

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ГЛАВНАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А. И. ВОЕЙКОВА

06
Т78

Т Р У Д Ы

ВЫПУСК 204

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук
И. М. ИМЯНИТОВА и Е. В. ЧУБАРИНОЙ

212230

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1967

В сборнике помещены статьи по различным вопросам атмосферного электричества. Значительная часть статей посвящена вопросам методического характера, а также общим вопросам атмосферного электричества.

Другую, большую часть сборника составляют статьи, посвященные изучению атмосфериков. В основном это статьи о закономерностях распределения гроз по территории Советского Союза на основании наблюдений за атмосфериками.

В сборнике приводятся материалы по анализу наблюдений за атмосфериками, генерируемыми близкими грозами.

Сборник представляет интерес как для специалистов по атмосферному электричеству, так и для специалистов других областей, сталкивающихся в своей деятельности с проявлениями атмосферного электричества.

*И. М. ИМЯНИТОВ, Я. М. ШВАРЦ, С. И. АНДРЕЕВА,
Б. Ф. ЕВТЕЕВ, И. И. КАМАЛДИНА, Ю. Н. МАЛАШЕНКО.*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОКИ НАД ГРОЗОВЫМИ ОБЛАКАМИ

По напряженности электрического поля над грозовыми облаками и по средним значениям проводимости воздуха, рассчитанным по экспериментальным данным, вычислены электрические токи над 39 грозовыми облаками. Величины токов оказались меньше ранее полученных Гишем, Уайтом и Стерджисом, Кангасом и Рейном значений токов над грозовыми облаками. Подробно рассмотрена методика расчета электрического тока над облаками. Приводятся средние данные о проводимости воздуха в диапазоне высот 5—12 км, полученные зарубежными авторами в США, Европе, Японии. Показано, что отклонение средних значений проводимости, полученных в разных географических районах, от средних значений проводимости, вычисленных по всем данным, не превышает $\pm 20\%$. В большинстве случаев отклонение результатов индивидуальных значений проводимости от средних значений не превышает $\pm 20\%$. Высказывается мнение, что средние значения электрических токов над грозовыми облаками, полученные Гишем, Уайтом, Стерджисом, Кангасом, Рейном и в настоящей работе, нельзя считать типичными для всего земного шара и использовать в качестве средних данных при подсчете электрического тока, создаваемого грозами.

Введение

Сведения о величине электрического тока над грозовыми облаками, опубликованные Гишем и Уайтом [1], Стерджисом, Кангасом и Рейном [2] относятся к числу немногочисленных экспериментальных данных, непосредственно подтверждающих существование всемирной замкнутой токовой цепи грозового происхождения [3, 4]. Очевидно, в силу единственности упомянутых данных произошла, на наш взгляд, абсолютизация этих результатов. Значения токов над грозовыми облаками, полученные в ограниченном географическом районе, в ограниченном диапазоне широт и к тому же на ограниченном материале, стали распространяться на всю территорию земного шара.

В связи со сказанным представляло интерес получить данные об электрических токах над грозовыми облаками, развивающимися в других районах, и сравнить их с результатами работ [1, 2].

В течение последних лет Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова и Государственным научно-исследовательским институтом Министерства гражданской авиации осуществлялась обширная программа исследования мощной кучевой облачности. Составной частью этой программы было получение данных о величине градиента потенциала электрического поля над облаками. Эти результаты измерений наряду со средними значениями проводимости, вычисленными по данным других авторов, послужили основой для расчета электрического тока

над облаками типа *Cu cong.*, *Cb inc.*, *Cb calv.* Измерения производились в различных районах СССР между 40 и 60° с. ш.

Остановимся кратко на методике получения данных о градиенте потенциала электрического поля. Измерения градиента производились с помощью электростатических флюксометров системы ГГО [5], установленных на самолете-лаборатории ТУ-104. По данным измерений одновременно определялись три составляющие градиента потенциала внешнего электрического поля в координатной системе, связанной с самолетом, и величина собственного заряда самолета [5]. Заметим, что в работах [1, 2] измерялась лишь вертикальная составляющая градиента потенциала внешнего поля. Самолет был оборудован также радиолокатором, аппаратурой для измерения перегрузок и некоторыми метеорологическими приборами. Нами использованы результаты измерения градиента потенциала электрического поля во время тех полетов, когда самолет проходил над верхней частью облака, преимущественно по центру радиолокационной засветки, постоянным курсом, на неизменной во время прохода высоте и с постоянной скоростью. Визуально определялось примерное превышение самолета над верхней границей облака.

Вторым существенным параметром, знание которого необходимо для подсчета плотности электрического тока над облаком, является электропроводимость воздуха. К сожалению, измерения проводимости на самолете не производились. Поэтому мы были вынуждены прибегнуть к использованию данных о проводимости, полученных другими авторами в других географических районах, убедившись предварительно в том, что средние значения проводимости в интересующем нас диапазоне высот не очень сильно отличаются друг от друга и отклонения отдельных результатов измерений от средних значений в определенном географическом районе невелики. Кроме того, мы также основывались на заключении Гиша и Уайта [1] о примерном равенстве проводимостей на одном и том же уровне в чистой атмосфере и над грозowymi облаками.

Некоторые наши результаты в поддержку этого вывода будут приведены ниже.

В соответствии с изложенными выше общими соображениями основное содержание статьи сгруппировано в три раздела: проводимость атмосферы, расчет электрического тока, результаты и обсуждение.

Проводимость атмосферы

Основной целью этой части работы было выяснение возможности переноса данных о проводимости воздуха, полученных разными способами в разных точках земного шара, отличающихся как по долготе, так и по широте, в разное время года и суток, на районы полетов самолета-лаборатории. Полеты самолета над мощными кучевыми облаками происходили в основном в диапазоне высот 7—11 км, поэтому в дальнейшем, если не будет сделано специальных оговорок, наше обсуждение коснется результатов измерений проводимости только на этих высотах.

В табл. 1 представлены работы, откуда были заимствованы данные о проводимости, указан район, где проводились измерения, год и сезон, когда они были выполнены.

Здесь же даны сведения о носителе аппаратуры, методе измерения (знаком плюс (+) отмечены измерявшиеся полярные проводимости). Как видно из таблицы, в ряде случаев измерялась одна полярная проводимость, в то время как в расчетных формулах (см. ниже) фигурирует суммарная проводимость. Поэтому в первую очередь мы просмотрели данные об отношении полярных проводимостей. Приведенные в работах

Таблица I

Автор	Район измерения	Дата	Носитель аппаратуры	Метод измерения	Число полетов	Измерения	
						λ+	λ-
Гиш, Уайт [1]	Центр США	VII, X 1948	Самолет	Гердлена	Несколько	+	+
Каллахен и др. [6]	Северо-восток США, Калифорния, Флорида	II—XI 1950	"	"	33	+	+
Стерджис и др. [2]	Флорида	VII 1955	Неуправляемый аэростат	"	3	—	+
Уоснер и др. [7]	Вашингтон	IX 1956, VI 1957	То же	"	6	+	+
Люжон [8]	Шпицберген	VIII 1957, VIII 1958	Радиозонд	"	33	+	—
Люжон [8]	Швейцария	VIII 1957, 1958	"	"	81	+	—
Ушикава [9]	Япония, Татено	1961	"	"	Не указано	—	+
Ушикава [9]	Япония, Татено	V 1959	"	Шеринга	3	—	+

[1, 6] средние значения полярных проводимостей в интересующем нас диапазоне высот примерно равны, относительная разница в значениях проводимостей не превышает 5%. Одновременные измерения обеих полярных проводимостей, выполненные в Австралии [10], также подтверждают этот результат даже в случае отдельного измерения. В работе [7] получено несколько иное отношение полярных проводимостей. По данным, приведенным в этой работе, отношение средних значений $\frac{\lambda_+}{\lambda_-}$ равно примерно 0,85, для отдельных измерений отношение $\frac{\lambda_+}{\lambda_-}$ колеблется в пределах 0,75—1,1. На основании указанных выше работ с приемлемой для нас точностью можно положить $\lambda_+ = \lambda_-$ и в тех случаях, когда измерялось полярное значение проводимости $\lambda_{п.т.}$, вычислять суммарную проводимость λ по приближенной формуле $\lambda = 2\lambda_{п.т.}$.

