменную часть глобальной электрической цепи (AC).

Считается, что в любой момент времени происходят около тысячи гроз. Они являются генератором постоянного тока (~ от 1 до 2 кА) и ответственны за постоянную часть глобальной электрической цепи (DC).

Граница между постоянной и переменной частью глобальной электрической цепи ~200 с. Согласно [1], эта величина является постоянной времени глобальной атмосферной электрической цепи.

Настоящая работа посвящена исследованию вариаций (DC) приземного электрического поля ( $E_z$ ) на Антарктической станции Восток ( $\varphi = 78.45^\circ$  S;  $\lambda = 106.87^\circ$  E, высота 3500 м).

В высоких широтах ионосфера не эквипотенциальна. На потенциал, создаваемый грозовыми генераторами ( $U_{int}$ ), накладывается потенциал, возникающий в результате взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли ( $U_{ext}$ ). Таким образом, разность потенциалов между поверхностью Земли и ионосферой ( $U_i$ ) можно представить как их сумму.

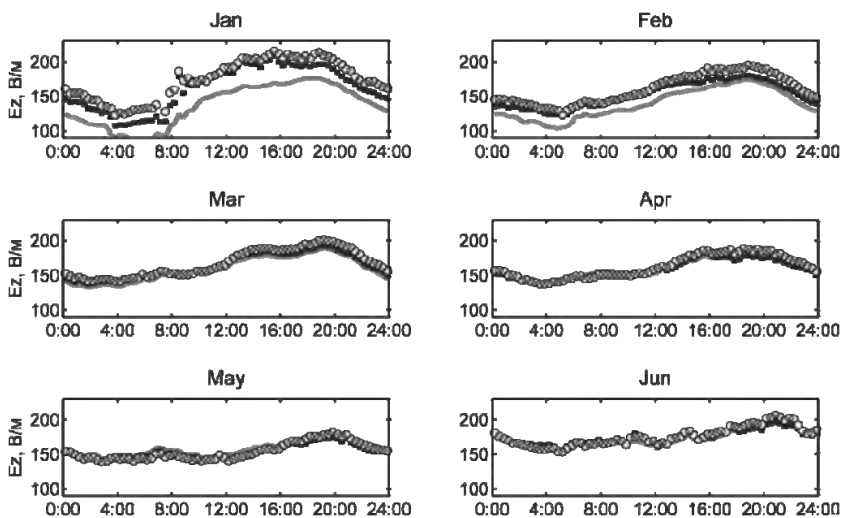
Используя модельные расчёты проникновения электрического поля из ионосферы к поверхности Земли, можно учесть вклад  $U_{ext}$  в  $E_z$ . Таким образом, зная  $U_{ext}$ , простой линейно регрессионный анализ позволяет получить грозовую часть вариаций приземного поля.

К сожалению, прямых непрерывных измерений потенциала ионосферы не проводится. Однако, существуют различные модели распределения электрического потенциала в полярной ионосфере (Wemer, LC 2006, SuperDARN, IZMEM и другие). В данной работе мы использовали модель Веймера 2001 года.

Помимо глобальных факторов, на  $E_z$  значительное влияние оказывают локальные параметры среды. Для Антарктического плато это, в первую очередь, скорость ветра, температура воздуха, и, в некоторой степени, атмосферное давление. Метеорология влияет на проводимость приземного слоя атмосферы, что в свою очередь немедленно отражается в данных  $E_z$ .

Представляет интерес разработка методики учёта вариаций проводимости по имеющимся метеорологическим данным. Для этого был проведён регрессионный анализ влияния метеорологических параметров на  $E_z$ . Полученные коэффициенты использовались для уточнения кривых среднемесячного хода вертикальной компоненты приземного электрического поля.

Для каждого месяца были получены три кривые среднемесячного хода  $E_z$  (Рис. 1). Серым цветом отмечены кривые не подвергавшиеся



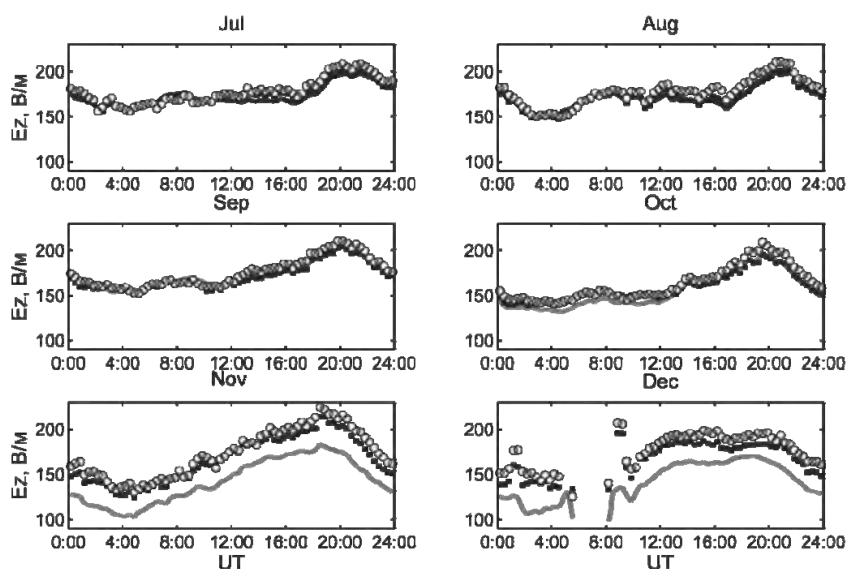


Рис. 1. Кривые среднемесячного хода. Подписи кривых в тексте.

Гарри Барнсом в его свежей статье [2]. Однако различие в оценках коэффициентов регрессии для скорости ветра различаются более чем в два раза и выходят за границы рассчитанных погрешностей. Это может быть связано с тем, что в нашей работе использовались данные по метеорологии с 2000 по 2011 год (Барнс применял данные с 1998 по 2002 год). Данный вопрос требует более тщательного исследования.

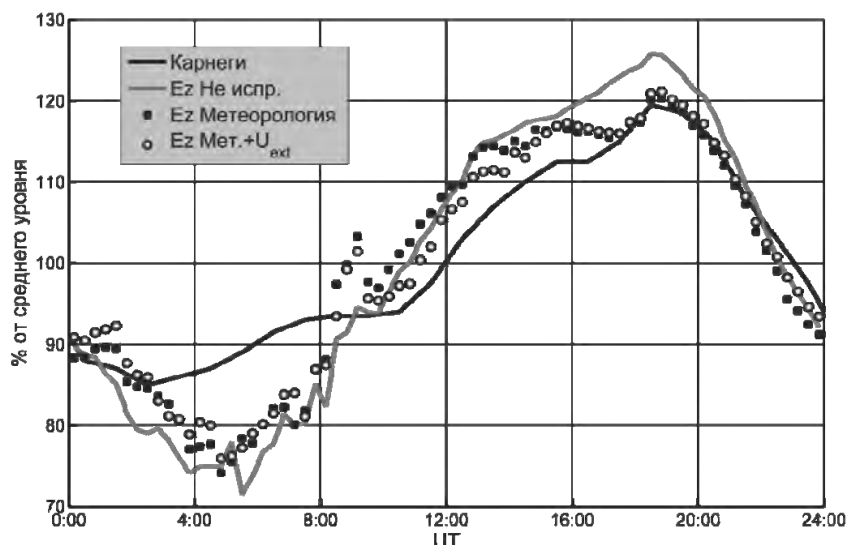


Рис. 2. Сравнение кривых среднемесячного хода  $E_z$  с данными Карнеги.

UT, может быть вызвано значительным усилением амплитуды шумов в районе локально полдня на станции Восток (5 часов UT), характерное для всех солнечных месяцев.

### Литература

1. Rycroft, M.J., et al.. An Overview of Earth's Global Electric Circuit and Atmospheric Conductivity // Space Science Reviews, 2008, Volume 137, Issue 1-4, pp. 83-105.
2. Burns, G.B., et al.. Monthly Diurnal Global Atmospheric Circuit Estimates Derived from Vostok Electric Field Measurements Adjusted for Local Meteorological and Solar Wind Influences // J. Atmos. Sci., 2012, 69, 2061–2082.

корректировке. Чёрными квадратами показаны кривые пересчитанные исходя из метеорологических параметров характерных для зимы южного полушария (температуры воздуха  $-70^\circ\text{C}$ , скорости ветра  $4.4\text{ м/с}$  и атмосферного давления в  $623\text{ мм. ртутного столба}$ ). Чёрно-белым кружкам соответствуют кривым для которых учтены и метеорологические поправки, и поправки вносимые внешним (магнитосферным) генератором. Таким образом красная серия кривых среднемесячного хода соответствует грозовой части вариаций приземного электрического поля.

Полученный результат практически совпадает с результатом опубликованным

На графике (Рис. 2) представлено сравнение полученных результатов с классическими данными Карнеги. В данном случае под "кривыми среднемесячного хода" следует понимать суточную вариацию  $E_z$  полученную обобщением данных с ноября по февраль включительно (лето южного полушария). Можно отметить, что применение корректировок уменьшило суточную амплитуду и приблизило наш результат к результату Карнеги. Причина резкого скачка в районе 9 часов UT пока неизвестна. Вероятно - это связано с отдельными недостатками в фильтрации метеорологических данных. Явное различие в относительных уровнях кривых с 3 до 8 часов



## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СМЕРЧА НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 29-30 ИЮЛЯ 2010 ГОДА

Мазуров Г.И.<sup>1</sup>, Акселевич В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский Университет управления и экономики, Санкт-Петербург  
nanmaz@rambler.ru, vaksster@gmail.com

В статье [1] нами рассмотрены характеристики более 300 смерчей за полтора столетия на территории России. В данной статье произведен пространственно-временной анализ перемещения смерча вечером 29 июля и в ночь на 30 июля 2010 г. по Ленинградской области (рис. 1), большая часть которой представлена на карте (масштаб в 1 см 10 км).

В первом случае практически при сильных ветрах отмечались грозы обычно с дождем и выявлено, что минимальное давление на подстилающей поверхности зафиксировано в 569 мм рт. столба, т.е. 760 гПа. Это соответствует 5-му классу интенсивности смерчей и говорит о том, что эта изобарическая поверхность опустилась до подстилающей поверхности с высоты около 4.5 км. Поэтому в подобных случаях всегда отмечаются сильнейшие вертикальные и горизонтальные потоки воздуха. Об этом свидетельствуют мощные разрушения и подъем тяжелых предметов, в том числе автомашин и переворот железнодорожных вагонов [3].

Естественно, что восходящие и нисходящие потоки, а также вращательные движения воздуха приводят к возникновению и накоплению статистического электричества, а они к грозовым разрядам между облаками и подстилающей поверхностью.

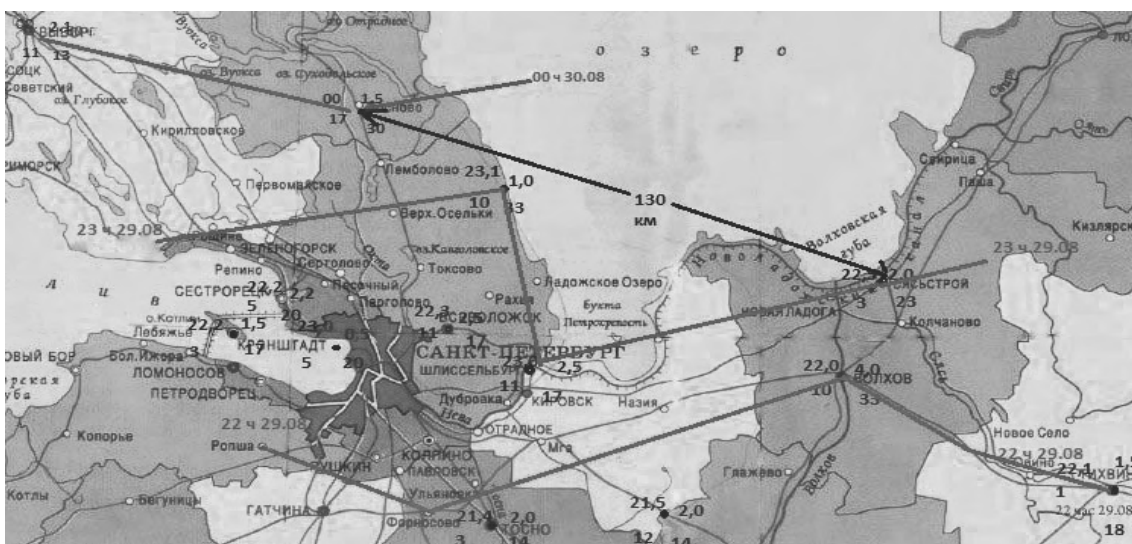


Рис. 1. Карта части Ленинградской области с проведенными красным цветом (к сожалению, ломаные) линиями - изохронами (22, 23 и 00 часов). Слева сверху от пункта фиксации смерча нанесено время его начала (в часах с десятками минут), ниже – количество выпавших осадков (в мм толщины слоя воды), справа – продолжительность действия смерча (в часах с десятками долями часа), ниже – зафиксированная максимальная скорость ветра (в м/с).

Молнии наблюдались почти одновременно в нескольких местах. Так, смерч 29-30 июля 2010 года несколько гроз и ливней отмечены в 16 пунктах всего за 4,5 часа (начались на юге области в Любани в 21 час 45 мин. 29.08. 2010 г. и закончились на северо-западе области в Выборге в 2 часа 10 мин. 30.08. 2010 г.) [5]. В каждом пункте продолжалось не более 2,5 ч. При площади Ленинградской обл. около 85 тыс. км<sup>2</sup> она может быть покрыта материнским облаком смерча не менее чем за 40 ч, если предположить, что это облако имеет в диаметре около 50 км, т. е. площадь около 2 тыс. км<sup>2</sup>. Сравнение времени действий смерчей и пространства, на котором это происходило, показывает, что наблюдалось несколько материнских облаков, и из них развивались смерчи с мощными грозовыми разрядами. К сожалению, измерения электрической напряженности в кучево-дождевых облаках затруднительны, а измерять ее необходимо. Найдена только информация о напряженности в кучевых облаках на высотах 2 и 3 км. Она достигала 25 и 75 кВ/м соответственно [4]. В кучево-дождевых облаках она должна быть больше.

