

Такое представление сезонной составляющей позволяет получить температурные тренды для календарных месяцев.

Таблица 3.
Компоненты коэффициентов (a , b) в (4)

Месяц	a_m	b_m
январь	0,55	-100,3
февраль	0,43	-86,92
март	0,1	-50,07
апрель	-0,34	0,38
май	-0,79	50,9
июнь	-1,12	87,96
июль	-1,25	101,63
август	-1,13	88,25
сентябрь	-0,8	51,41
октябрь	-0,35	0,98
Ноябрь	0,1	-49,52
Декабрь	0,43	-86,57

Из анализа табл. 3 следует, что тренды календарных месяцев несимметричны: в январе – марте и ноябре – декабре сезонная составляющая имеет тенденцию к потеплению, а в апреле – октябре к похолоданию. Причем тенденция к похолоданию в июле в два раза интенсивнее, чем к потеплению в январе. Этот эффект во многом объясняет выводы исследователей о похолодании в летние сезоны года на фоне общего потепления. Наименьшие относительные тренды отмечаются в марте и ноябре.

Результирующий тренд за календарный месяц $Tr(t)$ можно представить в виде суммы фонового тренда $Tr_0(t)$, тренда календарного месяца (m) се-

зонной составляющей $Tr_m(t)$ и календарного тренда аномалий $Tr_a(t)$

$$Tr(t) = Tr_0(t) + Tr_m(t) + Tr_a(t). \quad (5)$$

На рис. 6 приведены значения относительных трендов календарных месяцев для составляющих температурного ряда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) в г. Томске.

Из анализа рис. 6 вытекает, что долгосрочные тренды календарных месяцев сезонной составляющей имеют тенденцию к росту только в январе – феврале и ноябре – декабре, в остальные месяцы – к падению. Вместе с тем в сумме с фоновым трендом температурные тренды для всех календарных месяцев, которые, как оказалось, представляют собой результат детерминированных процессов, имеют тенденцию к росту. Окончательно фактические тренды календарных месяцев будут формировать детерминированные тренды $Tr_0(t) + Tr_m(t)$ и тренды аномалий. Причем тренды аномалий по величине являются существенными и в значительной мере могут либо усиливать, либо ослаблять детерминированные тренды. Тренд аномалий в Томске значительно усиливает детерминированный тренд в январе, марте и декабре. А в мае-августе наблюдается ослабление фактических трендов за счет трендов аномалий. В апреле и октябре-ноябре тренд аномалий практически не влияет на суммарный тренд.

Отсюда следует, что тренды, характеризующие уменьшение температуры, которые отмечались в Томске в июне, июле и сентябре обусловлены исключительно трендом аномалий.

В результате проведенного исследования выявлена роль полученной зависимости амплитуды годового хода от среднего значения температуры на формирование трендов календарных месяцев.

Литература

1. Катаев С.Г., Кусков А.И. Проблемы исследования геофизических полей // Данный сборник. С. 22.

В.П. Горбатенко

О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЧИСЛА ДНЕЙ С ГРОЗОЙ И ПЛОТНОСТИ РАЗРЯДОВ МОЛНИИ В ЗЕМЛЮ

НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете

УДК 551.594.21

Основой для оценки частоты возможного воздействия разрядов молнии на объекты хозяйственной деятельности является плотность разрядов молнии в землю. Наиболее надежным источником данных о величине плотности разрядов молнии в землю являются результаты инструментальных наблюдений счетчиков молний и

грозопеленгационных систем. При отсутствии регулярных инструментальных наблюдений над плотностью разрядов молнии в землю последняя оценивается чаще всего по числу грозовых дней или часов, регистрируемых метеостанциями. На территории нашей страны этот метод определения грозоопасности отдельных районов, по-ви-

димому, будет применяться еще долго. Необходимо заметить, что универсальной функциональной зависимости между климатическими характеристиками гроз и плотностью разрядов молнии в землю, пригодной для оценки грозоопасности любых территорий, по-видимому, не существует. Однако поиск таких зависимостей для отдельных территорий мезомасштаба может оказаться перспективным.