В табл. 2 представлены значения суммарной проводимости на высотах 5—12 км, полученные по данным работ [1, 2, 6, 7, 8, 9]. Таблица 2 составлена в том же порядке, что и табл. 1.

Таблица 2

Значения $\lambda \cdot 10^4$ (эл.-ст. ед.)

Работа	Высота (км)							
	5	6	7	8	9	10	11	12
[1]	12	16	22	29	36	43	51	60
[6]	14	19	23	32	38	46	—	—
[2]	14	20	26	32	40	47	53	65
[7]	21	25	31	40	48	55	70	87
[8]	15	19	25	31	39	49	62	76
[8]	15	19	24	31	37	46	56	69
[9]	15	17	23	29	36	43	53	63
[9]	15	14	23	31	36	41	48	54
Среднее без учета данных [7]	15	18	23	30	38	46	54	65
2 $\lambda_{п.т.}$ [9]	15	18	23	29	36	47	59	72

В последних строках табл. 2 даны средние значения λ без учета данных работы [7] и приведены удвоенные значения $\lambda_{п.т.}$ — проводимости, рассчитанной теоретически для ионов, подвижность которых у поверхности земли равна $k_0 = 1,3$ см²/сек. Эти расчетные данные аналогичны соответствующим данным, приведенным в [6] для той же подвижности k_0 . Из табл. 2 следует, что данные о проводимости на интересующих нас высотах, полученные, как это видно из табл. 1, в самых различных районах земного шара и в разное время года, отличаются сравнительно немного друг от друга, за исключением данных работы [7]. Отклонения от среднего значения λ на высоте 7 км составляют не более $\pm 10\%$, на высоте 11 км — не более $\pm 20\%$.

Результаты работы [7] не были приняты во внимание при подсчете средних значений проводимости из-за того, что они довольно сильно отличаются от многих других средних данных. По-видимому, данные работы [7] завышены. Заметим, что авторы работ [1, 2] в своих расчетах использовали данные о проводимости, близкие по величине к тем сред-

ним значениям λ , которые приведены в табл. 2 и использованы нами при вычислении плотности электрического тока над грозowymi облаками. Нами не учтены результаты работ Хатакеямы и Ушикавы [11, 12], ибо они впоследствии были подвергнуты критике со стороны Ушикавы [9], и результаты работы Палтриджа [10], так как сам автор указал на неопределенность абсолютных значений проводимости, полученных им из опытов. В связи с тем что данные об электрических токах над грозowymi и ливневыми облаками могут быть использованы не только в качестве средних данных о грозowych или ливневых облаках как источниках всемирной замкнутой электрической цепи, но и в качестве данных, характеризующих динамику процесса во время развития отдельного облака, представляет интерес рассмотреть, каковы были отклонения данных отдельных измерений проводимости от средних значений. Очевидно, эти сведения будут характеризовать те пределы, в которых меняется проводимость в зависимости от сезона, времени суток и места измерения (для данного географического района), так как измерения проводились в разные сезоны, разное время суток и в некоторых случаях в пределах обширных географических районов.

По данным работы [6], отклонения отдельных измерений от средних значений не превышают $\pm 10\%$. Авторы этой работы делают выводы об отсутствии выше нескольких километров суточных вариаций в течение дневных часов и сезонных вариаций λ , о постоянстве значения λ по территории США.

По данным работы [1], средние значения λ_- , полученные при подъемах и спусках самолета, отличаются не более чем на 10% , разброс соответствующих значений λ_+ такой же, за исключением результатов измерений на высоте 9 км, когда среднее значение λ_+ при подъеме было примерно на 30% меньше среднего значения λ_+ при спуске. В работах [2, 9] не приводятся данные, по которым можно было бы оценить отклонения индивидуальных значений λ от средних. Отклонения результатов отдельных измерений от средних величин, насколько это видно из графиков, приведенных в [7], не превышают $\pm 20\%$. Многочисленные результаты измерений λ_+ во время полетов радиозондов в различное время суток и в разные сезоны приведены в работе [8]. В 80% случаев измерений отклонения от средних значений на высотах 7 и 11 км не превышали $\pm 20\%$. В остальных случаях они были больше.

Таким образом, совокупность представленных результатов измерений проводимости, проведенных в северном полушарии (в Америке и Европе) в довольно большом диапазоне широт, в пределах которых проводились полеты на самолете-лаборатории в разные сезоны, в разное время дня, свидетельствует об отсутствии зависимости λ , определяемой с относительной ошибкой $\pm 20\%$ на высотах 7—11 км, от географического района измерений, времени суток и сезона. Это обстоятельство позволяет нам использовать полученные средние данные λ (табл. 2) в качестве средних значений λ для районов полета самолета-лаборатории, находящихся в границах территории Советского Союза.

Как уже указывалось, единственными данными, свидетельствующими о равенстве проводимости в чистой атмосфере и над грозowymi облаками приблизительно в том же диапазоне высот полета, что и высота полета самолета-лаборатории, были данные Гиша и Уайта [1]. Нам не встречались работы, в которых оспаривалось бы это положение, хотя со времени опубликования работы Гиша и Уайта прошло уже много лет. Осенью 1965 г. во время испытания одного из методов измерения проводимости Я. М. Шварцем, Ю. Ф. Пономаревым и Б. Ф. Евтеевым были получены сравнительные данные о полярных проводимостях в чистой атмосфере

и над куполами двух облаков Сb, находившихся примерно на 800 м ниже высоты полета самолета (6000 м). Изменений проводимости обнаружено не было. Постоянная времени прибора равнялась примерно 10 сек. Шкала прибора была достаточной величины, чтобы заметить двух-трехпроцентное отклонение луча выходного шлейфа самописца.

Очевидно, для того чтобы величина проводимости в какой-то области принимала значение, отличное от значения в окружающей среде, необходимо существование факторов, действующих на проводимость. К таким факторам могут быть отнесены: появление ионизирующих агентов, появление аэрозолей, движения воздуха, способствующие переносу ионов из области с меньшей (большей), концентрацией в область с большей (меньшей) концентрацией.

Появление дополнительного ионизирующего агента над мощными кучевыми облаками трудно себе представить. Скорость упорядоченного вертикального движения потока воздуха над облаками Сb calv. и Сb inc. не превышает обычно 5 м/сек. [15]. Движения с такими скоростями не могут приводить к заметному изменению содержания ионов, а следовательно и проводимости.

Аэрозоли в принципе могут приноситься потоками воздуха. Но совершенно невероятно, чтобы они могли быть принесены нисходящими потоками, типичными для облака Сb inc. Маловероятно, чтобы восходящим потоком над облаком Сb calv. сопутствовал бы постоянный перенос аэрозолей из облака. Так, например, по мнению Шметера [15], восходящие потоки не представляют собой верхнюю часть восходящего внутриоблачного конвективного потока, а, возможно, вызваны «выталкиванием» воздуха вверх поднимающейся вершиной облака. Кроме того, ядер конденсации в вершинах Сb calv., Сb inc., по-видимому, нет, а число ледяных кристаллов ограничено (порядка 1000 м^{-3}), в то время как концентрация легких ионов в чистой атмосфере на уровне 10 км достигает нескольких тысяч ионов на 1 см^3 .