Приведенная карта большей части Ленинградской области с нанесенной продолжительностью действия смерчей и других данных в 14 пунктах (рис. 1) позволяет провести пространственно-временной анализ

перемещения смерчей. Их перемещение происходило против хода часовой стрелки с юга области на восток и затем на северо-запад через Ладожское озеро. Получается, что расстояние в 130 км над озером (метеостанций над ним нет) он преодолел за 1 час 10 минут. Над озером смерч усилился, поскольку перемещаясь над более теплой водой по сравнению с воздухом (это наблюдается ночью во второй половине лета), он получил дополнительное развитие и обрушился на район Сосново со скоростями ветра более 30 м/с.

Проведенные на карте изохронны через 1 час (22, 23 и 00 часов) показывают, что ливни с грозами от Любани и Тосно перемещались не только на восток к Киришам и Тихвину, но на север к СПб. Там над большим городом остров тепла и его смещение под влиянием ветра к северу способствовало более раннему развитию конвективных явлений. Поэтому изотакха 23 часа сильно искривлена.

Развитие мезовихрей происходило следующим образом. Вечером 29.08.2010 г. после аномально жаркой погоды в 30°C к юго-западным районам Ленинградской обл. подошел холодный фронт (ХФ), который первоначально был ориентирован вдоль меридиана 25° в.д. и должен был смещаться на северо-северо-запад. В течение дня 29.08. 2010 г. в тыл этого фронта поступал холодный воздух, и фронт стал разворачиваться в широтном направлении. По данным геостационарного спутника, в 19 час 30 мин. 29.08.2010 г. у слабо выраженной волны на ХФ над востоком Новгородской области стало активно развиваться яркое облако овальной формы. В 20 час 25 мин метеорологический радиолокатор показал, что в этом облаке возникли грозы и образовался град. При этом верхняя граница облака превысила высоту 15 км. Именно такая большая высота верхней границы обусловила интенсивные осадки в виде дождя и града. Одновременно метеорологические станции Новгородской области стали отмечать электрические разряды в виде молний. К сожалению, эти станции располагались в стороне от пути следования смерча. Поэтому атмосферное давление на них отмечено чуть ниже нормы в 754-755 мм рт. ст., а максимальные порывы ветра зафиксированы только в 12-14 м/с, хотя в Маловишерском районе он оставил значительные разрушения в виде поваленных крупных деревьев [5], что свидетельствует о значительно больших скоростях ветра.

К 21 часу 40 мин. смерч подошел к южным районам Ленинградской области, где грозы были зафиксированы в Любани и Киришах. До северной части Волховского района смерч добрался к 22 часам 50 мин., когда метеостанция «Новая Ладога» зафиксировала грозу и максимальный порыв ветра в 23 м/с. В Шлиссельбурге отмечена гроза без ветра. В 23 часа 10 мин. смерч достиг поста «Запорожский (восток Приозерского района)», где свирепствовал почти 1 час. По характеру разрушений скорость ветра достигала 33 м/с (местами крупные деревья были вырваны с корнем).

Далее, как было указано выше, он стал перемещаться на восток к Тихвину и затем на северо-запад через Ладожское озеро к Сосново и Выборгу, которых достиг в 00 час 30.08.2010 г. Покинул смерч Ленинградскую область через поселок Лесогорский (на карте нет) в 2 часа 25 мин.

Таким образом, пространственно-временной анализ последствий действия смерчей показывает, что их было несколько. Они сопровождалась мощными электрическими разрядами, которые часто попадали в высокие деревья. Перемещались смерчи в основном вдоль шоссе, сваливая крайние деревья на него, или над водной поверхностью. В обоих случаях поверхность была ровная, а при встрече с препятствиями в виде деревьев, высота которых была 30-40 м, или возвышенностей они затухали за счет заполнения. Аналогично, на Черноморском побережье Кавказа при перемещении с Черного моря перед береговой возвышенностью они заполняются, а смещаются вдоль русел рек [2].

Так, перед возвышенностью высотой 40-50 м, расположенной в 1 км от станции Орехово на северо-запад, один из смерчей заполнился, предварительно скрутив раздвоенную вершину березы. Это и наличие повсеместных гроз свидетельствуют о том, что это был не шквал и ураган, а именно несколько смерчей с мощными электрическими разрядами.

К сожалению, заблаговременного прогноза появления смерча нет. О вероятности их возникновения можно судить только по общей синоптической обстановке. Даже оперативный прогноз затруднителен, так как смерчи возникают неожиданно и действуют всего несколько часов. Только метеорологический радиолокатор может предупредить, зафиксировав возникшие грозы.

В смерчах электрическая энергия может переходить в световую энергию, часто и без молний [3].

### Литература

1. Мазуров Г.И., Васильев В.А., Акселевич В.И. Анализ характеристики смерчей в России за полтора столетия.// «МЕТЕОСПЕКТР».- 2011.- № 4.- С. 149-155.
2. Мазуров Г.И., Медведева М.Е. Особенности развития смерчей на Черноморском побережье Кавказа и их краткосрочный прогноз. Материалы Итоговой сессии Ученого совета РГГМИ.- 2004.- С. 37-38.
3. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. СПб.: 1969. - 486 с.
4. Синькевич А.А. Конвективные облака северо-запада России. СПб.: Гидрометеиздат.- 2001.- 107 с.
5. Материалы с сайта [www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=582](http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=582)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОНВЕКТИВНОГО ОБЛАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ САМОЛЕТОВ

Михайловский Ю.П.

1 – ВКА им. А.Ф. Можайского МО РФ С-Петербург

yupalych@ya.ru

Проблему методики контроля электрического состояния конвективных облаков нельзя считать окончательно решенной. Одни исследователи считают, что только внутриоблачные измерения могут позволить достоверно судить об электрических процессах в облаках[11]. Другие, к которым относится и автор предлагаемой работы, считают, что к результатам, полученным внутри облаков, следует относиться крайне осторожно[4,6,9,10]. В частности, к получаемым значениям напряженности электрического поля (Е). Существующая методика и техника измерений Е с помощью самолетов в облаках может приводить к большим погрешностям, определяемым особенностями самолета-лаборатории (СМЛ) и условиями в исследуемом облаке[2,5,6]. Величина погрешности может в сто и более раз превышать значения Е, причем существенно, вплоть до смены знака, быстро и непредсказуемым образом меняться даже во время одного пересечения облака[6]. Но даже если проблему погрешности измерений Е в облаках и аэрозолях удастся удовлетворительно решить, возникает вопрос, могут ли отдельные пролеты сквозь облако характеризовать пространственно-временные изменения облака, как электрического генератора? На наш взгляд, при самолетных измерениях в облаке, Е определяется в первую очередь объемными зарядами, расположенными в непосредственной близости от траектории пролета и может существенно меняться при относительно небольших (сотни метров) перемещениях этих объемных зарядов относительно траектории СМЛ. Выявление на этом фоне общих закономерностей развития облака как электрического генератора может представлять собой определенные трудности[5].

С этой точки зрения более предпочтительными являются, на наш взгляд, измерения вне облака, в частности над облаком. В этом случае ход Е над облаком определяется величиной и координатами основных облачных зарядов. И по изменениям Е от пролета к пролету можно судить об изменении этих параметров основных зарядов. Значения Е вне облака уже сегодня могут быть измерены с минимальными погрешностями, сравнимыми с фоновыми значениями Е на высотах пролетов[3,6,8]. Организационные и технические сложности организации измерений вне облаков намного меньше чем облачных измерений. К тому же исключается возможность воздействия пролетов тяжелых СМЛ на развитие исследуемых облаков, особенно на ранних стадиях их развития.

Оценка параметров основного электрического генератора на основании измеренных значений Е над облаком может осуществляться как непосредственно по значениям Е над облаком, так и на основании принципов предлагаемых в [1,7]. Предварительные испытания алгоритмов и программ показали устойчивость результатов оценок некоторых параметров электрической структуры облака (дипольного момента) к случайным ошибкам измерения Е и реалистичность получаемых данных при обработке натуральных измерений[1].

В свете сказанного выше становится ясным значение одновременных синхронных исследований одного и того же облака несколькими самолетами, выполненных при пролетах вне облака на различных высотах. Совпадение или похожие изменения полученных каждым самолетом характеристик электрического состояния исследуемого облака докажет правильность выбранной методики контроля. Важную роль играет также возможность синхронного контроля характеристик радиолокационной отражаемости исследуемого облака и сопоставление пространственно-временных вариаций ядра отражаемости с параметрами основного электрического генератора.

Представлены результаты исследования электризации одиночного изолированного конвективного облака двумя самолетами (АН – 12 «Циклон» и ИЛ – 18 «Взлет») одновременно. Каждый самолет был оборудован системой приборов для измерения напряженности электрического поля (АН – 12 был оборудован 4-мя самолетными приборами для измерения напряженности электрического поля (СПНП), ИЛ – 18 – 6-ю). АН – 12, кроме того, был оборудован бортовым метеолокатором (БМР), позволявшим получать радиолокационные сечения облака по трассе полета при пролете над ним.

В докладе анализируются и обсуждаются закономерности изменения электрических, радиолокационных и других контролировавшихся в эксперименте параметров облака. На основании одновременных измерений напряженности электрического поля при различных превышениях над облаком обсуждается вопрос о наличии т.н. «экранирующих слоев».

## Литература

1. Анискина О.Г., Михайловский Ю.П., Пачин В.А. О расчете параметров, характеризующих электрическое состояние облаков по измерениям напряженности электрического поля. 4 ВС. симпозиум по Атм. Эл-ву, Нальчик, с. 13-14, 1990.
2. Имянитов И.М., Электризация самолетов в облаках и осадках., ГМИ., Л., 385 с., 1976
3. Мартынов А.А., Михайловский Ю.П. Результаты самолетных измерений атмосферного электричества в Арктике весной 1989 г.. 4 ВС. симпозиум по Атм. Эл-ву, Нальчик, с. 62-63, 1990.
4. Михайловский Ю.П., Б.А. Белов, Б.Ф. Евтеев, Ю. О точности измерений напряженности электрического поля и заряда самолета, Проблемы атм. эл-ва, ГМИ, Л., 1990, с. 138-146
5. Михайловский Ю.П. О проблемах контроля электрического состояния облаков. Научная конференция институтов Росгидромета «Теоретические и экспериментальные исследования конвективных облаков», 2008, С-П, с. 28-30.
6. Михайловский Ю.П. Об измерении электрических полей в атмосфере в области крайне низких частот. Конф. По распространению радиоволн, Муром, 2012.
7. Пачин В.А. К оценке параметров электрического состояния облаков по данным о напряженности электрического поля. Труды ГГО, вып.474, 1984 г., с. 38-46
8. Anderson, R.V., and J.C. Bailey, Experimental calibrations of an aircraft vector electric field meter system, Int. Aerosp. Ground Conf., 33.1-33.13, 1986.
9. Giori, K.L., J.E Nanevycz, and M.J Baron, Comparison of the electrical charging and discharging environments of multiple aircraft-borne electric-field measurement system, paper presented at the International Conference on Lightning and Static Electricity, Atlantic City, N.J., 1992.
10. Jones, J., Electrical emissions of airplanes flying in electrified clouds and their effect on airplane measurements of cloud electric field, paper presented at the International Conference on Lightning and Static Electricity, Cocoa Beach, Fla, April 16-19, 1991.
11. Stolzenburg M., W.D. Rust and T.C. Marshall (1998), Electrical Structure in Thunderstorm Convective Regions. J. Geoph. Res., 103, 14, 097, doi:10.1029/97JD03545

## К ПРОБЛЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОБЛАКОВ РАДИОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Михайловский Ю.П.<sup>1</sup>, Ефременко А.Н.<sup>1</sup>, Жуков В.Ю.<sup>1</sup>, Кашлева Л.В.<sup>2</sup>, Караваев Д.М.<sup>1</sup>, Щукин Г.Г.<sup>1</sup>

*1 – ВКА им. А.Ф. Можайского МО РФ С-Петербург;*

*2 - Российский Государственный гидрометеорологический университет С-Петербург  
yuralych@ya.ru*

Дистанционный контроль электрической опасности облаков с целью обеспечения безопасности полетов авиации и других летательных аппаратов в настоящее время осуществляется с помощью метеорологических радиолокаторов (МРЛ), используя вероятностно-статистические радиолокационные критерии грозоопасности [2, 11]. Выполненный в 70-х годах анализ показал, что более чем в 80% случаев, поражения самолетов молниями происходили в облаках, которые не классифицировались как грозовые [1, 5]. В дальнейших исследованиях выяснилось, что собственный электрический заряд самолета, искажение самолетом электрического поля облака, сильно ионизованные струи двигателей или разрядников самолета могут спровоцировать появление электрических разрядов в негрозовых облаках, в том числе и единственного на самолет [1,5,6,13]. При этом электрическое состояние облака (плотность объемных зарядов, напряженность электрического поля) должно быть таким, чтобы «спровоцированный» разряд мог развиваться [1,6,.13]. Обнаружение таких облаков с помощью технических средств, детектирующих радиоизлучение молний невозможно. Существующие вероятностно-статистические радиолокационные критерии грозоопасности также малопригодны для таких условий, так как они построены на основе исследований мощных грозовых облаков [1,2,5,8]. Актуальна и практически значима разработка новых критериев электроопасности облаков базирующихся на физических механизмах электризации конвективных облаков и применимых на всех стадиях развития облака.