При поиске функциональных зависимостей числа разрядов молнии в землю от числа дней с грозой чаще всего [1] используют выражение вида $N = aT^b$, (1)

где N – число разрядов молнии в землю, T – число дней с грозой, a и b – постоянные коэффициенты. У разных авторов значения a и b в выражении (1) отличаются существенно [1, 2]. Согласно [1] между числом дней с грозой и числом разрядов молнии в землю существует тесная корреляционная зависимость и приводятся уравнения для расчета значений плотности разрядов молнии в землю на 1 км^2 для Воейково (Ленинградская область) и для Свердловска, равные соответственно:

$$0N = 0,049 T^{1,22}, \quad N = 0,83 T^{1,31}. \quad (2)$$

В других исследованиях существование такой зависимости либо ставится под сомнение, либо утверждается, что наличие таких зависимостей возможно лишь в ограниченных областях [3]. Приведенные выше уравнения (2) получены при сопоставлении данных счетчиков молний и данных традиционных наблюдений. Оценка плотности ударов молнии в землю по обнаруженному числу ударов молнии в линии электропередачи позволила получить совершенно другие значения коэффициентов a и b в уравнении (1). Причиной тому является разнообразие физико-географических характеристик исследуемых территорий, а следовательно, их различная грозопоражаемость. Полученную же функциональную зависимость для одной точки в дальнейшем используют для оценки плотности разрядов молнии в землю на территориях обширных районов, включающих в себя большое разнообразие ландшафтов.

Для всей территории юга Германии (площадью около 300 тыс. км^2) оказалось невозможным найти универсальную значимую зависимость между значениями T и N , однако представилась возможность попытаться определить зависимости такого рода для различных типов ландшафтов в отдельности. По нашему мнению, поиск функциональных зависимостей между значениями T и N внутри однородных ландшафтов является более правильным. По полученным соотношениям можно будет оценивать грозоопасность территорий, схожих по климатическим и физико-географическим характеристикам. Тем более что для практи-

ческого использования при проведении грозозащитных мероприятий необходимо знать как средние значения плотности разрядов молнии на 1 км^2 в год, так и наличие участков с избирательной грозопоражаемостью, которая определяется только местными особенностями территорий [4].

В связи с вышеизложенным нами предпринята попытка построения аналогичных зависимостей для различных однородных ландшафтов, что, возможно, окажется перспективным для оценки грозоопасности территорий, не освещенных инструментальными наблюдениями. Исследования проводились для южной части Германии, поскольку для этой территории параллельно существуют инструментальные и визуальные наблюдения над грозами. Всего на территории исследований было выделено 7 типов ландшафтов: равнины (I), холмистая ($< 500 \text{ м н.у.м.}$) поверхность (II), изрезанная (наличие невысоких гор, склонов гор, невысоких хребтов, горных долин) поверхность (III), плоскогорье с высотами от 500 до 1000 м н.у.м. (IV), район высокогорья ($> 1000 \text{ м н.у.м.}$) (V), речные долины (VI) и отдельно долина р. Рейн (VII), поскольку наблюдался очаг повышенных значений плотности разрядов молнии в землю вдоль всего русла этой реки. В табл. 1 приведены статистические характеристики (максимальные и минимальные значения, среднее квадратическое отклонение) значений грозовой активности для каждого из выделенных ландшафтов. Анализ данных, представленных в табл. 1 позволяет сделать следующие выводы.

1. Наибольшая плотность разрядов молнии в землю приходится на долину реки Рейн и его притоками и на холмистые территории с высотой менее 500 м н.у.м.

2. В горных районах территории Германии с высотами более 500 м н.у.м. плотность разрядов молнии в землю ниже, чем на равнинных и холмистых территориях. При этом среднее число дней с грозой в этих районах максимально.

Сравним наши выводы с результатами, полученными для других территорий.

Результаты инструментальных наблюдений над плотностью разрядов молнии, которые проводились в течение некоторых месяцев грозовых сезонов 1985–1987 гг. [5] на территории Томской области (Западная Сибирь) позволили определить диапазон изменений значений плотности разрядов молнии в землю от 1,6 до 4,2 разрядов на 1 км^2 в год. Средние значения числа дней с грозой меняются по территории от 16 до 30, причем наименьшие значения приходятся на русло р. Обь. Наибольшие значения плотности разрядов молнии в землю приходятся тоже на долину р. Обь (в среднем 3,4 разряда на 1 км^2 в год), что связано, возможно, с наличием геоэлектрической неоднородности, со-

здаваемой крупной рекой. (Заметим что на долину Рейна также приходится 3 разряда на 1 км² в год.) Наименьшие – на таежные области право и лево-бережья. В результате исследований грозовой активности в районе Великих Озер [6] получено, что средняя плотность разрядов молнии в землю в этом районе составляет 2,4 разряда на 1 км² в год.