Таким образом, все сказанное выше подтверждает возможность приращения в наших расчетах средних значений проводимости, полученных по данным ряда работ с учетом того, что относительная ошибка в рассчитанных величинах плотности электрического тока над грозовым или ливневым облаком по этой причине будет составлять примерно $\pm 20\%$.

Следует обсудить еще один фактор, который может сказаться на величине проводимости. При больших значениях напряженности электрического поля над облаком может наблюдаться явление типа электродного эффекта у поверхности земли. Верхняя часть облака в силу малой проводимости в ней может быть плохим поставщиком ионов того же знака, что и напряженность поля над облаком. В результате будет происходить обеднение ионами этого знака области над облаком и увеличение напряженности поля из-за появления объемного заряда. Если при этом мы будем пользоваться для расчета измеренными значениями напряженности электрического поля и значениями проводимости в безоблачной атмосфере, то произойдет завышение расчетного значения электрического тока по сравнению с действительным. Максимальный вертикальный размер l области, в которой может наблюдаться такой эффект, оценивается из равенства $ql = j_{\text{макс}}/2e$, заимствованного у Леба [14], рассматривавшего прохождение электрического тока плотностью j между двумя параллельными плоскостями, причем воздух, находящийся в пространстве между плоскостями ионизируется с интенсивностью q ион / $\text{см}^3 \cdot \text{сек}$. Размеры области пониженной проводимости над облаком должны быть меньше, так как, во-первых, j — непостоянно по всей поверхности облака, во-вторых, существует горизонтальный и вертикальный обмен, в-тре-

тых, поверхность облака все же является источником какого-то количества ионов. Если принять $q=50$ ион/см³. сек., $E=100$ в/см, $\lambda=50 \cdot 10^{-4}$ эл. ст. ед., то $I \approx 300$ м. Эти соображения в какой-то мере могут быть учтены при анализе данных.

Расчет электрического тока

Расчет вертикальной составляющей электрического тока I над облаком может быть произведен в общем случае по формуле

$$I = - \int_S j dS = - \int_S \lambda E_v dS, \quad (1)$$

где λ — проводимость над облаком на заданной высоте h , E_v — величина вертикальной составляющей градиента потенциала электрического поля, S — площадь электрически активной зоны облака, dS — элемент этой площади.

Электрически активной зоной облака в случае его простой структуры, приводящей к распределениям E_v над облаком типа, показанного на

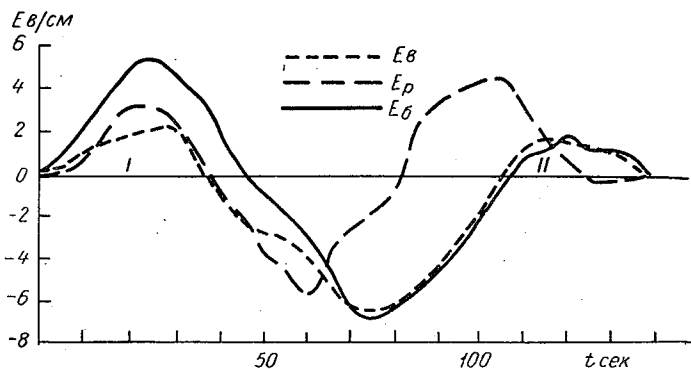


Рис. 1. Ход составляющих градиента потенциала электрического поля при полете над облаком.

E_v — вертикальная составляющая градиента, $E_б$ — поперечная составляющая градиента, E_p — продольная составляющая градиента.

рис. 1, мы назовем зону, где E_v составляет не менее 1% максимального значения E_v . Так называемые хвосты в распределении градиента потенциала электрического поля E_v (на рис. 1 обозначены цифрами I, II), где E_v имеет направление, обратное направлению в центральной части, что обусловлено влиянием нижнего заряда облачного электрического диполя, нами учитываться не будут. Более детальные объяснения по этому поводу будут приведены ниже. Самолет, пролетая над облаком по центру радиолокационной засветки, пересекает активную зону облака. Из опыта получается распределение E_v вдоль линии пересечения. Для того чтобы экстраполировать экспериментальные данные на всю активную зону, очевидно, необходимо постулировать какую-то зависимость между распределениями вдоль линии полета и по площади активной зоны. Рассмотрев многочисленные графики хода E_v во время полетов над различными облаками, можно убедиться в относительной симметричности кривых E_v при большинстве полетов в активной зоне над облаком.

В пользу существования симметрии говорит и переход продольной (вдоль продольной оси самолета) горизонтальной составляющей градиента потенциала электрического поля E_p через нуль приблизительно в тот же момент, когда вертикальная составляющая достигает

Таблица 3

Дата	№ режис-ма	Тип облака	Разряд	Высота полета (км)	Скорость полета (км/час)	Превыше-ние (км)	I (a)		h _{макс} (км)	h _{мин} (км)	$\frac{E^6}{E^5}$	-E ^{в+10}		Примечание
							макс.	мин.				макс.	мин.	
19 VIII 1961	2	Cb	-	10,8	720	2,5	-0,008	-0,007	6,0	6,0	1,3	-1,6	-1,8	
6 VII 1962	1	Cb	+	11,0	900	1,0	0,05	0,05	7,5	7,5	1,0	8,5	9	
6 VII	2	Cb calv.	+	11,5	710	1,0	0,08	0,05	5,0	4,0	1,2	28	25	
6 VII	3	Cb calv.	+	11,1	780	0,5	0,2	0,2	6,6	6,6	1,3	46	44	
10 VII	1	Cb calv.	+	11,5	780	0,5	0,4	0,2	8,8	8,8	0,8	55	25	
11 VII	6	Cb calv.	+	9,7	700	0,5	0,1	0,1	5,9	5,9	0,8	45	45	
11 VII	8	Cb calv.	+	9,0	670	1,0	0,02	0,01	3,7	3,7	1,0	10	11	
2 VIII	6	Cb calv.	+	9,3	790	0,3	0,1	0,1	4,4	4,4	-	65	65	
2 VIII	8	Cb inc.	+	10,0	800	1,5	0,2	0,09	6,8	4,5	0,8	50	40	
3 VIII	6	Cb inc.	-	8,8	810	1,0	0,01	0,008	4,5	4,5	1,2	7	5	
25 IX 1963	3a	Cb calv.—Cb inc.	+	6,6	650	0,5	0,2	0,1	7,2	5,4	0,8	155	150	
25 IX	4	Cb calv.—Cb inc.	-	6,3	650	0,4	0,003	0,001	4,5	4,5	0,5	3,8	3,8	
27 VII 1964	2	Cb calv.—Cb inc.	+	10,6	760	1,0	1,3	0,6	19,0	9,0	0,7	65	65	
6 VIII	2	Cu cong.	-	11,5	800	3,0	0,03	0,02	13,0	13,0	0,6	1,8	1,7	
8 VIII	2	Cb inc.	+	10,8	720	0,7	1,4	1,3	15,0	15,0	3,0	112	110	Одно облако
8 VIII	3	Cb inc.	+	10,4	720	0,7	0,7	0,6	12,0	12,0	1,0	65	65	
8 VIII	9	Cb calv.	-	9,7	720	1,7	0,04	0,04	6,0	6,0	2,0	11	10	
8 VIII	10	Cb calv.	-	8,3	800	0,4	0,2	0,1	8,8	8,8	1,8	80	65	Одно облако
8 VIII	12	Cb calv.	+	9,7	730	1,7	0,3	0,3	10,0	10,0	1,3	50	50	
26 VI 1965	1	Cb inc.	+	10,5	710	0,1	0,1	0,07	8,0	6,0	0,5	33	27	
26 VI	1	Cb inc.	-	10,0	700	1,0	0,02	0,02	7,0	7,0	0,8	6	5	Растекающаяся облако
26 VI	2	Cb inc.	-	10,1	700	1,0	0,009	0,003	7,0	3,9	0,6	2,5	2,5	