В настоящее время большинство ученых занимающихся проблемами электризации облаков как у нас в стране, так и за рубежом считают основным механизмом электризации облака столкновения крупных и мелких ледяных частиц в присутствии переохлажденной воды [4,9,14]. В многочисленных лабораторных экспериментах показано, что при столкновениях ледяных частиц различных размеров и с различными свойствами поверхности (кристаллы, крупа, град) на частицах появляются заряды, величина которых достаточна для объяснения токов электризации облака [14]. Отсюда следует важное предположение, используемое в рабочей гипотезе, и состоящее в том, что электризация происходит в основном в переохлажденной части облака и при достаточном количестве кристаллов определяется количеством и размерами крупных ледяных частиц, т.к. именно эти параметры определяют количество столкновений крупных и мелких частиц и, соответственно, разделяющийся заряд. С другой стороны, учитывая, что основным механизмом осадкообразования конвективных облаков, особенно в наших широтах, является механизм Бергерона-Финдайзена, т.е. через ледяную фазу, отражаемость переохлажденной части конвективного облака также определяется в основном количеством и размерами крупных ледяных частиц. Что позволяет надеяться на наличие высокой корреляции отражаемости переохлажденной части облака и интенсивности электризации.

Для проверки этого тезиса была проведена серия самолетных экспериментов с конвективными облаками, в которых контролировались процессы электризации, кристаллизации и осадкообразования исследуемых облаков [3,4,9,10]. Параметры облака контролировались синхронно и единообразно при пролетах самолета над облаком прямым и обратным курсом с превышением 100-500 метров. Электризация облака контролировалась по напряженности электрического поля  $E$  над облаком, измеряемой с помощью системы датчиков, размещенных на СМЛ; осадкообразование, т.е. образование и перемещение крупных частиц в облаке и под ним, контролировалось по отражаемости  $Z$ , измеряемой либо специальным самолетным, либо наземным, либо обоими радиолокаторами кристаллизация частиц контролировалась с помощью самолетного СВЧ-радиометра (измерялся водозапас переохлажденной части облака), по распределению температуры по высоте в атмосфере  $T$  и визуально по внешнему виду вершины [4,7,12]. Контролировалось также время жизни облака, от момента появления его на экране радиолокатора, и другие параметры облака и атмосферы [3,4]. Для исследования выбирались изолированные, одноячейковые, долгоживущие облака. Заходы самолета в облако, даже кратковременные, были исключены с тем, чтобы обеспечить минимальные погрешности измерения  $E$  и минимальные воздействия используемых СМЛ на развитие исследуемых облаков [4]. В результате для каждого эксперимента (облака) мы получали серию высокоточных измерений вышеперечисленных параметров для конкретного состояния атмосферы, характеризуемого аэрологической диаграммой. Количество пролетов по исследованию каждого облака составляло от 1 до 20, а общее количество исследованных облаков превышает 50.

При анализе полученных результатов удалось выделить общие закономерности развития

электризации конвективных облаков, подтверждающие определяющую роль крупных ледяных частиц в электризации конвективных облаков, а именно:

процесс электризации облака может начаться, т.е.  $E$  над облаком существенно превысит фоновые значения на данной высоте, только тогда, когда в облаке появится значительная переохлажденная часть, в этой зоне начнется процесс кристаллизации и появятся крупные частицы, фиксируемые самолетным радиолокатором[4,9].

обнаруженная закономерность смены знака  $E$  над облаком в процессе его развития может быть убедительно объяснена изменением структуры отражаемости переохлажденной части облака, а именно – опусканием зоны с максимальной отражаемостью относительно вершины облака [4,9].

на стадии развития наиболее тесная, близкая к линейной, статистическая связь наблюдается между  $E$  и интегралом (суммой) отражаемости по части сечения облака площадью  $S_{35}$ , которая расположена выше нулевой изотермы и отражаемость в которой выше 35 dBZ [4,9].

рандомизированный эксперимент по воздействиям на электрическое состояние конвективных облаков показал, что эта связь сохраняется как при воздействиях с целью усиления электризации, так и ослабления. Эффект воздействия проявляется при анализе связей  $E$  и  $Z$  с высотой облака и развития электризации и осадкообразования во времени[4,10]. Таким образом, альтернативно воздействуя льдообразующим реагентом на осадкообразование, мы получали соответствующее изменение электризации.

Эти основные результаты убедительно, на наш взгляд, подтверждают гипотезу о решающей роли контактного механизма «лед-лед» в электризации конвективного облака по крайней мере на догрозовой стадии. Анализ результатов экспериментов подтверждает гипотезу, что мощность механизма электризации облака на до-грозовой стадии определяется количеством и размерами крупных ледяных частиц. Что позволяет рекомендовать использовать при анализе интеграл отражаемости по переохлажденной части облака в качестве усовершенствованного радиолокационного критерия ЭСО не дающих разрядов.

В экспериментах показано, что уменьшение водозапаса переохлажденной части облаков, контролируемое СВЧ-радиометром, установленным на СМЛ, указывает на начало процессов кристаллизации переохлажденной части и, соответственно, на начало процесса электризации облака. Что указывает на возможность использования этой информации при оценке электрического состояния облаков.

В работе на основе анализа результатов комплексных экспериментальных исследований атмосферы и облаков дистанционными радиотехническими методами с помощью самолетных и наземных радиотехнических средств предложены новые критерии оценки мощности механизма электризации конвективных облаков. Критерии основаны на экспериментально подтвержденной гипотезе о том, что мощность механизма электризации облака определяется количеством и размерами крупных ледяных частиц, а эти параметры могут быть оценены современными дистанционными радиотехническими средствами.

## Литература

1. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Евтеев Б.Ф., Камалдина И.И. Характеристики электрически активных зон в слоистообразных облаках. ГМИ., Л., 1989, 159 с.
2. Гальперин С.М., Степаненко В.Д. Радиотехнические методы исследования гроз. Л., 1983, 204с.
3. Гальперин С.М., Михайловский Ю.П., Стасенко В.Н., Фролов В.И. Сопоставление результатов самолетных измерений напряженности электрического поля конвективных облаков с их радиолокационными характеристиками. Труды НИЦДЗА, 2005, Вып. 6 (554), с. 134-149.
4. Гальперин С.М., Ю.П. Михайловский, Л.В. Кашлева, В.Д. Степаненко. Электризация конвективных облаков в естественном цикле развития и при активных воздействиях. (Самолетные исследования. Проблемы атмосферного электричества. Л., Гидрометеиздат, 1990, с. 89-112.
5. Имянитов И.М., Евтеев Б.Ф., Камалдина И.И. О причинах, приводящих к поражению самолетов молниями в холодное время года. Методическое письмо, Л., Гидрометеиздат, 1976 г.
6. Имянитов И.М., Чубарина Е.В., Павлова Г.П., Пономарев Ю.Ф. Анализ условий поражения самолета атмосферно-электрическим разрядом вне кучево-дождевых облаков. Труды ГГО., 1980, Вып. 424, С. 3-5.
7. Караваев Д.М., Щукин Г.Г., Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках. -Труды НИЦ ДЗА, "Прикладная метеорология", 2004. вып.5 (553), с 99-120.
8. Михайловский Ю.П. О связях электрических и радиолокационных характеристик конвективных облаков и возможности диагноза и сверхкраткосрочного прогноза электрически опасных зон на предгрозовой стадии. VI Всероссийская конференция по Атмосферному электричеству. Владимир, 2003.

9. Михайловский Ю.П. Эмпирическая модель электрически активных конвективных облаков и возможности ее использования для тестирования численной модели // Труды НИЦ ДЗА. 2002. №5 (552). С. 66 -75.

10. Михайловский Ю. П., Кашлева Л. В., Гальперин С. М., Караваев Д. М., Щукин Г. Г. Активные воздействия на электрическое состояние облаков и контроль их результатов Труды юбилейной конференции по активным воздействиям, Чебоксары, 1998.

11. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии. Л. Гидрометеиздат. 1973, 343с.

12. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. Л., Гидрометеиздат, 1987, 283с.

13. Mazur V. Lightning Initiation on Aircraft in Thunderstorm. Proc. 8th Intern. Conf. Atmosph. Electricity. Uppsala. 1988. p.347-357.

14. Pruppacher M.K., Klett J.D., 1997, Microphysics of Clouds and Precipitation. 2<sup>nd</sup>. edn. Oxford Press, 914p.

## О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЛАКАХ И АЭРОЗОЛЯХ

Михайловский Ю.П.<sup>1</sup>, Кашлева Л.В.<sup>2</sup>

1 – ВКА им. А.Ф. Можайского МО РФ С-Петербург;

2 - Российский Государственный гидрометеорологический университет С-Петербург  
[yurpalych@ya.ru](mailto:yurpalych@ya.ru)

Измерения напряженности электрического поля (Е) в облаках, проводимые с помощью самолетов, ракет, зондов и других средств, широко используются в исследованиях физики облаков. Результаты этих измерений служат основой построения физико – математических моделей процессов электризации в облаках. Между тем как методику измерений Е в облаках и аэрозолях нельзя назвать достаточно проработанной и погрешности измерений Е с помощью прошлого поколения самолетов-метеолaborаторий (СМЛ), например СМЛ проекта «Циклон», могут в сотни раз превышать значения измеряемой величины. И эта погрешность может существенно меняться даже во время отдельно взятого пролета сквозь облако, вплоть до знака. Целью настоящей работы является анализ возможных источников систематических ошибок измерений Е в облаках с помощью самолетов и обсуждение путей преодоления существующих проблем.

Основоположником самолетных измерений Е у нас в стране следует считать И.М. Имянитова [ 2 ]. Проблема самолетных измерения Е в атмосфере заключается в том, что самолет, или другой носитель, существенно искажают измеряемое электрическое поле. Искажения вызываються самолетом, как металлическим телом сложной формы имеющим к тому же собственный электрический заряд. Эти искажения можно учесть, разместив на самолете в определенных точках на фюзеляже несколько датчиков (Рис. 1), и определив для каждого из них коэффициенты искажения измеряемого внешнего поля и поля заряда самолета [ 2 ]. В предположении, что поверхность самолета эквипотенциальна и измеряемое электрическое поле однородно, напряженность электрического поля **Е**, измеренную *i*-м датчиком можно представить

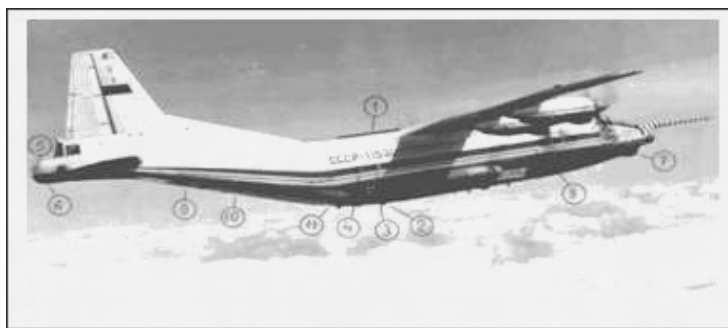


Рисунок 1. Схема размещения оборудования на СМЛ АН-12 №11530  
1,2,3,5 – соответственно верхний, нижний, боковой и хвостовой датчики СПНП; 4 – острие АК; 6 – антенна БМР; 7 – антенна БМР; 8 – датчик метеорографа; 9,10,11 – средства воздействия (АСО-2И, КДС-155. транспортер)

$$i^S = f_i(k_{ix}, k_{iy}, k_{iz}, k_{iq}, E_x, E_y, E_z, Q) \quad (1)$$

Или в матричной форме

$$\mathbf{E}^S = \mathbf{K} \mathbf{E}^{EQ} \quad (2)$$

Где:  $\mathbf{E}^{EQ} = (E_x, E_y, E_z, Q)$ ;  $E_x, E_y, E_z$  есть ортогональные компоненты измеряемого вектора  $\mathbf{E}$  в системе координат самолета,  $Q$  есть собственный заряд самолета, создающий на фюзеляже в точке  $i$  напряженность  $E_i^Q = Q k_{iq}$ ,  $k_{ix}, k_{iy}, k_{iz}, k_{iq}$  есть коэффициенты формы для  $i$ -го датчика. Решая (2) относительно  $\mathbf{E}^{EQ}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) получим

$$\mathbf{E}^{EQ} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{E}^S \quad (3)$$

Или, для  $i = 1, \dots, n$  и  $j = x, y, z, q$

$$E_j^{EQ} = F_j(k_{1j}, k_{nj}, E_1^S, \dots, E_n^S) \quad (4)$$

Погрешность измерения  $E$  при этом определяется размещением датчиков на фюзеляже, погрешностями определения коэффициентов формы, величиной собственного заряда самолета и погрешностями датчиков [3, 4]. Напряженность поля, создаваемая зарядом самолета, зависит от высоты полета и режима работы двигателей. Следовательно погрешность остается постоянной при неизменности этих параметров и может быть учтена и минимизирована [3-7].

Совсем другая ситуация при измерениях  $E$  в облаках и аэрозолях. Допущения об эквипотенциальности фюзеляжа и однородности поля нарушаются. И.М. Имянитов, на основании собственных самолетных измерений внутри облаков, полагал, что в облаке существуют электрические неоднородности размерами сотни и даже десятки метров. Плотность объемных зарядов в этих неоднородностях существенно превышает среднюю плотность зарядов в облаке и именно эти неоднородности ответственны за появление молний [2]. При использовании существующей методики измерения  $E$  в этом случае появляется систематическая ошибка пропорциональная степени неоднородности электрического поля.

Но гораздо большие погрешности вносят т.н. «искусственные» неоднородности. Они образуются вследствие столкновения и последующего отскока частиц облака от фюзеляжа самолета. Столкновение и перезарядка частиц облака происходит в основном в передней части фюзеляжа и на передней кромке крыльев. Эти перезарядившиеся частицы образуют заряженные слои в непосредственной близости от приборов для измерения  $E$ , расположенных на фюзеляже. Геометрические размеры слоев и распределение плотности объемных зарядов в них зависят от большого количества характеристик как исследуемого облака в момент пролета (водность, размеры частиц, фазовое состояние, температура), так и самолета (особенности геометрии самолета, угол тангажа, материал покрытия зоны контактов атмосферных аэрозолей с фюзеляжем, состояние этого покрытия, скорость самолета). Эти характеристики могут существенно меняться во времени и пространстве даже во время отдельного единичного пересечения облака. Соответствующим образом будет меняться и систематическая погрешность измерений  $E$ .