В пределах каждого из выделенных нами типов ландшафтов были рассчитаны коэффициенты корреляции (R) между средним числом дней с грозой и плотностью разрядов молнии в землю (табл. 2). Кроме того, были получены нелинейные зависимости значений N (предиктанта) от значений T (предиктора), аналогичные уравнению (1). В табл. 2 представлены значения коэффициентов a и b, связывающих значения среднего числа дней с грозой и значения плотности разрядов молнии в землю в пределах каждого из ландшафтов, а также доля объясненной вариации предиктанта V (%) при приведенных числовых выражениях a и b.

Анализ коэффициентов корреляции (R), представленных в табл. 2, позволяет сделать следующие выводы: значимые с вероятностью не менее 95% корреляционные зависимости между средними значениями числа дней с грозой и плотностью разрядов молнии в землю обнаружены в 3 ландшафтных группах: в долине р. Рейн, на холмистой поверхности с высотами менее 500 м н.у.м., и в районах высокогорья. Причем в районах высокогорья наблюдается отрицательная корреляционная зависимость.

Если сравнить полученные результаты с результатами, имеющимися по другим регионам, то окажется, что корреляция значений N и T вдоль р. Обь высока и значима с вероятностью не менее 95%. То же самое можно сказать относительно таежных районов Томской области [5]. Для района Великих Озер [6] существует значимая корреляционная зависимость плотности разрядов молнии в землю и числа дней с грозой. Причем это подтверждается сравнением эмпирических данных плотности разрядов молнии в землю с рассчитанными по значениям числа дней с грозой. Следовательно, удовлетворительная аппроксимация значений плотности разрядов молнии в землю значениями среднего числа дней с грозой и корреляционная и нелинейная (типа уравн. 1) возможна только в пределах вышеназванных ландшафтных групп.

Что касается закономерностей изменения значений плотности разрядов молнии с высотой, то выводы, полученные для различных территорий могут быть и противоположными. Неоднозначность выводов о влиянии высоты местности на величину плотности разрядов молнии в землю является, возможно, следствием того, что доля наземных разрядов в различных географических районах и в различных рельефных районах горной местности далеко не одинакова. Разрешение этого вопроса требует дополнительных исследований.

Таблица 1
Статистические характеристики значений грозовой активности для различных ландшафтов

Номер ландшафта	Плотность разрядов молнии в землю				Число дней с грозой			
	N	N min	N max	σ	T	T min	T max	σ
I	2,6	0,8	4,7	1,0	26	22	32	2,4
II	2,8	0,7	4,9	1,1	27	22	33	2,8
III	2,2	0,9	4,3	1,0	29	22	34	2,9
IV	1,5	0,7	2,2	0,5	31	27	33	2,2
V	1,8	1,4	2,1	0,3	33	32	35	1,2
VI	2,1	0,7	4,3	1,0	28	22	33	3,0
VII	3,0	1,7	4,3	0,9	26	22	32	3,2

Таблица 2
Значения коэффициентов a и b, доля объясненной вариации V (%) и коэффициенты корреляции (R) между значениями N и T для каждой из выделенных ландшафтных групп

Группа	Число квадратов	a	b	V	R
I	29	0,541	0,483	1,3	0,11
II	26	0,043	1,269	11,4	0,60
III	23	0,159	0,782	2,6	0,16
IV	12	2,245	-0,126	0,1	-0,03
V	7	7434212,7	-4,356	77,1	-0,84
VI	28	4,07	-0,198	0,2	-0,04
VII	9	0,053	1,249	31,1	0,56

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобразования РФ (грант 97-0-12.0-10) и Немецкой Академической службы обмена специалистами (DAAD).