26 VI	3	Cb calv.	+	10,7	700	0,3	0,07	0,05	5,9	5,9	0,8	30	21	50	Одно облако
26 VI	4	Cb calv.—Cb inc.	+	10,7	740	0,3	0,04	0,03	5,2	5,2	0,5	16	9	22	
26 VI	5	Cb inc.	+	10,7	720	0,2	0,03	0,006	8,0	8,0	0,6	5,8	4	6,2	Одно облако
26 VI	6	Cb inc.	—	10,7	700	0,4	0,004	0,004	3,9	3,9	0,6	2	1,8	3	
26 VI	7	Cb calv.	+	11,0	750	0,5	0,04	0,02	10,2	10,2	0,6	13	7	14	Одно облако
26 VI	8	Cb calv.	+	11,0	750	0,5	0,1	0,07	8,4	8,4	0,6	18	18	22	
26 VI	9	Cb calv.—Cb, inc.	+	11,0	750	0,5	0,08	0,07	6,3	6,3	0,6	26	23	46	Одно облако
26 VI	10	Cb calv.	+	11,0	750	0,5	0,05	0,02	6,3	5,2	0,8	14	16	26	
26 VI	11	Cb inc.	+	11,0	750	0,5	0,04	0,04	6,3	6,3	0,8	11	10	20	Одно облако
26 VI	13	Cb inc.	+	11,0	750	0,5	0,2	0,04	10,2	4,2	0,6	33	20	45	
Ветер															
26 VI 1965	1	Cb calv.	+	8,4	700	0,1	0,05	0,03	7,8	7,8	0,5	18	20	40	Одно облако
26 VI	2	Cb calv.	+	9,7	700	0,3	0,02	0,01	7,8	5,9	1	5	5,5	6,5	
26 VI	4	Cb calv.	+	9,5	750	0,1	-0,01	-0,009	12,6	12,6	1	-1,9	-1,6	-2,4	Одно облако
26 VI	8	Cb calv.	+	9,5	740	0,3	0,04	0,02	8,4	5,2	0,5	15	12	23	
26 VI	9	Cb ?	+	9,5	750	0,3	0,01	0,004	8,4	4,2	0,6	3	3	4,3	Одно облако
26 VI	10	Cb ?	+	9,5	800	0,3	0,06	0,04	11,0	11,0	0,7	8	7,5	9,2	
26 VI	12	Cb ?	+	10,0	780	0,4	0,05	0,02	8,8	6,6	0,8	14	10	16	Одно облако
26 VI	13	Cb ?	+	10,2	790	0,6	0,07	0,05	11,0	8,8	0,8	9	9,5	10	
10 VIII 1965	1	Cb calv.	+	8,0	750	1,0	0,08	0,08	10,2	8,4	1,0	26	24	40	Одно облако
10 VIII	2	Cb calv.	+	8,0	770	1,0	-0,07	-0,03	8,4	6,3	0,6	-15	-15	-18	
10 VIII	4	Cb calv.	+	9,1	790	1,5	-0,008	-0,002	8,8	5,5	1,0	-1,5	-1,1	-1,7	Одно облако
10 VIII	5	Cb calv.	—	7,3	730	0,5	0,02	0,01	10,0	6,0	0,5	6	6,5	9	
10 VIII	6	Cb calv.	—	7,0	730	0,5	0,01	0,01	6,0	6,0	0,4	10	9	12	Одно облако
10 VIII	7	Cb calv.	—	7,0	670	0,5	-0,02	-0,02	7,2	7,2	1,3	21	21	24	
11 VIII 1965	2	Cb calv.	—	7,0	710	1,0	0,1	0,08	10,0	8,0	0,5	55	50	65	Одно облако
11 VIII	3	Cb calv.	—	6,5	690	1,0	0,03	0,02	9,5	5,7	0,8	20	18	26	
27 VI 1965	4	Cb	+	10,6	790	0,5	0,01	0,003	3,8	1,5	0,5	2,5	0	30	Одно облако
27 VI	5	Cb	+	10,5	790	0,5	0,1	0,03	5,5	6,6	1,0	23	19	26	
27 VI	6	Cb inc.	+	10,6	780	0,5	0,05	0,04	6,6	4,4	0,6	10	12	52	

максимальной величины. Если считать распределение E_v симметричным по площади относительно какого-то центра, то возможен расчет электрического тока над облаком при условии, что самолет проходит над электрическим центром облака, т. е. проходит в районе оси электрического диполя облака. Однако тот факт, что поперечная составляющая поля E_δ , как правило, при полете над облаком не равна нулю, а соизмерима с вертикальной составляющей, свидетельствует о полете самолета не над электрическим центром облака.

Воспользовавшись экспериментальными данными об изменении вертикальной и поперечной составляющей градиента потенциала и некоторыми теоретическими представлениями, можно было бы попытаться, определив электрический центр облака, пересчитать данные по полю, полученные при некотором произвольном проходе, на данные при проходе в направлении центра облака и ввести эти данные в расчетную формулу для вычисления тока. Однако введение дополнительных расчетных соотношений, основанных на принятии теоретически постулируемой модели, привело бы к неопределенности результатов расчета электрического тока. На наш взгляд более целесообразно рассчитать электрический ток над облаком, считая, что полет самолета совершается по линии, проходящей через электрический центр облака, и определить, насколько могут быть занижены значения электрического тока, вычисленного таким способом. Перейдем к выводу расчетной формулы. На основании предыдущих рассуждений примем, что активная зона представляет круг, а самолет проходит через центр этого круга. Тогда из формулы (1) получим следующее выражение:

$$I = -2\pi\lambda \int_0^{R_0} E_v(R) R dR, \quad (2)$$

где R_0 — радиус круга.

Практически получают осциллограммы $E_v = f(t)$. Но $R = vt$, где v — скорость самолета, t — время полета самолета, начиная с прохода центра круга.

Очевидно, из (2)

$$I = -2\pi\lambda v^2 \int_0^{t_0} E_v(t) t dt, \quad (3)$$

где t_0 — время пролета самолетом половины активной зоны, а $v = \text{const}$ по условиям полета. Интеграл $\int_0^{t_0} E_v(t) t dt$ подсчитывался приближенным методом.

Кривые $E_v(t)$ не обладают строгой симметрией. Поэтому, рассчитывая I по разным ветвям, получаем два значения тока над облаком: одно значение является максимальным, а другое — минимальным. Разность рассчитанных величин позволяет оценить количественную неопределенность примененного метода расчета электрического тока над облаком из-за отсутствия симметрии кривой $E_v(t)$.

Как было указано в работах [3, 13], до 15% силовых линий электрического тока, начинающихся в верхней части облака, возвращается на землю в окрестности облака в случае его дипольной электрической структуры.

Довольно большие положительные градиенты потенциала электрического поля, наблюдающиеся по соседству с активной зоной, являются отражением этого обстоятельства. По нашим оценкам абсолютная величина электрического тока, текущего в области положительных градиентов, не превышала 10—20% значения электрического тока в активной зоне.

Знание возможных неточностей в определении величины электрического тока весьма существенно при оценке достоверности полученных результатов и значимости выводов из них. Результаты проведенного обсуждения будут использованы нами при подведении итогов конкретных расчетов.