Эксперименты в натуральных условиях и в аэрозольной аэродинамической трубе показали, что токи заряжения в зависимости от вида эмали, используемой для покрытия фюзеляжа, могут меняться в 100 и более раз [1]. Причем, например, нитроцеллюлозные и этилцеллюлозные покрытия дают разные знаки заряжения ледяных кристаллов. Особенно сильно заряжаются диэлектрические части фюзеляжа [1]. Равновесный заряд пробного тела из текстолита почти в 1000 раз больше заряда пробного тела из дюралю, покрытого слабопроводящим покрытием. Эксперименты показали, что ток зарядки в жидкокапельных облаках может достигать 100 мкА. В ледяных облаках и в облаках со смешанной фазой этот ток может составлять более сотни миллиампер [1]. Если предположить, что заряд, переносимый этим током, равномерно распределен по плоскости, то для скорости полета 600 км/час и размаха крыльев 20 м., над датчиками плотность поверхностного заряда составит около 30 мкК/м<sup>2</sup>, что соответствует напряженности электрического поля превышающей 10<sup>6</sup> В/м.

Другой источник существенных погрешностей измерений в облаках это диэлектрические части фюзеляжа. Общеизвестен факт, что при полетах в переохлажденных облаках разность потенциалов между фюзеляжем и диэлектрическими фрагментами, например остеклением кабины пилотов, обтекателем самолетной РЛС и другими, регулярно достигает пробойных значений и возникают разряды [1,2]. Если этот фрагмент находится неподалеку от датчика, например датчика «1» на Рис. 1, он будет вносить дополнительную систематическую погрешность, которая сложным и неконтролируемым образом меняется в зависимости от характеристик облачной среды в точке измерения. Так как потенциалы диэлектрических частей достигают пробойных значений, то и значения погрешностей могут исказить измеряемое поле до неузнаваемости.

Кроме диэлектрических фрагментов источниками нарушения эквипотенциальности фюзеляжа могут становиться металлические части фюзеляжа (различные обтекатели, антенны и пр.). При наличии даже слабого обледенения эти детали ведут себя как диэлектрические и создают те же проблемы, что описаны выше. Во время проведения экспериментальных работ на самолете ИЛ-14 по поиску



электрически опасных зон в слоистообразной облачности автор лично наблюдал такой факт. Во время одного из пролетов внутри облака были зафиксированы аномально высокие значения вертикальной составляющей  $E$ . Но насторожило отсутствие соответствующих изменений продольной и поперечной составляющих  $E$ . По указанию руководителя самолет вышел из облачности, но верхний датчик продолжал показывать значение  $E$  около 10 000 В/м. Датчик был снят прямо в полете и обнаружилось, что на части датчика, выступающей из фюзеляжа, намерз небольшой слой льда, который и давал такое значение  $E$  даже вне облака. После того, как лед убрали и датчик поставили на место, все стало работать нормально.

Таким образом, при измерениях  $E$  в облаках и аэрозолях возникают источники систематических погрешностей, обусловленные взаимозарядением самолета и его отдельных частей и облачных частиц. Величина погрешности может существенно (на порядок и более) превышать измеряемые значения  $E$  и при этом достаточно быстро и неконтролируемым образом меняться в процессе измерения. Электрическое поле, измеряемое каждым из размещенных на фюзеляже датчиков в облаках, является суперпозицией полей обусловленных: - электрическим полем основных зарядов облака; - зарядом самолета; - зарядом частиц, перезарядившихся при контакте с самолетом; - зарядом частей фюзеляжа, имеющих потенциал, отличный от потенциала фюзеляжа. Методика измерений  $E$  в облаках должна позволить разделить эти источники или, по крайней мере, оценивать вклад последних двух факторов в показания каждого из датчиков. Этих целей можно добиться, на наш взгляд, увеличением количества датчиков и размещением, минимизирующим влияние дополнительных источников погрешностей. Например, на носовой штанге (см. Рис. 1). Увеличивая количество датчиков можно сделать систему (аналог (2)) переопределенной и решать ее приближенными методами.

Все вышесказанное относится не только к самолетным методам. Взаимодействие измерительных систем и облачных частиц обязательно приводит к возникновению вышеупомянутых проблем. В частности, зондовые измерения  $E$  внутри облаков [ 8 ] могут существенно искажаться зарядением шара, троса и самого прибора. Особенно при наличии обледенения. Мы считаем вполне вероятным, что наблюдаемые в этих измерениях изменения  $E$  выше нулевой изотермы обусловлены не столько изменением электрического поля основных облачных зарядов, как это обычно трактуется, сколько особенностями зарядения частей измерительной системы и частиц облака.

В заключение хотелось бы призвать коллег относиться к уже имеющимся и вновь получаемым результатам по измерениям  $E$  внутри облаков с особой осторожностью, с учетом вышесказанного. Измерения  $E$  внутри облаков уже явились причиной появления спорных физических гипотез и это может продолжаться. Особенно если учитывать уникальность таких измерений и сложности с оценкой ошибок этих измерений.

### Литература

1. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Евтеев Б.Ф., Камалдина И.И. Характеристики электрически активных зон в слоистообразных облаках. ГМИ., Л., 1989, 159 с.
2. Имянитов И.М., Электризация самолетов в облаках и осадках., ГМИ., Л., 385 с., 1976
3. Михайловский Ю.П., Б.А. Белов, Б.Ф. Евтеев, Ю. О точности измерений напряженности электрического поля и заряда самолета, Проблемы атм. эл-ва, ГМИ, Л., 1990, с. 138-146
4. Михайловский Ю.П. О проблемах контроля электрического состояния облаков. Научная конференция институтов Росгидромета «Теоретические и экспериментальные исследования конвективных облаков», 2008, С-П, с. 28-30.
5. Anderson, R.V., and J.C. Bailey, Experimental calibrations of an aircraft vector electric field meter system, Int. Aerosp. Ground Conf., 33.1-33.13, 1986.
6. Giori, K.L., J.E Nanevicz, and M.J Baron, Comparison of the electrical charging and discharging environments of multiple aircraft-borne electric-field measurement system, paper presented at the International Conference on Lightning and Static Electricity, Atlantic City, N.J., 1992.
7. Jones, J., Electrical emissions of airplanes flying in electrified clouds and their effect on airplane measurements of cloud electric field, paper presented at the International Conference on Lightning and Static Electricity, Cocoa Beach, Fla, April 16-19, 1991.
8. Stolzenburg M., W.D. Rust and T.C. Marshall (1998), Electrical Structure in Thunderstorm Convective Regions. J. Geoph. Res., 103, 14, 097, doi:10.1029/97JD03545

## ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ПОЛЯРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ВОЗДУХА НА СТАНЦИИ ВОСТОК (АНТАРКТИДА)

Михайловский Ю.П.<sup>1</sup>, Попов И.Б.<sup>2</sup>, Стерхов П.Л.<sup>2</sup>

1 – ВКА им. А.Ф. Можайского МО РФ С-Петербург;

2 – Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург  
yurpalych@ya.ru

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ГГО) осуществляет функции мирового центра данных по Атмосферному электричеству. В СССР усилиями ГГО была создана сеть станций по наблюдению за параметрами электрического поля Земли, которая в сокращенном виде существует в настоящее время как сеть Росгидромета, состоящая из 4-х пунктов. Помимо этих сетевых измерений силами ГГО периодически организовывались экспедиционные измерения параметров атмосферного электричества в Арктике (самолетные и наземные) [3,5], на кораблях [2] и в Антарктике. Все эти измерения объединены техническими средствами, прошедшими метрологическую аттестацию, и методикой, выдержавшей проверку временем. В силу известных причин измерения на станции Восток, проведенные П.Л. Стерховым в 1989 – 1992 годах, были неизвестны научной общественности. Анализ полученных результатов не закончен, но некоторые предварительные результаты могут быть представлены.

Одним из основных вопросов атмосферного электричества является проблема глобальной электрической цепи (ГЭЦ) [4,8]. В рамках грозовой гипотезы Вильсона, господствующей до настоящего времени, глобальным генератором электрического поля атмосферы являются грозы. Основным экспериментальным доказательством существования ГЭЦ и роли гроз в этой цепи является глобальное синхронное изменение потенциала ионосферы и, следовательно, напряженности электрического поля в атмосфере (Е) и суммарной мощности грозовых генераторов. Унитарный характер суточного хода Е впервые был обнаружен Карнеги над океаном и в настоящее время существование глобальных вариаций Е не ставится под сомнение [6,8,10]. Синхронность унитарной вариации Е и глобальных характеристик грозовой деятельности – площади, занятой грозами или количеством гроз в данное время или количеством разрядов молний, фиксируемых оптическими датчиками со спутников – подтверждают гипотезу Вильсона [6,7,9]. В то же время количество предлагаемых гипотетических генераторов неуклонно растет [8,10]. Поэтому роль измерений атмосферно-электрических характеристик в таком уникальном регионе как Антарктика бесценна. Унитарная вариация Е должна проявляться в этих измерениях в ежедневных измерениях. В то же время проявления других гипотетических генераторов, например, планетарного электрического генератора, обусловленного нетвердотельным характером вращения плазменной оболочки планеты и ионосферно-магнитосферного источников, должны проявляться в этом регионе максимально отчетливо.



Рис.1 Размещение сооружений и оборудования на станции «Восток»

Как уже отмечалось, измерения на станции Восток осуществлялись с помощью методик и приборов ГГО. Для измерения Е на 2-х уровнях (0 и 1.8 м) использовались электростатические флюксометры «Поле-2», для измерения положительной и отрицательной электропроводности воздуха на высоте 1.8 м. использовался аспирационный конденсатор «Электропроводность» [2]. Непрерывная регистрация измерений на самописец «КСП – 12» каждого параметра осуществлялась раз в 72 секунды. Регулярно раз в сутки или по необходимости проводился контроль чувствительности приборов согласно инструкции по эксплуатации. Схема размещения приборов и зданий приведена на рис.1. Датчики были размещены таким образом, чтобы минимизировать влияние на датчики других датчиков и антенн, строений и выбросов дизель-генераторов.

Кроме параметров атмосферного электричества для анализа использовались также: данные магнитной обсерватории «Восток» (индукция (В) и 3 компоненты вектора напряженности магнитного поля (Z, H, D), данные об облачности, скорости и направлении ветра, видимости, наличия в воздухе ледяных кристаллов, угле солнца над горизонтом.

Измерение  $E$  в двух уровнях должно позволить получить новые данные в исследованиях электродного эффекта. Предварительный анализ показал существенные различия значений  $E$ , измеренных 2-мя датчиками. Кроме того, такое расположение позволяло отличать относительно высокочастотные колебания  $E$  вызванные «поземкой» от аналогичных, вызываемых процессами в атмосфере или в более высоких слоях [1]. В данных за январь наблюдалось проявление в измерениях унитарной вариации. Причем характерные суточные изменения проявляются практически в каждом отдельном измерении в условиях «хорошей погоды» (Рис. 2.). При этом наблюдается отрицательная корреляция  $E$  с высотой солнца над горизонтом и ходом отрицательной проводимости воздуха (Рис.2.).

Для исследования связей параметров электрического поля с магнито-ионосферными явлениями были отобраны случаи синхронных измерений электрических и магнитных полей. Детальный анализ взаимосвязей не закончен, предварительно установлена отрицательная корреляция  $E$  с  $B$ ,  $H$ ,  $D$  и отсутствие корреляции с  $Z$ .

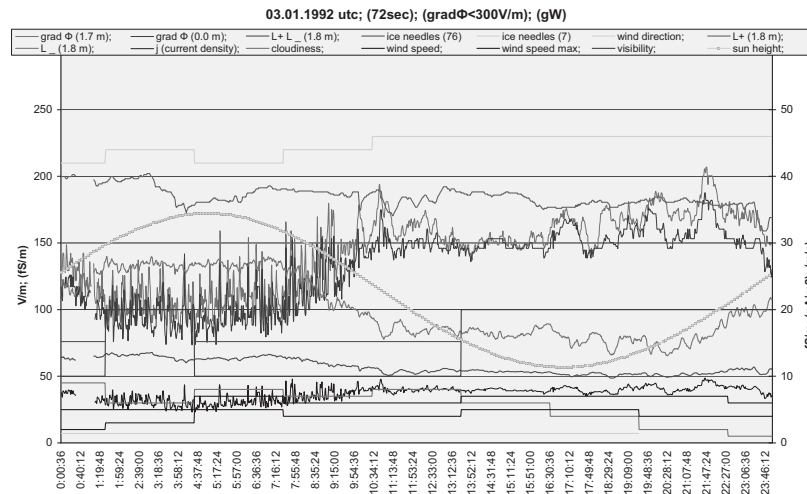


Рис. 2. Результаты суточных измерений атмосферно-электрических характеристик и сопутствующих параметров.

Целью работы являлось ознакомление научной общественности с фактом существования значительного объема (более 2-х лет непрерывных измерений) материалов по измерениям параметров атмосферного электричества на станции «Восток» в Антарктиде, полученных учеными ГГО, использовавшими приборами и методикой и предварительными результатами анализа.