Литература

1. Колоколов В.П. О характеристиках глобального распределения грозовой деятельности // Метеорология и гидрология. 1969. № 11. С. 47–55.
2. Лободин Т.В. Закономерности распределения числа дней с грозой на земном шаре // Тр. ГГО. 1984. Вып. 484. С. 37–44.
3. Popolansky F. Correlation between the number of lightning flashes registred by lightning flash counters, the numbers of thunderstorm days and the duration of thunderstorms. SIGRE Report SC 33-71 (WG 011TF 01) 08/CS-IWD, May 1971.
4. Руководящие указания по защите электростанций и подстанций от прямых ударов молнии и грозových волн, набегающих с линии электропередачи / М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975.
5. Rakov V.A., Shoivanov Y.R., Shelukhin D.V. et al. Annual ground flash density from lightning flash counter records // Proceedings of 20-th International conference on lightning protection. Interlaken, Switzerland. September 24–28. 1990. P. 6.81–6.86.
6. Crozier C.L., Herscovitch H.N., Scott J.W. Some Observations and Characteristics of Lightning Ground Discharges in Southern Ontario // Atmosphere-Ocean 26 (3). 1988. P. 399–436.

В.И. Шишковский

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РАЗРЯДОВ В КУРСЕ ФИЗИКИ

Томский государственный педагогический университет

УДК 5308.97

Несмотря на то, что вопросам физики и техники газового разряда уделялось достаточно большое внимание, имеется еще много нерешенных проблем. В первую очередь это относится к высокочастотным (ВЧ) разрядам, среди которых особое место занимают ВЧ электродно-емкостные разряды, подробное изучение которых началось в семидесятых годах [1–3].

Воздействие электрических полей на электроны в высокочастотных электродно-емкостных разрядах

Оказалось, что существенное влияние на протекающие в таких разрядах физико-химические процессы, а также на эффективные коэффициенты элементарных процессов оказывает вид функции распределения электронного газа по энергиям. Зная функцию распределения электронов по скоростям (ФРЭ), можно определить основные параметры плазмы ВЧ разрядов. Обладая малой массой, электронный газ наиболее восприимчив к внешним воздействиям, связанным с изменением параметров воздействия ВЧ генератора на плазменную нагрузку [4]. Если функция распределения атомов, молекул и ионов по скоростям почти всегда оказывается близкой к максвелловской [5], то ФРЭ в плазме электродно-емкостных разрядов может существенно отличаться от равновесной [6]. Понятие «температура» электронов в такой плазме теряет физический смысл, и в некоторых случаях можно вести речь лишь об эффективной электронной температуре ($T_{\text{эфф}}$), связанной со средней энергией электронов ($\bar{\varepsilon}$) соотношением: $\bar{\varepsilon} = 3/2 kT_{\text{эфф}}$.

Электродно-емкостные разряды поддерживаются переменным электрическим полем $E = E_0 \exp(i\omega t)$. Величина ω изменяется, как правило, в диапазоне от 6 МГц до нескольких сотен МГц.

Теоретически ФРЭ в таких разрядах описывается кинетическим уравнением Больцмана. Будем рассматривать случай, когда амплитуда поля не зависит [7] от времени и координат. Кроме того, считается, что концентрация электронов также постоянна во времени и пространстве. Применим для решения этого уравнения широко известный способ решения, основанный на разложении ФРЭ по сферическим гармоникам – полиномам Лежандра. Обычно ограничиваются двучленным приближением [8]. При этом уравнение Больцмана в двучленном приближении имеет вид:

$$\frac{df_0}{dt} + \frac{eE}{3mv^2} \frac{d}{dv} (v^2 f_1) - S_0 = 0, \quad (1)$$

$$\frac{df_1}{dt} + \frac{eE}{m} \frac{df_0}{dv} - S_1 = 0. \quad (2)$$

Здесь e , m , v – заряд, масса, скорость электрона; f_0 и f_1 соответствуют нулевому и первому членам разложения ФРЭ. Порядок величины столкновительных членов $S_0 \sim \bar{v}_u f_0$, а $S_1 \sim \bar{v}_m f_1$, где \bar{v}_u – эффективная частота релаксации энергии электронов, а \bar{v}_m – эффективная частота релаксации импульса. Сферически симметричная часть ФРЭ (имеется в виду f_0) нормируется на концентрацию электронов: $4\pi \int_0^\infty v^2 f_0 dv = n$. В зависимости от соотношения величин \bar{v}_m , \bar{v}_u и ω из системы (1)–(2) получают различные приближенные уравнения для f_0 . Для реальных газов, как правило, $\bar{v}_m \gg \bar{v}_u$.