Результаты и обсуждение

Результаты расчета электрического тока над грозящими и негрозящими облаками представлены в табл. 3. В этой таблице даны две величины тока над облаком; одна из них является максимальным значением тока, другая минимальным. Для того чтобы читатель мог приблизительно оценить, чем определяется та или иная величина тока, в таблице приводятся размеры активной зоны вдоль линии полета, рассчитанные как произведение vt для обеих зон полета от нуля до максимального значения E_B и от максимального значения E_B до нуля. Величина l для зоны, дающей максимальное значение тока, обозначена $l_{\text{макс}}$, а для зоны, дающей минимальное значение тока — $l_{\text{мин}}$. В таблице приводятся также значения отношения вертикальной и боковой составляющих градиента потенциала электрического поля, максимальные значения вертикальной составляющей градиента потенциала, значения вертикальной составляющей на расстоянии от условного электрического центра, соответствующем времени полета 10 сек.

Знаком плюс (+) отмечены случаи прохода над облаками, дающими во время прохода грозовые разряды, знаком минус (—) — случаи прохода над облаками, не дающими разрядов.

В качестве примера в табл. 4 приводятся схема расчета I над облаком, распределение E_B , E_6 , E_p над которым представлено на рис. 1.

Таблица 4

t	E_B	$E_B t$	$(E_B t)_{\text{ср}}$	$(E_B t)_{\text{ср}} \Delta t$	t	E_B	$E_B t$	$(E_B t)_{\text{ср}}$	$(E_B t)_{\text{ср}} \Delta t$
0	-6,5	0	-27,5	-275	0	-6,5	0	-25	-250
10	-5,5	-55	-57,5	-575	10	-5	-50	-55	-550
20	-3,0	-60	-30,0	-300	20	-3	-60	-60	-600
30	0	0			30	-2	-60	-30	-300
					40	0	0		
Сумма				-1150					-1700

$$I = -2 \pi \lambda v^2 \Sigma (E_B t)_{\text{ср}} \Delta t$$

$$v = 700 \text{ км/час} \quad \lambda = 43 \cdot 10^{-4} \text{ эл.-ст. ед.}$$

$$I_{\text{макс}} = 0,02 \text{ а} \quad I_{\text{мин}} = 0,01 \text{ а}$$

В связи с тем, что результаты расчета представляют собой весьма приближенные значения величин токов над облаками, расчетные данные прежде чем поместить в табл. 3 округлялись до первой значащей цифры.

Следует отметить, что распределение E_B , E_6 , E_p , показанное на рис. 1, относится к числу наиболее простых по форме из полученных распределений. Остальные зависимости E_B , E_6 , E_p сложнее из-за изломов и выбросов на кривых, обусловленных, по-видимому, неоднородностями

в распределении заряда и грозowymi разрядами. Поэтому кривые $E_v(t)$ перед расчетом частично сглаживались.

Всего нами рассмотрены результаты измерений во время 17 полетов над облаками.

Распределение поля над 18 облаками имело сложное строение, расчет тока над этими облаками по нашей методике невозможен. 34 облака были положительно поляризованы, 5 облаков — отрицательно поляризованы.

При рассмотрении результатов измерений, помещенных в табл. 3, обращает на себя внимание такой факт: отношение $\frac{E_v}{E_0}$ в 1965 г., как правило, меньше, чем в остальные годы. По-видимому, это связано с субъективным выбором тем или иным пилотом места воздушного корабля при

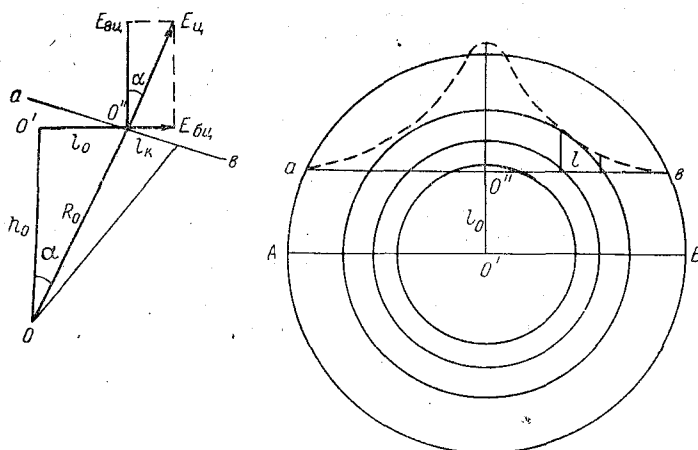


Рис. 2. Схема расчета возможных значений электрического тока над грозвым облаком.

проходе над радиолокационной засветкой, а также тем, что в 1965 г. перед пилотом не ставилась жестко задача проведения самолета над центром засветки. Нами предпринята попытка найти коэффициент, на который следовало бы умножить рассчитанные указанным выше способом значения тока, для того чтобы получить значения тока, более близкие к действительным. При этом, естественно, мы предположили, что, во-первых, существует так называемый электрический центр облака, относительно которого распределение E_v в плоскости полета симметрично, и, во-вторых, непосредственно вблизи центра электрическое поле над облаком можно представить в виде поля точечного заряда. Второе предположение оправдывается тем обстоятельством, что в случае дипольного строения облака положительный заряд расположен значительно ближе к точке измерения. Это особенно сказывается, когда измерения производятся вблизи электрического центра облака. Экспериментальные данные по распределению E_v подтверждают возможность использования такого приближенного представления при описании закона изменения E_v вблизи электрического центра в некоторых простых случаях. Нами рассматривается статическая картина распределения E , ибо в настоящее время в связи с отсутствием данных по изменению электрической проводимости на пути от условного места расположения заряда до точки измерения не представляется возможным рассчитать распределение стационарного поля E .

На рис. 2 представлена схема, иллюстрирующая соотношение E_v и E_6 , и схема, показывающая распределение E_v в плоскости полета. На этом рисунке O — условное место расположения верхнего заряда облака, O' — электрический центр облака в плоскости полета самолета, O'' — точка наибольшего приближения самолета к центру облака, где $E_v = E_{v.ц}$, $E_6 = E_{6.ц}$, l_k — расстояние, определяемое произведением vt_k , av — линия полета самолета.

Очевидно, нам необходимо определить величину l_0 . Далее, зная распределение E_v вдоль линии av , построить распределение E_v вдоль $AO'B$ и затем вычислить ток над облаком I_d :

Приведем окончательную формулу для расчета l_0 , полученную с учетом указанных выше допущений.

$$l_0 = \frac{l_k}{\sqrt{\left[\left(\frac{E_{v.ц}}{E_{v.к}}\right)^{\frac{2}{3}} - 1\right]\left[\left(\frac{E_{v.ц}}{E_{6.ц}}\right)^2 + 1\right]}}, \quad (4)$$

где $E_{v.к}$ — значение E_v на расстоянии l_k от O'' , причем $l_k \ll \frac{av}{2}$.

Расчеты, выполненные указанным способом для 11 облаков, распределение электрического поля над которыми обладает более или менее простой структурой, показали, что полученные нами значения тока занижены против возможных действительных величин в 1,5—2 раза в тех случаях, когда отношение $\frac{E_v}{E}$ заключается в пределах 0,5—1,3.

Таким образом, рассчитанные нами значения токов над грозовыми облаками меньше соответственных значений, приводимых в работах [1, 2]. Максимальное значение тока равнялось 1,4 а (8 августа 1964 г. $\frac{E_v}{E_6} = 3$), в то время как в работе [1] было получено максимальное значение тока 6,5 а, а в работе [2] — более 4,3 а.