### Литература

1. Анисимов С.В., Н.М.Шихова Вариабельность электрического поля невозмущенной атмосферы средних широт. Геофизические исследования. Вып.9, с.3-23
2. Ваюшина Г.П., Легашов И.М., Шварц Я.М. Наблюдения атмосферного электричества над океаном как часть общей системы регулярных атмосферно-электрических наблюдений. // Вопросы атмосферного электричества. 1990, ГМИ, Л. - С. 158-167
3. Имянитов И. М., Павлюченков Г.Ф., Чубарина Е.В., Шварц Я.М. Электрические характеристики атмосферы над Арктикой. Атмосферное электричество, ГМИ, Л., 1976, с.87-92
4. Имянитов И.М., Колоколов В.П. Проблема происхождения электрического поля атмосферы и современные представления об атмосферном электричестве. Атмосферное электричество, ГМИ, Л., 1976, с.5-22
5. Мартынов А.А., Михайловский Ю.П. Результаты самолетных измерений атмосферного электричества в Арктике весной 1989 г.. 4 ВС. симпозиум по Атм. Эл-ву, Нальчик, с. 62-63, 1990.
6. Mach D, R. J. Blakeslee, M. J. Bateman, J. C. Bailey Global Electric Circuit Diurnal Variation Derived From Storm Overflight and Satellite Optical Lightning Datasets. XIV Int. Conf. Atmos. Elec., 2011, Brasiel
7. R. Markson Measurement of the Global Circuit. XIV Int. Conf. Atmos. Elec., 2011, Brasiel
8. Anisimov S, S.S. Davydenko, E.A. Mareev Modern Understanding of the Global Circuit Formation. XIV Int. Conf. Atmos. Elec., 2011, Brasiel
9. R. Blakeslee R, D. M. Mach, M. J. Bateman, J. C. Bailey Summary of Almost 20 Years of Storm Overflight Electric Field, Conductivity, Flash Rate, and Current Statistics. XIV Int. Conf. Atmos. Elec., 2011, Brasiel
10. Corney R.C., Burns G.B., Michael K., Frank-Kamenetsky A.V., Troshichev O.A. et al The influence of polar-cap convection on the geoelectric field at Vostok, Antarctica. J of Atmospheric and Solar - Terrestrial Physics, 2003, vol.65.p345-354.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.И.  
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону  
georgpu@rambler.ru

Среди фундаментальных проблем атмосферного электричества центральной является проблема существования Глобальной электрической цепи (ГЭЦ). В ГЭЦ формируются условия для поддержания электрического поля атмосферы и протекания атмосферно-электрического тока. До настоящего времени остается актуальным выяснение природы и уточнение роли глобальных генераторов атмосферно-электрического поля, оценка воздействия глобальных и локальных генераторов на электрические процессы в приземном слое атмосферы, вклад различных механизмов переноса зарядов в токовый баланс [1].

В результате теоретического исследования электродного слоя атмосферы [2,7,9,10,14] получены представления о закономерностях распределения атмосферно-электрических характеристик вблизи земной поверхности, определены наиболее значимые для электрического состояния факторы среди множества действующих. Однако ответить на вопрос о том, как часто реализуется та или иная физическая ситуация в атмосфере можно только при проведении комплексного эксперимента, включающего в себя измерения вертикальных профилей атмосферно-электрических параметров и контроль факторов, определяющих протекание электрических процессов в нижней атмосфере. Известно, что существенное влияние на электрическую структуру приземного слоя оказывают вариации интенсивности ионообразования [12] и концентрации аэрозольных частиц [8] в атмосфере, которые в свою очередь связаны со свойствами и состоянием подстилающей поверхности в каждом пункте. Особую роль в формировании электрического состояния приземного слоя играет турбулентное перемешивание [6], которое является причиной периодических возмущений в соответствии с определенными ритмами пульсаций метеорологических параметров, в том числе с суточным режимом их колебаний, имеющим свои особенности в каждом пункте наблюдений. Все это обуславливает сложное распределение по высоте концентрации ионов различных групп и напряженности электрического поля вблизи земной поверхности, тем самым, определяя профиль плотности тока проводимости. В слое, где ток проводимости изменяется с высотой, образуется объемный заряд легких ионов. При наличии аэрозоля происходит адсорбция заряда легких ионов и формируется суммарный объемный заряд ионов различных подвижностей, который в среднем на порядок выше объемного заряда легких ионов. Заряженный аэрозоль длительное время накапливается в атмосфере в условиях отсутствия турбулентного перемешивания или переносится воздушными потоками при развитой турбулентности. Механический перенос зарядов осуществляется посредством конвекции и диффузии (турбулентной и молекулярной), причем вклад каждого механизма определяется интенсивностью соответствующего процесса [3,4,11].

С целью изучения процессов переноса электрического заряда в приземном слое атмосферы в экспедициях в ряде пунктов Ростовской области проведен комплексный полевой эксперимент, включающий в себя измерения элементов атмосферного электричества: градиента потенциала электрического поля атмосферы, удельных полярных проводимостей воздуха, плотности полного вертикального электрического тока и плотности тока механического переноса из атмосферы на земную поверхность [5,6,13]. По значениям удельной электропроводности воздуха и градиента потенциала электрического поля на разных уровнях получены данные о плотности тока проводимости  $j_\lambda$  в атмосфере в слое до 3 метров. Значения измеряемых величин получены для каждого часа при положительных значениях градиента потенциала для всего исследуемого слоя и в отсутствие быстрых его колебаний, таким образом можно считать, что этот экспериментальный материал применим для описания стационарных условий в атмосфере.

Обнаружено, что профиль плотности тока проводимости в нижнем 3-метровом слое имеет характерную суточную трансформацию, причиной которой является закономерное изменение стратификации атмосферы и условий перемешивания в атмосфере вблизи земли в течение суток. Изменение с высотой  $j_\lambda$  в стационарном случае означает существование в исследуемом слое тока механического переноса, который также не остается постоянным по высоте.

Профили, полученные в ночные и ранние утренние часы, когда преимущественно наблюдается устойчивая стратификация атмосферы, характеризуются уменьшением плотности тока проводимости по мере удаления от земной поверхности в нижнем метровом слое. Выше этого слоя плотность тока остается практически постоянной по высоте. При неустойчивой стратификации атмосферы и интенсивном турбулентном перемешивании наблюдаются профили с максимумом плотности тока на высоте 1 м. Смена вида профиля происходит утром в 9-10 часов и вечером в 21-22 часа по местному времени.

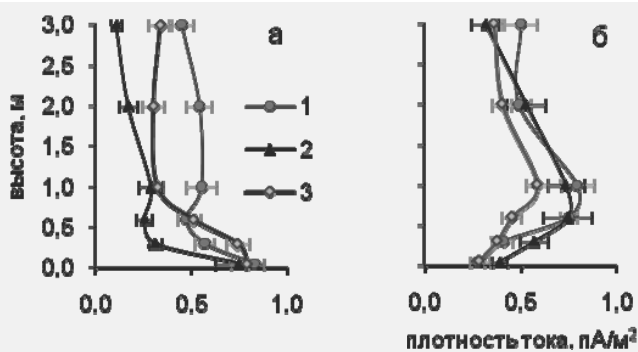


Рис.1. Вертикальные профили плотности тока проводимости в пунктах Ростовской области при устойчивой (а) и неустойчивой (б) стратификации атмосферы: 1 – Михайловка (1995-1998), 2 – Орловский (1999), 3 – Первомайское (1992-1994)

Профили плотности тока проводимости, сгруппированные для устойчивой и неустойчивой стратификации атмосферы для трех пунктов Ростовской области с учетом значений параметра стратификации  $m$  и скорости ветра на высоте 2 м  $U_{2,0}$ , показаны на рисунке 1. Для устойчивой стратификации выбрано условие  $m < 0,7$  и  $U_{2,0} < 1,5$  м/с. Профили тока проводимости при неустойчивой стратификации отбирались при условии  $m > 1,3$  и  $U_{2,0} > 2,5$  м/с. Заметно, что для каждой группы условий профили  $j_{\lambda}$  в разных пунктах имеют аналогичный вид. Установленные закономерности вертикального распределения плотности тока проводимости в электродном слое атмосферы могут быть использованы

для сравнения с результатами теоретических расчетов.

#### Литература

1. Анисимов С.В. Концепция Глобальной электрической цепи: состояние проблемы. // Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир, 2003, с.21-27.
2. Куповых Г.В., Морозов В.Н., Шварц Я.М. Теория электродного эффекта в атмосфере. Таганрог, Изд-во ТРТУ, 1998. 123 с.
3. Панчишкина И.Н., Петров А.И., Петрова Г.Г., Куповых Г.В., Петров Н.А., Кривошеев А.П. Вертикальные электрические токи в атмосфере и их роль в формировании электродинамической структуры приземного слоя Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки, 2008
4. Петров А. И., Петрова Г. Г., Панчишкина И. Н., Петров Н. А., Кривошеев А. П. Влияние процессов переноса в приземном слое на обмен зарядом между атмосферой и землей. // Сборник трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству, Н.Новгород, ИПФ РАН, 2007. С.85-87.
5. 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, №3 2010, стр. 47-52
6. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Петров Н.А. Результаты многолетних экспедиционных атмосферно-электрических исследований в приземном слое. // Известия СКНЦВШ, Спецвыпуск «Физика атмосферы», 2010, стр.73-76
7. Hoppel W.A., 1969. Electrode effect: comparison of theory and measurement, in: S.C.Coroniti and J.Hughes, Planetary Electrodynamics, 2. Gordon and Breach Science Publishers, New-York, pp.167-181.
8. Israelsson S., Measurements of surface-air space charges carried by dry wind-driven dust. J.Atmosph.Terr.Phys. 56 (12), 1994, 1551-1556.
9. Kamsali, N., Prasad, B.S.N., Datta, J. Atmospheric electrical conductivity measurements and modeling for application to air pollution studies. Advances in Space Research V.44 (9), 2009, pp.1067-1078
10. Nagaraja, K., Prasad, B.S.N., Srinivas, N., Madhava, M.S., Electrical conductivity near the Earth's surface: Ion-aerosol model. J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, V.68 (7), 2006, pp.757-768.
11. Panchishkina I.N., Petrova G.G., Petrov A.I., Kudrinskaja T.V.. Space charge generation in the atmosphere and the density of mechanical transfer current to the ground. // Atmospheric Research (Elsevier), 91 (2009), 238-243
12. 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), 91 (2009), pp.206-214
13. Petrova G.G., Petrov A.I., Panchishkina I.N., Kudrinskaya T.V. The Research of the Vertical Charge Transfer in the Atmosphere on the Basis of the Experimental Data. Proc.14th Int. Conf. Atm. Electricity, Rio de Janeiro, 2011
14. Verma, T.S., Varshneya, N.C., Thickness of electrode effect layer. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. V. 33(7), 1971, pp.975-984.

# ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОЦЕНКИ АЭРОЗОЛЬНОГО И РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ

Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В.  
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону  
georgpu@rambler.ru

Исследование возможности использования атмосферно-электрических параметров для мониторинга загрязненности атмосферы – одна из прикладных задач атмосферного электричества. При организации такого мониторинга важен подбор параметров, отслеживание которых позволило бы своевременно обнаруживать атмосферные загрязнения различного происхождения. В работах экологической направленности отмечается, что атмосферно-электрические характеристики реагируют на повышение содержания аэрозолей как естественного, так и антропогенного происхождения. При наличии в атмосфере помутняющих частиц средние значения градиента потенциала электрического поля атмосферы снижаются вплоть до перехода через ноль [4,5] и существенно возрастает изменчивость величины поля. Значения полярных концентраций легких ионов уменьшаются при увеличении содержания аэрозолей в атмосфере в результате присоединения ионов к аэрозольным частицам. Возможность использования результатов измерения электропроводности для изучения загрязнения воздушного бассейна городов и прилегающих к ним территорий индустриальными выбросами продемонстрирована в ряде работ. В частности, отмечается стойкое уменьшение электропроводности при направлениях ветра со стороны города [1,3]. Концентрация легких ионов может служить также индикатором радиоактивного загрязнения, так как при появлении искусственных радионуклидов в дополнение к естественному радиоактивному фону увеличивается интенсивность ионообразования. Однако при одновременном аэрозольном и радиоактивном загрязнении их влияние в совокупности может оказаться незаметным.

С целью изучения возможности использования атмосферно-электрических характеристик в качестве индикатора аэрозольного и радиоактивного загрязнения атмосферы в настоящей работе использованы экспериментальные данные, полученные в комплексных экспедициях, проводимых лабораторией геофизических исследований Педагогического института Южного федерального университета. Экспедиции проводились в летние месяцы в степной зоне на территории Ростовской области.

Концентрации положительных и отрицательных ионов рассчитаны по данным измерений полярных удельных электропроводностей, измеренных прибором Гердиена [2]. Объемная активность (концентрация) радона-222 измерялась радонметром «AlphaGUARD», который работает по методу ионизационной камеры. Специальный фильтр прибора обеспечивает попадание внутрь камеры радиоактивного изотопа Rn-222, задерживая прочие изотопы, влагу и пыль.

На основании данных об объемной активности радона-222 и концентрации положительных и отрицательных легких ионов оказалось возможным определить характер связи между величинами. Для исключения влияния электродного эффекта, который, как известно, модулирует значения концентрации отрицательных ионов вблизи земной поверхности, будем рассматривать

полученные зависимости на примере связи объемной активности радона-222 и концентрации положительных легких ионов. Полученные ряды регрессии квадрата концентрации положительных ионов по концентрации радона-222 надежно аппроксимируются линейной зависимостью (рис. 1). Уравнение,



Рис. 1. Ряды регрессии квадрата концентрации положительных ионов по концентрации радона-222 в различных пунктах Ростовской области:

- 1 – Михайловка (1995-1998), 2 – Орловский (1999),
- 3 – Платов (2002-2005), 4 – Талловеров (2008).

описывающее данную зависимость, имеет вид  $n_+^2 = kQ + b$ . В данном уравнении  $k$  – угловой коэффициент линейной функции, характеризующий приращение квадрата концентрации легких ионов при увеличении объемной активности радона-222. Константа  $b$  определяет вклад других источников ионизации. На рисунке представлены эмпирические ряды регрессии и графики линий аппроксимации,

полученные для четырех пунктов разных районов Ростовской области.

Обнаружено, что при наличии различных помутняющих факторов (пыль, дымка, туман) коэффициент  $k$  указанной зависимости заметно уменьшается (примерно на 40%) по сравнению с таковым для тех периодов, когда помутняющие атмосферу факторы не отмечались (рис.2,а). Что касается значений  $b$ , то, как и следовало ожидать, во всех обсуждаемых ситуациях они близки, поскольку содержание аэрозолей не влияет на вклад в ионизацию других источников. На рисунке 2 б показаны относительные значения

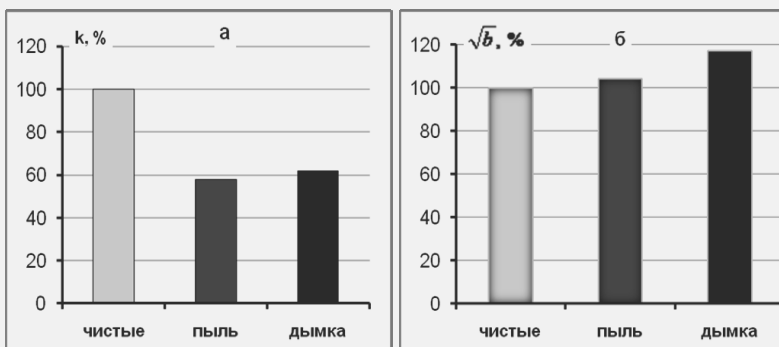


Рис. 2. Относительные значения констант  $k$  и  $b$  уравнений регрессии квадрата концентрации положительных ионов по концентрации радона-222, полученных для чистой атмосферы и при наличии аэрозолей. Талловеров (2008).

$\sqrt{b}$ , они соответствуют интенсивности ионообразования в атмосфере при отсутствии радона-222.

Таким образом, можно предположить, что в пунктах измерений Михайловка и Орловский содержание аэрозолей в атмосфере в целом выше, чем в Платове и Талловерове (рис. 1). Следует отметить, что измерительная площадка в Михайловке находилась вблизи реки, во время наблюдений часто отмечались туманы. Для часов с туманом или дымкой наклон линии регрессии меньше, а также больше разброс точек, что свидетельствует о действии иного, нежели радон, сильного фактора, влияющего на концентрацию ионов. В данном случае это, по-видимому, аэрозоли. Аналогичные рассуждения справедливы относительно результатов, полученных в п.Орловском, только там причиной снижения  $k$  является не дымка, а пыль. Поселок Орловский, на окраине которого проводились измерения в 1999 году, расположен на юго-востоке Ростовской области в полупустынной зоне, на границе с калмыцкими степями. В период измерений часто наблюдались сильные восточные ветры с пылью и поземкой. В Платове и Талловерове помутняющие атмосферу факторы отмечались значительно реже.

Авторы искренне благодарны работникам районной администрации и руководителям хозяйств Кашарского района Сергею Алексеевичу Шматову, Александру Ивановичу Попову, Владимиру Николаевичу Маликову, Ивану Васильевичу Руденко за всестороннюю поддержку многолетних экспедиционных исследований, проводившихся на территории района.

### Литература

1. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н. Влияние индустриального загрязнения воздушного бассейна на электропроводность атмосферы в Ростове-на-Дону. // Труды ГГО, 1990. Вып.527. С.41-43.
2. 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, №3 2010, стр. 47-52
3. Петрова Г.Г. Экспериментальные исследования составляющих электричества нижних слоев атмосферы. Автореферат диссертации, Нальчик, 2004, 26 с.
4. Israelsson S., 1994. Measurements of surface-air space charges carried by dry wind-driven dust. J.Atmosph.Terr.Phys. 56 (12), 1551-1556.
5. Petrova G.G., Petrov A.I., Panchishkina I.N., Kudrinskaya T.V. The Expedition Research of Processes of the Atmospheric Electrode Layer Formation // Proc.14th Int. Conf. Atm. Electricity. Rio de Janeiro, Brazil, 2011.

# ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НИЖНИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОБЩЕНИЕ ДАННЫХ

Петрова Г.Г., Петров А.И., Панчишкина И.Н.  
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону  
georgpu@rambler.ru

Разработанные на данный момент модели электродного слоя атмосферы дают определенное понимание электрических процессов, происходящих в атмосфере, но нуждаются в экспериментальном подтверждении теоретических результатов, исследовании границ применимости моделей, выделении типов физических условий в атмосфере, когда может быть применима та или иная модель.

Результаты многолетних экспедиций [3] обнаруживают заметное содержание радона-222 в почвах пунктов наблюдений на территории Ростовской области [11,12]. В результате в летний период, когда почва эманурует, радон поступает в прилегающий к земной поверхности слой атмосферы. На поток радона в атмосферу влияет состояние почвы: газопроницаемость и, как показали исследования, особенности распределения температуры приповерхностных слоев почвы. По данным, полученным в Михайловке, тихими ночами радона в атмосфере у земной поверхности тем больше, чем теплее почва на глубине 20 см по сравнению с 5-сантиметровой глубиной [11], При таком распределении тепла в почве теплый воздух из ее глубин, имея меньшую плотность, выходит через почвенные поры в атмосферу и обогащает ее радоном. По результатам измерений содержание радона-222 в атмосфере вблизи земной поверхности зависит от интенсивности турбулентного перемешивания [11] и стратификации приземного слоя [12]. Влияя на содержание радиоактивных эманаций в атмосферном воздухе, перемешивание атмосферы тем самым опосредованно определяет её электропроводность. Полученные в экспедициях данные показывают, что при устойчивой стратификации приземной атмосферы значения полярных электропроводностей возрастают в разы по сравнению с ситуацией неустойчивой стратификации, особенно ниже уровня 1 метр [1,11,12]. Следует отметить, что устойчивая стратификация нижнего слоя атмосферы в донских степях в летнее время наблюдается обычно в ночные часы при малой скорости ветра, неустойчивая - днем. Таким образом, суточные вариации устойчивости атмосферы и, как следствие, интенсивности турбулентного обмена в значительной мере определяют суточные вариации атмосферно-электрических величин в приземном слое. Анализ показывает, что средние профили полярных электропроводностей  $\lambda$  над открытым грунтом выше некоторого уровня  $H$  можно аппроксимировать степенной функцией. Ниже уровня  $H$  находится слой, прилегающий к земной поверхности, который может быть назван слоем поглощения. Этот слой обеднен ионами из-за адсорбции их поверхностью почвы и растений. Толщина  $H$  над открытым грунтом иногда достигает 0,6-1 м, но обычно не превышает 0,3 м. В работе [12] представлены результаты аппроксимации вертикальных профилей полярных электропроводностей отдельно для условий устойчивой и неустойчивой стратификации приземного слоя и подсчитана разность экспериментальной и расчетной электропроводностей на высоте 0,05 м для всех анализируемых случаев. Определенные таким образом "потери" электропроводности из-за адсорбции ионов из слоя на высоте нескольких сантиметров для условий устойчивой стратификации могут составлять 30-60 %. Наличие градиента электропроводности выше слоя поглощения обуславливает генерирование здесь отрицательного объемного заряда легких ионов, обнаруживаемого многими исследователями в условиях ослабленного перемешивания атмосферы при устойчивой ее стратификации (см., например, [6]). Вопросы генерации объемного заряда легких ионов рассматриваются в известных обзорах [7,10]. Как отмечается в [7], объемный заряд генерируется в атмосфере двумя путями: 1) проводимостью в условиях градиента электропроводности и

2) дисбалансом ионных потоков вблизи границы. На основании уравнения Пуассона  $\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$  и с

учетом того, что  $\vec{E} = \frac{\vec{j}_\lambda}{\lambda}$  можно записать для плотности объемного заряда легких ионов:

$$\rho_{л.и.} = \varepsilon_0 \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\varepsilon_0}{\lambda} \nabla \cdot \vec{j}_\lambda - \frac{\varepsilon_0}{\lambda} \vec{E} \cdot \nabla \lambda \quad (1)$$

Таким образом, при прохождении тока проводимости вблизи земли образование объемного заряда легких ионов осуществляется как в результате дивергенции тока проводимости, связанной с электродным эффектом ( $\pm \rho_{\text{эс}}$ ), так и вследствие градиента электропроводности атмосферы ( $\pm \rho_{\Delta\lambda}$ ),



обусловленного уменьшением интенсивности ионообразования с высотой. Итоговое значение плотности объемного заряда легких ионов на каждом горизонте электродного слоя:

$$\rho_{л.и.} = \pm \rho_{э} \pm \rho_{\Delta\lambda} \quad (2)$$

- определится знаком и величиной каждого слагаемого, которые будут зависеть от состояния слоя.

В итоге этих процессов электрическое поле в приземном слое атмосферы претерпевает сложные изменения по вертикали. При устойчивой стратификации вблизи земли, как правило, формируются профили поля, в которых уменьшение с высотой градиента электрического потенциала в нижней части, вызванное положительным зарядом электродного эффекта, выше сменяется его ростом по вертикали из-за наличия отрицательного объемного заряда, связанного со значительным градиентом электропроводности на этих уровнях (профиль типа I) [2,4]. Часто наблюдается Z-образный вертикальный профиль поля с чередованием объемного заряда «плюс-минус-плюс» (профиль типа II) [5]. Анализ всей совокупности результатов наводит на мысль, что поле в приземном слое в условиях устойчивой стратификации при заметном эманировании почвы имеет трехслойный Z-образный вертикальный профиль, который сжимается или вытягивается по вертикали в зависимости от условий. Возможно, оба варианта профиля имеют трехслойную структуру, но различаются масштабом по вертикали: профиль II сжат по вертикали, а профиль I более растянут, и выходит за пределы изучаемого слоя. Как показано в работе [13], полученные при устойчивой стратификации результаты находятся в хорошем согласии с результатами экспериментальных и теоретических исследований других авторов [6,8]. Еще одним источником объемного заряда в самом нижнем слое атмосферы, как показали наши наблюдения и результаты других авторов (см. [9]), является подъем электризованной пыли ветровыми потоками с иссушенной земной поверхности. Это, по-видимому, обуславливает появление при неустойчивой стратификации профиля поля III типа с отрицательным объемным зарядом в самом нижнем слое от 0 м до высоты примерно 0,5 ÷ 1,5 м, который выше сменяется положительным судя по уменьшению значений поля с высотой [4,5].

#### Литература

1. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Кудринская Т.В., Куповых Г.В., Клово А.Г. Электропроводность воздуха и концентрация радона в приземном слое. // Труды V Российской конференции по атмосферному электричеству. Владимир, ВГУ, 2003. С.124-127.
2. Петров А.И., Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Соловьев М.Ю.. Экспериментальные профили атмосферно-электрических характеристик в электродном слое. // Сборник трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству, Н.Новгород, ИПФ РАН, 2007. С.87-89.
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, №3 2010 г, стр. 47-52
4. Петрова Г.Г. Вертикальные профили градиента электрического потенциала в различно стратифицированном приземном слое атмосферы. // Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки, Спецвыпуск «Физика атмосферы», 2010 г, стр.77-81
5. Петрова Г.Г. Оценка плотности объемного заряда по результатам измерений вертикальных профилей электрических характеристик в приземном слое атмосферы. // Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки, №4 2010 г, стр. 56-63
6. Crozier W.D., 1965. Atmospheric electrical profiles below three meters. J.Geoph.Res. 70, 2785-2792.
7. Hoppel W.A., Anderson R.V and Willett J.C., 1986. Atmospheric electricity in the planetary boundary layer in the Earth's Electrical environment, Studies in Geophysics, Ed. E. P. Krider and R. G. Roble, National Academy Press, USA. P.149-165
8. Hoppel W.A., 1969. Electrode effect: comparison of theory and measurement, in: S.C.Coroniti and J.Hughes, Planetary Electrodynamics, 2. Gordon and Breach Science Publishers, New-York, pp.167-181.
9. Israelsson S., 1994. Measurements of surface-air space charges carried by dry wind-driven dust. J.Atmosph.Terr.Phys. 56 (12), 1551-1556.
10. Mareev E.A., 2008. Formation of Charge Layers in the Planetary Atmospheres. Space Science Reviews, Volume 137, Numbers 1-4, P.373-397
11. Petrov A.I., Petrova G.G., and Panchishkina I.N. On factors determining the variations of the electric characteristics of a surface layer. // Proc.11th Int. Conf. Atm. Electricity. Alabama, USA, 1999. Pp. 547-550.
12. 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), 91 (2009), pp.206-214
13. Petrova G.G., Petrov A.I., Panchishkina I.N., Kudrinskaya T.V. The Expedition Research of Processes of the Atmospheric Electrode Layer Formation // Proc.14th Int. Conf. Atm. Electricity. Rio de Janeiro, Brazil, 2011.

# ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ «ПАРАТУНКА» (КАМЧАТКА), ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПРИРОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Фирстов П.П., Чернева Н.В., Шевцов Б.М.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН  
firstov@emsd.ru

По данным обсерватории «Паратунка» (ПРТ) и «Карымшина» (КРМ) (Камчатка) рассмотрены вариации напряженности атмосферного электрического поля ( $E_z$  АЭП) в приземном слое атмосферы, связанные с двумя мощными природными явлениями. Обе обсерватории расположены на расстояниях более 25 км от крупных населенных пунктов (г. Петропавловска-Камчатского, Елизово). В окрестностях обсерваторий нет крупных предприятий и отопительных котельных, которые могли бы стать источниками техногенных выбросов мелкодисперсных фракций и аэрозолей, что позволяет вести качественные наблюдения за вариациями  $E_z$  АЭП с помощью флюксметров «Поле-2» [1].

Согласно современным представлениям, землетрясения невозможны без подготовки, которая отражает внутреннюю динамику некоторого объема геологической среды на последней стадии перед землетрясением. Несмотря на это, задача прогноза места, времени, и интенсивности землетрясений даже в хорошо изученных регионах оказывается крайне сложной, поэтому любые предвестниковые аномалии представляют большой интерес.