Грозовые облака изучались в разных стадиях их развития, поэтому расчет среднего значения электрического тока над ними с целью дальнейшего использования результатов расчета для оценки вклада, вносимого грозовым генератором в сохранение электрического заряда земли, разумен. По нашим данным, среднее значение тока над грозовыми облаками, вычисленное как $\frac{I_{\text{макс. ср}} + I_{\text{мин. ср}}}{2}$, равно $\frac{0,13 + 0,09}{2} = 0,11$ а. По-видимому, это значение в 1,5—2 раза меньше возможного действительного для тех случаев, которые мы рассматривали.

Нами рассчитано слишком мало значений токов над грозовыми облаками, для того чтобы использовать полученные средние значения как типичные даже для определенного пояса широт или для определенного географического района. Но это в полной мере относится и к результатам работ [1, 2].

Средние значения электрических токов над грозовыми облаками, приводимые в этих работах, нельзя признать типичными для всего земного шара в целом.

В связи с тем что грозы в различных широтах могут вносить различный вклад в установление электрического поля хорошей погоды, невозможно, как это было указано в работе [17], считать площадь, занятую грозами, параметром, однозначно характеризующим величину осредненного по большой поверхности земного шара и за большой промежуток времени градиента потенциала электрического поля хорошей погоды. В связи с дискуссией о противофазности годового хода градиента потенциала электрического поля у поверхности земли и годового хода площади, занятой грозами [18, 19], следует заметить следующее. Если, как

это вытекает из результатов работ [1, 2] и настоящей работы, грозы в низких широтах являются значительно более мощными поставщиками электрического тока, чем грозы в средних широтах, а площади, занятые грозами в пределах широт $\pm 30^\circ$, в течение апреля—сентября и октября—марта примерно равны [17], то возможно отсутствует предполагаемая в работах [18, 19] трудность объяснения противофазности годовых ходов градиента потенциала и площади, занятой грозами, с помощью концепций теории глобального грозового генератора электрического поля хорошей погоды. Но, главное, все же продолжает неясным оставаться вопрос о «токовой» мощности этого генератора: может ли он дать требуемые для установления электрического поля хорошей погоды 1800 а? Многочисленные измерения напряженности электрического поля над грозовыми и ливневыми облаками помогли бы решить этот вопрос.

В статье не затрагивались вопросы динамики электрического тока над облаком в процессе развития грозового облака, роли, полярности облаков, соотношения токов в моменты, когда облако грозит и не грозит. Эти вопросы могут явиться предметом отдельных работ.

Выводы

1. Разработана методика расчета электрического тока над облаками по данным о напряженности электрического поля при полете вблизи так называемого электрического центра облака.

2. Значения электрического тока над грозовыми облаками, полученные преимущественно при полетах над Европейской территорией СССР в пределах $40-60^\circ$ с. ш., меньше значений, полученных Гишем, Уайтом и Стерджисом, Кангасом, Рейном.

3. Средние значения электрического тока над грозовыми облаками, полученные Гишем, Уайтом [1], Стерджисом, Кангасом, Рейном [2] и в настоящей работе, нельзя считать типичными для всего земного шара и использовать в качестве средних данных при подсчете электрического тока, создаваемого грозами.

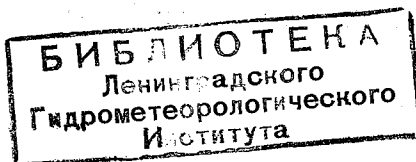
4. Необходимы дальнейшие измерения напряженности электрического поля над облаками для того, чтобы окончательно установить роль глобального грозового генератора в сохранении отрицательного заряда земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gish O H., Wait G. R. Thunderstorms and the earth's general electrification. J. Geophys. Res. 55, 4, 473, 1950.
2. Stergis C. G., Rein G. C., Kangas T. Electric field measurements above thunderstorms. J. Atm. Terr. Phys., 11, 2, 83, 1957.
3. Kasemir H. Das Gewitter als Generator im luftelektrischen Stromkreis I. Z. f. Geophys., 25, 2, 33, 1959.
4. Mülleisen R. Elektrische Feldstärkmessungen über Schauer- und Gewitterwolken. Meteorol. Rundschau, 18, 5, 147, 1965.
5. Имянитов И. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Гостехиздат, М., 1957.
6. Callahan R. C., Goroniti S. C., Parziale A. J., Patten R. Electrical conductivity of air in troposphere. J. Geophys. Res., 56, 4, 545, 1951.
7. Woessner R. H., Gobb W. E., Gunn R. Simultaneous measurements of positive and negative light ion conductivities to 26 km. J. Geophys. Res., 63, 1, 171, 1958.
8. Lugeon J. Mesures des parasites atmospheriques, d'electricity atmospheriques et de radioactivite de l'air. Zürich, 1960.
9. Uchikawa K. On the improvement of the atmospheric electricity radiosonde. The Geophys. Mag., 31, 4, 705, 1963.

10. Paltridge G. W. Experimental measurements of the small-ion density and electrical conductivity of the stratosphere. J. Geophys. Res., 70, 12, 2751, 1965.
11. Hatakeyama H., Kobayashi J., Kitaoka T., Uchikawa K. A radiosonde instrument for the measurement of atmospheric electricity and its flight results. Recent Advances in Atmospheric Electricity. Pergamon Press, 1958.
12. Uchikawa K. Atmospheric electric phenomena in the upper air over Japan. (Part I a. II). The Geophys. Mag., 30, 4, 617, 1961.
13. Saxon D. S., Hoizer R. E. Distribution of electrical currents in the vicinity of thunderstorms. J. Geophys. Res., 57, 2, 207, 1952.
14. Леб Л. Основные процессы электрических разрядов в газах. Гостехиздат, 1952.
15. Шмeтер С. М. Стадии развития кучево-дождевых облаков и особенности распределения метеорологических параметров в их зоне. Тр. ЦАО, вып. 53, 54, 1964.
16. Имянитов И. М., Лободин Т. В. Исследование электрической структуры ливневых и грозных облаков. Тр. ГГО, вып. 136, 3, 1962.
17. Шварц Я. М., Андреева С. И. Еще раз о связи градиента потенциала с грозовой деятельностью. Тр. ГГО, вып. 188, 51, 1966.
18. Лободин Т. В. Причины годового хода градиента потенциала электрического поля атмосферы. Геофиз. бюлл., № 13, 34, 1963.
19. Имянитов И. М., Чубарина Е. В. Электричество свободной атмосферы. Гидрометеоздат, Л., 1965.

212230



Я. М. ШВАРЦ, С. И. АНДРЕЕВА, В. Г. БОРОДУЛИНА

ВОЗМОЖНОСТИ И ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ФЛЮКСМЕТРА ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

Создана теория работы электростатического флюксметра вибрационного типа, действующего по принципу изменения электрической проницаемости измерительной пластины, выполненной из сетки. Сконструирован и построен лабораторный макет датчика напряженности электростатического поля, действующий по указанному принципу. Получены данные о мощности, потребляемой датчиком, о коэффициенте преобразования датчика, его изменении в зависимости от параметров электростатического генератора и амплитуды колебаний модулятора, о возможных рабочих частотах генератора.