Перед основным толчком с энергетическим классом  $K=lgE(Дж)=14,4$ , афтершоковой последовательности, произошедшей 21 июня 1996 г. в 13 ч 57 мин, за 16 часов в обоих пунктах наблюдений на кривых  $E_z$  АЭП выделены аномалии с амплитудой  $\sim 400$  В/м [3]. На рис. 1а приведена пятидневная запись вариаций  $E_z$  АЭП в пунктах ПРТ и КРМ, а на рис. 1б приведена спектральная плотность мощности (СПМ) для этих записей. Кривые СПМ для обоих пунктов по форме подобны и могут быть разбиты на три участка. Начиная с 0,008-0,01 Гц происходит крутой спад уровня СПМ пропорционально  $f^{2,5} - f^3$  в сторону высоких частот, на участке 0,003-0,008 Гц спектральная плотность квазипостоянна, а на частотах менее 0,003 Гц наблюдается некоторое возрастание уровня СПМ. Согласно такому делению проведена фильтрация сигналов. На отфильтрованных низкочастотным фильтром кривых на основании фазовой корреляции между сигналами на участке 22 ч 20 июня-10 ч 21 июня уверенно выделяется предвестниковая аномалия специфической формы (рис. 2а).

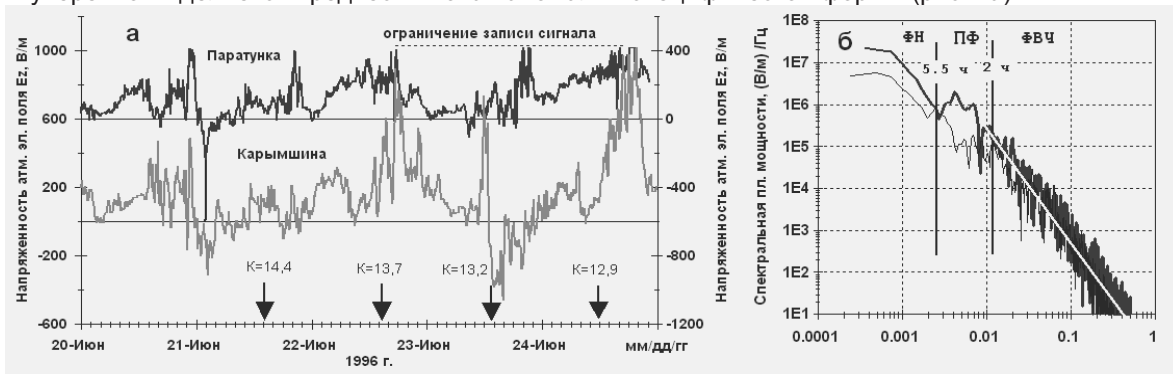


Рис. 1. Значение  $E_z$  АЭП за 20-24 июня 1996 г. в пунктах ПРТ и КРМ (а) и ее СПМ (б). Стрелками отмечены наиболее сильные толчки афтершоковой последовательности землетрясений.

В работе [2] рассчитан отклик в напряженности атмосферного электрического поля  $E_z$  АЭП от объемных зарядов с простой конфигурацией, транспортируемых ветром и расположенных над проводящей поверхностью и приведены модельные кривые. Форма рассматриваемой аномалии напоминает изменение  $E_z$  АЭП при прохождении вертикального диполя далеко от пункта регистрации. На рис. 2б совмещены аномалии, зарегистрированные в обоих пунктах наблюдения и расчетная кривая, вычисленная в безразмерных величинах. Наилучшее совпадение было получено для следующих параметров диполя: скорость движения диполя 20 км/сутки, движение начинается за 20 км от пунктов, высота над землей центра диполя 1,5 км, расстояние между зарядами 1,2 км, удаления траектории движения диполя 2 км. Существует некоторое подобие зарегистрированной аномалии и расчетной кривой. Небольшая скорость дает основание предполагать, что вертикальный диполь мог сформироваться в условиях хорошей погоды в результате стока радона и аэрозолей из активной

дизъюнктивной структуры под действием геодеформационной волны, распространяющейся по глубинному разлому, трассируемому рекой Паратунка, в долине которой расположены оба пункта. Это подтверждается геометрией расположения пунктов регистрации, разломной зоны и эпицентров землетрясений.

Рассмотрим влияние циклонической активности на поведение  $E_z$  АЭП в январе 2002 г., когда к полуострову Камчатка подошло сразу два циклона, зародившиеся в акватории Тихого океана 8 января и через три дня подошедшие к берегам Камчатки (рис. 3а,б).

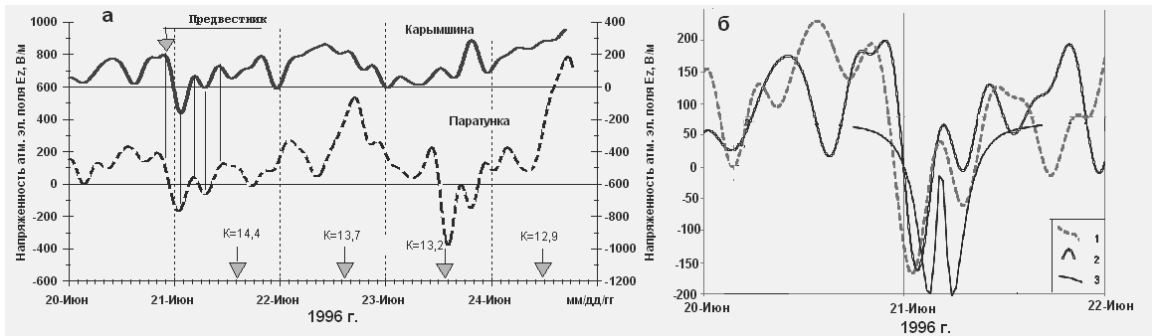


Рис. 2. Отфильтрованные ФНЧ кривые значений  $E_z$  АЭП за 20-24 июня 1996 г. в пунктах ПРТ и КРМ (а) и аномалия, выделенная на основании фазовой корреляции между сигналами на участке 22 ч 20 июня-10 ч 21 июня, совмещенная с расчетной кривой (б). 1- ПРТ, 2 – КРМ, 3 – расчетная кривая.

Траектории движения отслеживались с помощью ОНЧ пеленгатора, регистрирующего электромагнитное излучение грозовых разрядов работающего на обсерватории «Паратунка» (рис. 3в). Нестандартная метеорологическая ситуация, приведшая к столкновению двух циклонов на расстоянии ~100 км от обсерватории, привела к возникновению горизонтального диполя. Этот значительный по размерам диполь с расстояниями между зарядами 200 км привел к формированию сигнала бухтообразной формы длительностью около суток и с двойной амплитудой ~ 800 В/м (рис. 4).

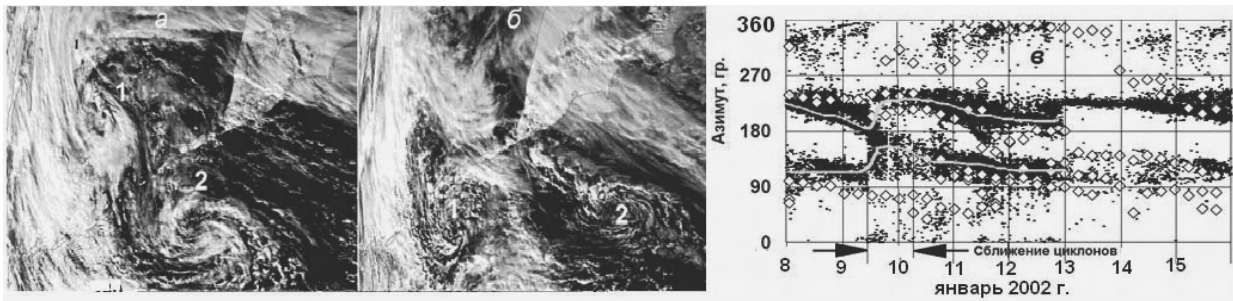


Рис. 3. Космические снимки циклонов, зародившихся в акватории Тихого океана на начало суток 12 и 13 января 2002 г. ( а, б); азимутальное распределение грозовых разрядов при прохождении циклонов по данным ОНЧ пеленгатора, работающего на обсерватории «Паратунка»(в).

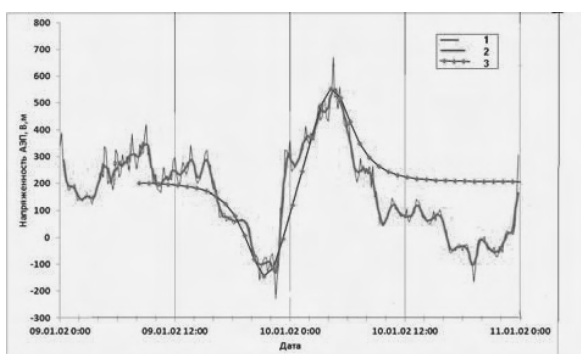


Рис.4. Напряженность АЭП на ПРТ 09-11 февраля 2002 г. 1- исходные данные, 2 –осредненные скользящим средним по трем точкам, 3 – расчетная кривая.

На рис. 4 экспериментальные данные совмещены с модельной кривой, вычисленной в безразмерных величинах для горизонтального диполя ориентированного осью вдоль движения на высоте 8 км. Движение начинается от точки, удаленной на оси X на 100 км от начала координат (пункт регистрации) с размером диполя 200 км, наблюдается удовлетворительное совпадение натуральных и модельных кривых.

Как было выше показано, модельные расчеты изменения  $E_z$  АЭП при прохождении объемных зарядов вблизи пункта регистрации на качественном уровне могут быть использованы для определения их конфигурации при натуральных наблюдениях.

## Литература

1. Руленко О.П., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно - электрический предвестник Камчатского землетрясения 6.03.1992,  $M=6.1$  // Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980-982.
2. Чернева Н.В., Пономарев Е.А., Фирстов П.П., Бузевич А.В. Базовые модели источников вариаций вертикальной компоненты атмосферного электрического поля // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2007. N 2. Вып. 10. С. 72-76.
3. Vershinin E.F., Buzevich A.V., Yumoto K., Tanaka Y. Correlations of seismic activity with electromagnetic emissions and variations in Kamchatka region // International Workshop. Tokyo. 03/1997. P. 23-24.

## РОЛЬ МЕЗОУСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ГРОЗ И ГРАДА

Хайруллин К.Ш.

Главная геофизическая обсерватория им А.И. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург  
khairullink@mail.ru

Автором дано определение мезоклимата, который формируется под влиянием местной циркуляции, к которой относятся бриз, фён, бора, горно-долинный ветер. Масштабы этого явления составляют десятки километров по горизонтали и сотни метров по вертикали. Время существования этих явлений исчисляется часами – сутками. К мезометеорологическим явлениям следует отнести мощную кучевую облачность, которая по высоте достигает нескольких километров.

Рельеф, водоемы, отдельные лесные массивы, морские побережья, города оказывают существенное влияние на формирование опасных метеорологических явлений, таких как интенсивные осадки, большие скорости ветра, грозы и град. По своему происхождению на территории ЕЧР 70% гроз образуются на холодных фронтах и лишь 30% случаев носят внутримассовый характер. В Восточной Сибири наблюдается обратное соотношение.

Урбанизация может менять составляющие радиационного и теплового баланса и оказывать локальное воздействие на облачность и активность фронтов. Еще П. Кратцер [1] считал вероятным усиление грозовой активности над городом, а Г. Ландсберг [2] установил, что в европейских городах по сравнению с сельской местностью повторяемость гроз на 10% больше. Ряд исследователей отмечали тормозящее действие городов (Токио, Чикаго) на скорость прохождения атмосферных фронтов или их обход интенсивными грозами и торнадо. Ченггон [3] обратил внимание и провел исследование влияния большого города на возрастание интенсивности гроз, града, ливней и шквалов.

Бризовая циркуляция на берегах морей и океанов уменьшает число дней с грозой и градом по отношению к расположенным недалеко прибрежным районам на 10-15%. На равнинных территориях отмечается увеличение числа дней с грозой на 10% и с градом на 20% в областных центрах по сравнению с фоном [4, 5, 6]. Однако влияние города может перекрываться его физико-географическим местоположением, так в Санкт-Петербурге летом морской бриз влияет на формирование мощной кучево-дождевой облачности, поэтому по наблюдениям в Кронштадте в среднем бывает 14 дней с грозой за год, в Санкт-Петербурге – 19, в Воейково – 22. Идет возрастание числа дней с этими явлениями с запада на восток, а влияние города на осадки, грозы и град проявляется на его восточных окрестностях [7].

Месторождение железной руды, полиметаллов, магнитные аномалии также влияют на грозовую и градовую деятельность, в этих районах также возрастает число ударов молний в землю.

Таблица 1

Влияние месторождений железной руды, полиметаллов и магнитных аномалий на грозовую и градовую деятельность

УГМС	Месторождение	Грозы		Град	
		Число дней за год	K1	Число дней за 10 лет	K2
ЦЧО	Курская МА	32	1,13	18	1,20
Северо-Западное	Тихвинская МА	25	1,28	22	1,18
Мурманское	Еноковдорское	8	1,13	8	1,17
Северо-Западное	Пудожгорское	18	1,28	15	1,19
Дальнего Востока	Кимканское	33	1,17	14	1,19

Примечание: K1 и K2 – отношение числа дней с грозой и градом на территории месторождения к фоновым значениям в регионе; МА - магнитная аномалия.

С грозами тесно связаны грозовые разряды на землю и выпадение интенсивного града. К интенсивному граду отнесены крупный град диаметром 20 мм и более, грозовые разряды на землю на 1 кв км в год на территории России колеблются от 1 на широтах 60° до 7 на Северном Кавказе и в Приморье. Эти сведения опубликованы в "Справочнике" по опасным природным явлениям [8]. Следует отметить влияние гор на грозовую и градовую деятельность, где частота этих явлений растет с высотой, достигая максимума на высотах 3-4 км.

К физическим аспектам влияния мегаполисов на метеорологические процессы можно отнести следующие факторы:

- 1) Наличие городского "острова тепла", оказывающего термическое воздействие на формирование облачности и активность фронтов.
- 2) Значительное влияние застройки на шероховатость, тормозящую горизонтальный перенос воздушной массы.
- 3) Загрязнение атмосферы, уменьшающее электропроводность воздуха по сравнению с сельской местностью и увеличивающее градиент потенциала электрического поля.
- 4) Возможное влияние электромагнитного фона на ионизацию воздуха.

#### Литература

1. Кратцер П. Климат города. –Москва. 1958. - 239 с.
2. Ландсберг Г. Климат города. -Л. Гимиз. 1983.- 248 с.
- 3.Changnon S.A. Jr. Urban effect on severe local storms at St Luis//J. Appl. Meteorol.-1978.-17. N5.- P. 578-586.
- 4.Хайруллин К.Ш., Яковлев Б.Я. Влияние мезоклиматических условий на грозы и град на территории СССР. Тр.ГГО. 1990. вып.532.- стр. 131-138
5. Хайруллин К.Ш., Яковлев Б.Я. Влияние урбанизации и мезоклиматических различий на грозы и град. Изв. ВГО. 1991. т. 123. вып. 2. -с.166-170
6. Khairullin K. The effect of mesoclimatic conditions on thunderstorms and hail over the Russia territory Abstracts ICAE 2011 Rio de Janeiro, Brazil, p. 65
7. Асташенко А.И. Махоткин Л.Г. Грозовая активность в Ленинградской области в 1961 г. ТР. ГГО. 1963. Вып. 148.- с.3-9
8. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях РФ. (Под ред К.Ш. Хайруллина).- СПб. Гидрометеиздат. 1997.- 587 с.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВИСТЯЩИХ АТМОСФЕРИКОВ И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ С ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Чернева Н.В., Агранат И.В.

Институт космических исследований и распространения радиоволн (ИКИР) ДВО РАН,  
п. Паратунка (Камчатка)  
nina@ikir.ru

Исследование свистящих атмосфериков (вистлеров), возникающих в результате излучения молниевых разрядов после прохождения через ионосферу вдоль силовой линии магнитного поля Земли, имеет большое значение для изучения грозового процесса, для выявления новых связей между

явлениями и процессами в ионосфере и магнитосфере, построения современных моделей IGRF. Для решения поставленных задач необходимо ведение долговременной статистики появления вистлеров [1], создание системы автоматического детектирования [2] и анализа свистящих атмосфериков.

На базе ИКИР ДВО РАН более десяти лет функционирует комплекс, регистрирующий электромагнитное ОНЧ излучение. Комплекс состоит из электрической и двух магнитных антенн, ориентированных по сторонам света, предусилителя, и регистратора данных с GPS-синхронизацией. Накоплен трех-летний ряд в формате .wav.

Для автоматического обнаружения вистлеров разработан алгоритм распознавания, в основе которого лежит двумерная корреляция спектра исходного сигнала и спектра сигнала-эталона. Необходимо отметить, что аналогичный метод детектирования свистящих атмосфериков был предложен основателем сети автоматического определения и анализа вистлеров (AWDAnet) Dr. J. Lichtenberger [3].

Сигнал-эталон был получен в результате аппроксимации частотно-временной зависимости большого числа вистлеров экспоненциальной функцией. С использованием полученных коэффициентов был построен спектр сигнала-эталона, повторяющий спектр принимаемых вистлеров (рис. 1, б).

Для быстрой и эффективной работы системы автоматического распознавания целесообразно использовать только диапазон 2,5-7 кГц как наименее зашумленный, но в тоже время содержащий в себе интересный сигнал (рис. 1, а).

Спроектированный детектор выполняет двумерную корреляцию спектра фрагмента сигнала длительностью 4 секунды и смоделированного идеального

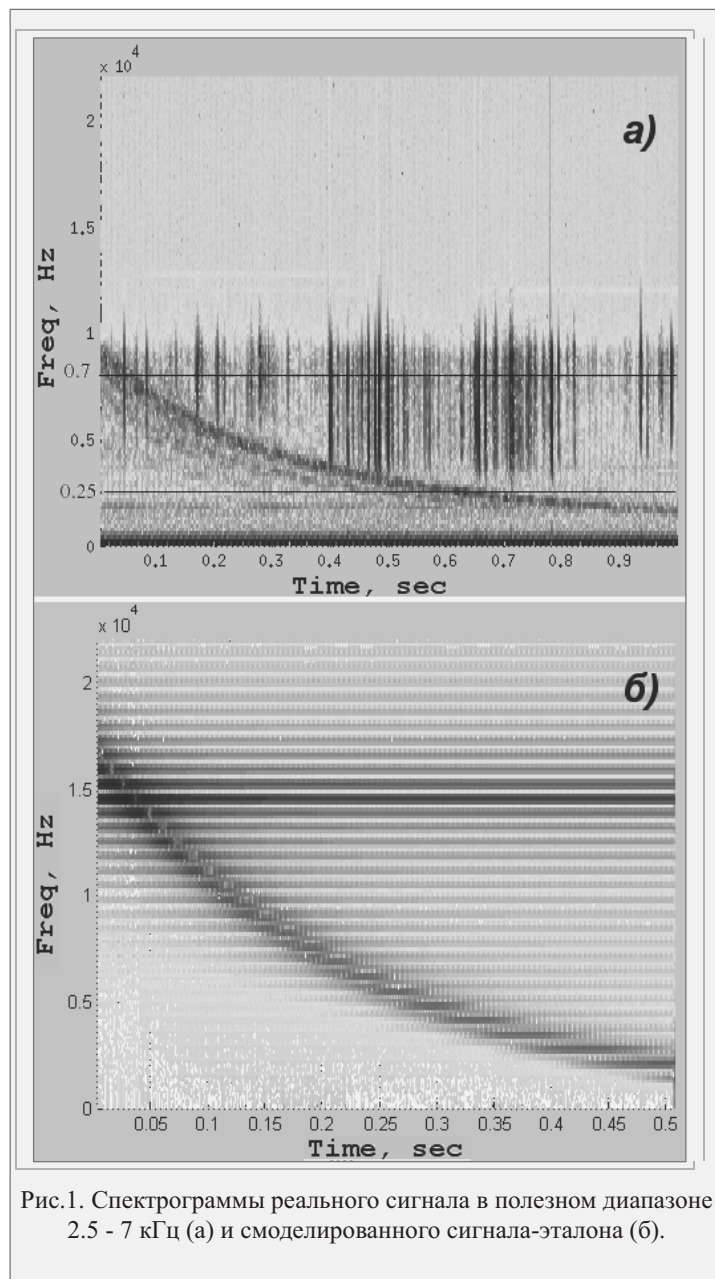
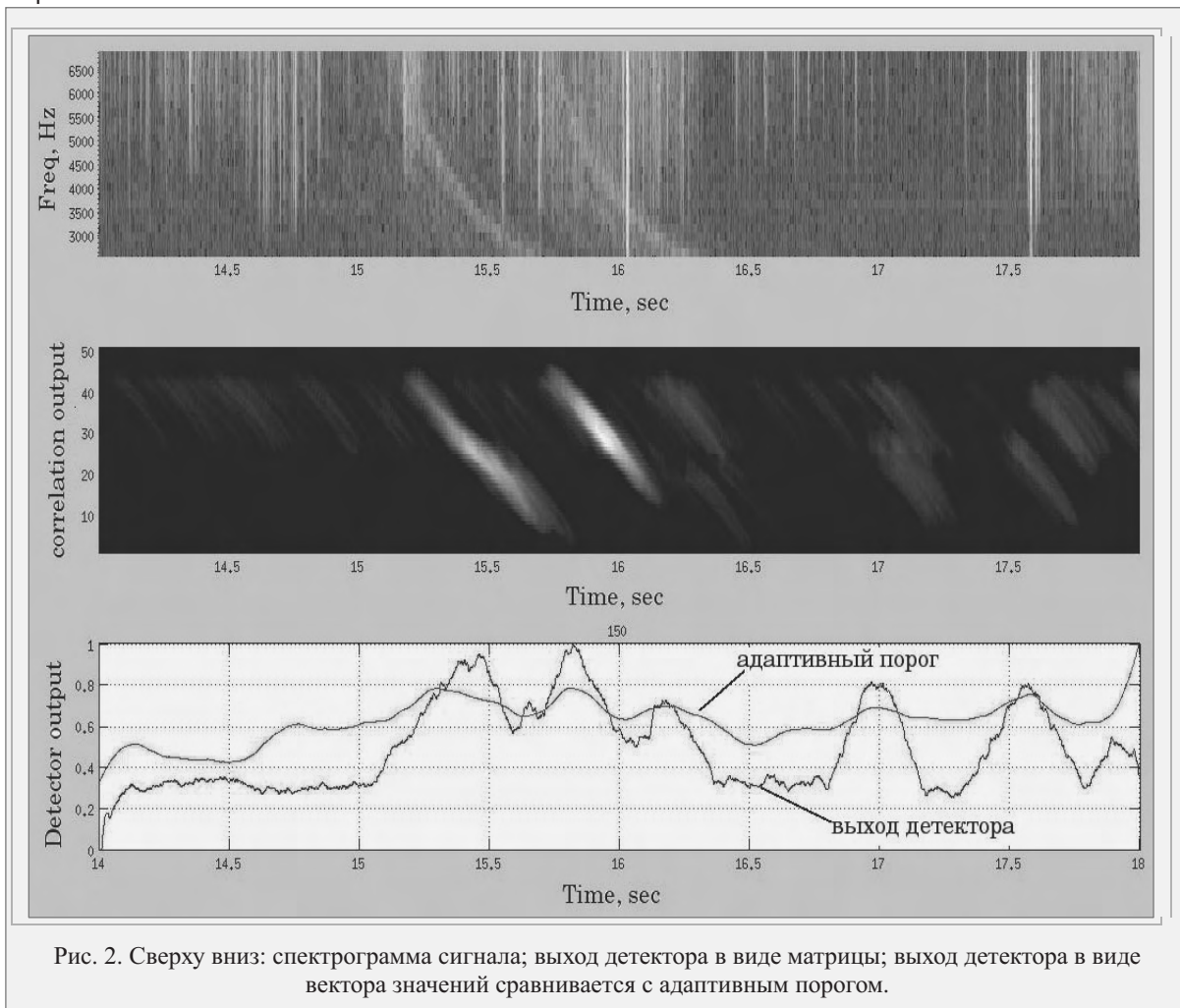


Рис.1. Спектрограммы реального сигнала в полезном диапазоне 2.5 - 7 кГц (а) и смоделированного сигнала-эталона (б).

спектра. Далее выход детектора сравнивается с адаптивным порогом — усредненной величиной, вычисленной по динамическому спектру исходного сигнала (рис.2). При превышении порога формируется

вывод о том, что в сигнале, возможно, присутствует вистлер. Большую погрешность в результат (до 30 % ложных срабатываний) вносят атмосферерики (грозовые разряды), отображаемые в спектре как вертикальные линии.



Полученные промежуточные результаты автоматического детектирования свистящих атмосфериков были сопоставлены с данными международной сети определения местоположения гроз (World Wide Lightning Location Network - WWLLN), проанализирована связь роста числа принятых вистлеров с увеличением грозовой активности магнито-сопряженных точек (Камчатка, Россия и Канберра, Австралия). Было обнаружено, что грозовые разряды, генерирующие атмосферерики в магнито-сопряженной точке, не всегда имеют высокую корреляцию с количеством зарегистрированных на Камчатке вистлеров, число которых достигает нескольких тысяч. Возможно, что молниевые удары генерируют свистящие атмосферерики, которые распространяются в волноводе Земля-ионосфера, даже если грозовой очаг находится на значительном расстоянии от сопряженной точки. Определение грозовых очагов генерации вистлеров, регистрируемых на Камчатке – цель последующих исследований после накопления достаточной для решения этой задачи эмпирической базы.

#### Литература

1. Агранат И.В., Чернева Н.В. Перспективы исследования естественного электромагнитного излучения ОНЧ. П-Камчатский: ИВ ДВО РАН. 2011. С. 139-152.
2. Агранат И.В., Чернева Н.В. Автоматическое детектирование атмосфериков. П-Камчатский: ИВ ДВО РАН. 2012. С. 89-100.
3. Lichtenberger, J., Automatic Whistler Detector and Analyzer system, J. Geophys. Res., 113, A12201, doi: 10.29/2008JA013467, 2008.

## АВТОРСКИЙ ИНДЕКС

---

<b>А</b>	
Агранат И.В. ....	45
Аджиев А.Х. ....	3, 5
Акселевич В.И. ....	24

---

<b>Б</b>	
Богатов Н.А. ....	7, 10, 12

---

<b>В</b>	
Варлей Ю. ....	3

---

<b>Г</b>	
Гятов Р.А. ....	14

---

<b>Д</b>	
Думаева Л.В. ....	14

---

<b>Е</b>	
Ермакова Е.Н. ....	20
Ефременко А.Н. ....	28

---

<b>Ж</b>	
Жирнова Н.С. ....	16
Жуков В.Ю. ....	28

---

<b>К</b>	
Караваев Д.М. ....	28
Кашлева Л.В. ....	16, 28, 30
Климин Н.Н. ....	18
Костинский А.Ю. ....	12
Котик Д.С. ....	20
Котиков А.Л. ....	22
Князева З.М. ....	5
Круглов А.А. ....	22
Кудринская Т.В. ....	37

---

<b>М</b>	
Мазуров Г.И. ....	24
Мареев Е.А. ....	12
Михайловский Ю.П. ....	26, 28, 30, 33

---

<b>П</b>	
Панчишкина И.Н. ....	35, 37, 39
Петров А.И. ....	35, 37, 39
Петрова Г.Г. ....	35, 37, 39
Попов И.Б. ....	18, 33

---

<b>Р</b>	
Рябов А.В. ....	20

---

<b>С</b>	
Стасенко В.Н. ....	3
Стерхов П.Л. ....	33
Сысоев В.С. ....	12

---

<b>Т</b>	
Тапасханов В.О. ....	3

---

<b>Ф</b>	
Фирстов П.П. ....	41
Франк-Каменецкий А.В. ....	22

---

<b>Х</b>	
Хайруллин К.Ш. ....	43

---

<b>Ч</b>	
Чернева Н.В. ....	41, 45

---

<b>Ш</b>	
Шевцов Б.М. ....	41

---

<b>Щ</b>	
Щукин Г.Г. ....	28