1. Введение

Применяющиеся в атмосферно-электрических и ракетных исследованиях [1, 2] электростатические флюксметры имеют определенные недостатки. В первую очередь это относительно большие габариты, относительно большая потребляемая мощность, наличие вращающихся частей. К этим недостаткам, присущим в одинаковой степени как наземным, так и ракетным приборам, добавляется один недостаток, свойственный только ракетным приборам, работающим в условиях плазмы и под воздействием разного рода излучений. Этот недостаток — изменение рабочей площади измерительной пластины во времени и связанное с этим воздействие токов помехи на работу прибора. Представляются логичными в связи со сказанным поиски других конструкций приборов для электростатических измерений. Среди множества предложенных конструкций особый интерес представляет запатентованная в 1950 г. И. М. Имянитовым [3] конструкция прибора для измерения напряженности электростатического поля, принцип действия которой основан на изменении электрической проницаемости сетки, экспонированной в поле, при перемещении вблизи нее другого электрода. Очевидно, эта конструкция имеет то преимущество, что площадь экспонированного в поле электрода (сетки) остается постоянной, и ее эффективная величина может быть сделана достаточно малой. По-видимому, в принципе эта конструкция может быть сделана достаточно небольших размеров и обладающей небольшим потреблением мощности. По поводу коэффициента преобразования, рассчитываемого как отношение переменного напряжения, создаваемого электростатическим генератором датчика флюксметра, к измеряемой напряженности электростатического поля, можно высказать следующие соображения: по-видимому, в случае применения электро-механической системы перемещения электрода-модулятора коэффициент

преобразования у вибрационного флюксметра будет ниже, чем у электростатического флюксметра ротационного типа (имеющего площадь измерительной пластины, приблизительно равную площади экспонированной в поле сетки, и сопротивление нагрузки, равное сопротивлению на грузки вибрационного флюксметра), из-за невозможности добиться столь высокой, как у электростатического флюксметра, частоты модуляции поля. Однако существует возможность использования для модуляции поля пьезоэлементов и магнитострикционных элементов. Величина коэффициента преобразования, которая будет достигнута в этом случае, может оказаться большой. Решение вопроса о возможности применения пьезоэлементов и магнитострикционных элементов в обсуждаемом флюксметре должно быть делом ближайшего будущего.

II. Принцип действия, теория работы флюксметра

Насколько нам известно, теория работы вибрационных флюксметров обсуждаемого типа не была создана. Поэтому мы сочли необходимым вывести некоторые расчетные соотношения, которые смогут оказаться полезными при конструировании флюксметра и расширят наше понимание особенностей его работы.

Некоторые количественные соотношения можно вывести, пользуясь схемой работы электростатического генератора, представленной на рис. 1. На этом рисунке g — измерительная пластина, выполненная для определенности расчета из ряда параллельно натянутых металлических нитей,

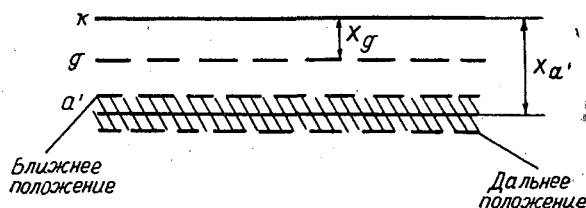


Рис. 1. Схема работы электростатического генератора.

a' — модулятор, k — источник электрического поля. Пусть модулятор будет заземлен, а измерительная пластина соединена с землей через сопротивление нагрузки.

Действие описанной схемы основано на изменении электрической проницаемости сетки измерительной пластины в зависимости от расстояния между нею и колеблющимся электродом-модулятором. Вследствие периодического изменения электрической проницаемости периодически происходит перераспределение зарядов между измерительной пластиной и модулятором. Заряды проходят по сопротивлению нагрузки электростатического генератора, создавая таким образом полезный сигнал. Область колебаний модулятора на рис. 1 показана штриховкой.

Очевидно, если между a' и k приложить напряжение, а g соединить гальванически с a' , то заряд распределится на a' и g пропорционально частичным емкостям a' и g относительно k . Если емкость k относительно a' и g равна $C_k = C_{a'k} + C_{gk}$, то доля заряда, находящегося на g , равна $\frac{C_{gk}}{C_{a'k} + C_{gk}}$. Относительное изменение доли индуцированного заряда на g

при ближнем и дальнем положениях a' будет равно (для весьма приближенных расчетов)

$$\Phi = \left(\frac{C_{gk}}{C_{a'k} + C_{gk}} \right)' - \left(\frac{C_{gk}}{C_{a'k} + C_{gk}} \right)'' \quad (1)$$

где первый член представляет собой долю индуцированного на g заряда при дальнем положении a' , а второй член — долю индуцированного на g заряда при ближнем положении a' . Эту величину нам и нужно определить. Воспользуемся для этого формулой для расчета электрической проницаемости сеток радиоламп, данной в работе [4].

$$B = \frac{C_{a'k}}{C_{gk}} = \frac{\ln \operatorname{th} \pi \sigma - \ln \left[1 - e^{-4\pi(x_{a'} - x_g)L_g \operatorname{ch}^2 \pi \sigma} \right]}{\ln \operatorname{ch} \pi \sigma - 2\pi(x_{a'} - x_g)L_g} \quad (2)$$

Эта формула применима для расчета проницаемости в случае сетки, представляющей ряд параллельно натянутых нитей. В формуле (2) σ — оптическая проницаемость сетки, равная отношению $\frac{d_g}{p}$, где d_g — диаметр нити сетки, p — расстояние между нитями, $L_g = \frac{1}{p}$, $(x_{a'} - x_g)$ — расстояние между измерительной пластиной и модулятором.

Сравнительная оценка членов, входящих в формулу (2), выполненная для значений отношения $\frac{d_g}{p}$, меньших 0,1, при $(x_{a'} - x_g) > 0,1 p$ показывает, что членами $\ln \left[1 - e^{-4\pi(x_{a'} - x_g)L_g \operatorname{ch}^2 \pi \sigma} \right]$ и $\ln \operatorname{ch} \pi \sigma$ в выражении (2) можно пренебречь.

Тогда

$$B = \frac{C_{a'k}}{C_{gk}} = \frac{\ln \operatorname{th} \pi \sigma}{-2\pi(x_{a'} - x_g)L_g} \quad (3)$$

Формулу (1) можно преобразовать следующим образом:

$$\Phi = \frac{C'_{gk}}{C'_{gk} \left(\frac{C'_{a'k}}{C'_{gk}} + 1 \right)} - \frac{C''_{gk}}{C''_{gk} \left(\frac{C''_{a'k}}{C''_{gk}} + 1 \right)} = \frac{B'' - B'}{(B'' + 1)(B' + 1)} \quad (4)$$

В выражении (4) B'' — отношение емкости модулятор — градуировочная пластина к емкости измерительная пластина — градуировочная пластина при ближнем положении a' , B' — то же при дальнем положении a' . Обозначим среднее удаление измерительной пластины от модулятора через b , а амплитуду колебаний модулятора через a . Тогда

$$\begin{aligned} (x_{a'} - x_g)' &= b + a, \\ (x_{a'} - x_g)'' &= b - a. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставив в формулу (4) выражения для B'' и B' с учетом равенств (5) и обозначив $\frac{\ln \operatorname{th} \pi \sigma}{-2\pi L_g} = \beta$, после ряда преобразований получим окончательную формулу для расчета

$$\Phi = \frac{2a\beta}{\beta^2 + 2b\beta + (b^2 - a^2)} \quad (6)$$

Возможен предельный случай, когда $a \ll b$. Тогда

$$\Phi = \frac{2a\beta}{(\beta + b)^2} \quad (7)$$

Оптимальное значение величины β , очевидно, можно найти, приравняв нулю первую производную Φ по β . После преобразований из (6) получим, что Φ достигает максимума при $\beta = \sqrt{b^2 - a^2}$.

Среднее (за полпериода) напряжение, которое должно создаться при работе электростатического генератора в режиме сопротивления, может быть подсчитано по формуле, заимствованной из работы [1, стр. 187], но преобразованной по системе СИ

$$U = 2 \epsilon \epsilon_0 E S \Phi f R, \quad (8)$$

где ϵ_0 — абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость среды, равная единице, E — измеряемая напряженность электростатического поля, S — эффективная рабочая площадь измерительной пластины, f — частота вибрации модулятора, R — сопротивление нагрузки генератора.

Удобно сравнивать результаты опыта и расчета по приведенным формулам, пользуясь удельным коэффициентом преобразования электростатического генератора датчика флюксметра. Назовем удельным коэффициентом преобразования отношение $\frac{U}{ESR}$, где U дано в вольтах, E — в вольтах на сантиметр, R — в омах, S — в квадратных сантиметрах. Эта величина представляет собой плотность тока, вырабатываемую электростатическим генератором, работающим в режиме сопротивления, в поле напряженностью 1 в/см. (Созданная нами конструкция флюксметра вибрационного типа работала в режиме сопротивления.)

Из (8) получим выражение для удельного коэффициента преобразования (в дальнейшем для простоты мы будем опускать слово удельный)

$$K_{\text{пр}} = \frac{U}{ESR} = 2 \epsilon_0 f \Phi \frac{a}{\text{см}^2} \frac{\text{м}}{\text{в}}. \quad (9)$$

Учитывая, что нами $K_{\text{пр}}$ измеряется в $\frac{a}{\text{см}^2} \frac{\text{см}}{\text{в}}$, и подставляя значение ϵ_0 в (9), получим окончательную формулу для приближенного расчета $K_{\text{пр}}$ в $\frac{a}{\text{см}^2} \frac{\text{см}}{\text{в}}$,

$$K_{\text{пр}} \approx 1,8 \cdot 10^{-13} f \Phi \frac{a}{\text{см}^2} \frac{\text{см}}{\text{в}}. \quad (10)$$

Расчет по формуле (9) показал, что при значении S порядка 10 см^2 , E порядка 100 в/см , R порядка 10^6 ом , f порядка 100 гц можно получить U порядка десятка мв. Основываясь на этих цифрах, мы создали опытную конструкцию и электрическую схему вибрационного флюксметра для экспериментальной проверки высказанных положений.

III. Описание конструкции, схема исследования

Схематическое изображение общего вида конструкции датчика электростатического флюксметра вибрационного типа представлено на рис. 2, а электрическая схема его исследования дана на рис. 3. Одним из главных узлов вибродатчика является вибросистема, которая состоит из нижней мембраны 1, укрепленной на фланце, верхней мембраны 7, укрепленной в экранном кольце 2, модулятора 3, находящегося на оси системы, магнитной системы 6, звуковой катушки 11.

Модулятор выполнен в виде кольца с натянутой металлической сеткой, имеющей квадратные ячейки $1 \times 1 \text{ мм}$. Сетка изготовлена из проволоки диаметром около $0,06 \text{ мм}$. На модуляторе находится контакт, к которому припаян провод, идущий на разъем П (рис. 3). В датчике использованы магнитная система от динамика ЗГД-6 ВЭФ и мембраны от

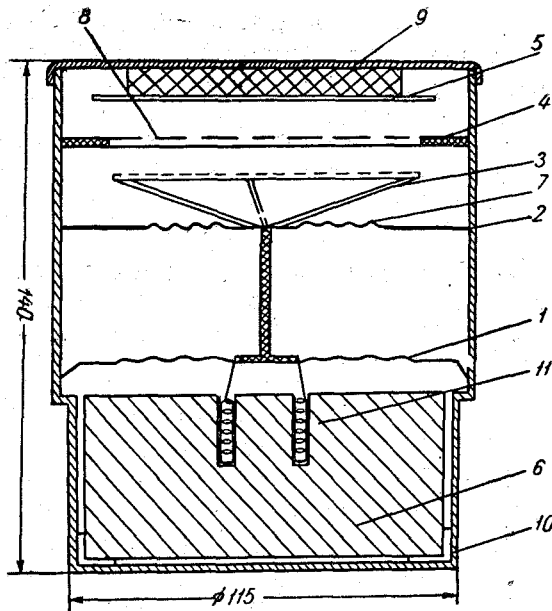


Рис. 2. Схематическое изображение конструкции датчика флюксметра вибрационного типа.

динамиков других типов, подходящие по размерам. Верхняя мембрана сменная. Меняя размер мембраны или покрывая мембрану лаком, можно менять жесткость всей подвижной системы в целом. Напряжение для раскачки модулятора подводится через разъем III (рис. 3). Основным элементом датчика является измерительная пластина 8, представляющая собой сетку, состоящую из ряда параллельно натянутых нитей. Диаметр нитей составлял около 0,06 мм. Расстояние между ними в одной пластине было равным 2 мм, в другой — 4 мм, в третьей — 8 мм. Измерительная пластина смонтирована на изоляционном кольце 4, которое крепится

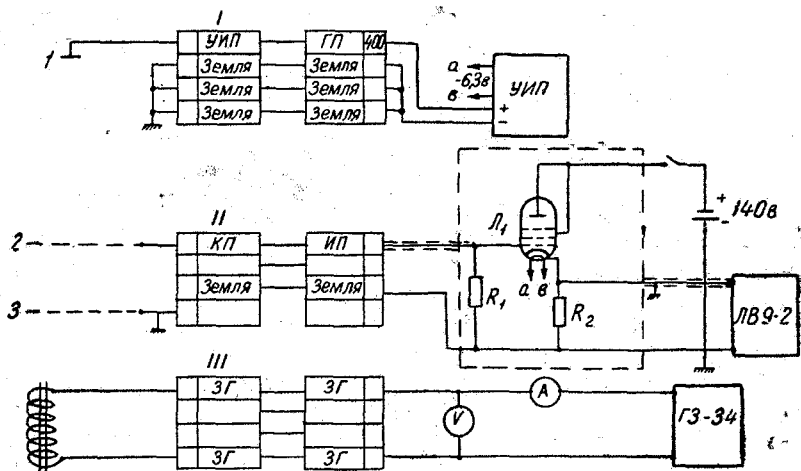


Рис. 3. Электрическая схема исследования флюксметра.

1 — градуировочная пластина, 2 — измерительная пластина, 3 — модулятор, Л₁ — БЖ2Б, R₁ = 5,1 Мом, R₂ = 7,5 ком.

к корпусу четырьмя винтами, дающими возможность менять расстояние между измерительной пластиной и модулятором. Измерительная пластина имеет вывод, к которому присоединяется провод, идущий на разъем II, смонтированный на корпусе 10 датчика. Крышка 9 предохраняет измерительную пластину от различных повреждений. На крышке укреплена градуировочная пластина 5, на которую через разъем I (рис. 3) подается постоянное напряжение тарировки. Расстояние между градуировочной и измерительной пластинами порядка одного сантиметра.

Габариты датчика 115×140 мм. Вес датчика 4 кг.

Электрическая схема соединений при исследовании датчика представлена на рис. 3. Сопротивление нагрузки электростатического генератора датчика равнялась $5,1 \cdot 10^6$ ом, емкость измерительной пластины приблизительно 50 пф. Так как рабочая частота датчика была меньше 100 гц, то из сопоставления величин емкостного и активного сопротивлений нагрузки видно, что электростатический генератор датчика работал в режиме сопротивления.

IV. Результаты исследования датчика

Целью исследований было получение сведений о коэффициенте преобразования генератора, о зависимостях коэффициента преобразования от расстояния между измерительной пластиной и модулятором, от амплитуды колебаний модулятора, от расстояния между измерительной и градуировочной пластинами, от параметров измерительной пластины. Необходимо было получить сведения о мощности, потребляемой датчиком в зависимости от амплитуды колебаний модулятора.

Резонансная частота системы, состоящей из двух стандартных мембран, катушки, модулятора, оказалась равной 40 гц. Увеличение жесткости одной из мембран позволило повысить частоту до 70 гц. Так как напряжение, вырабатываемое генератором, пропорционально частоте вибрации модулятора, то целесообразно создавать вибрационные системы, работающие на более высоких частотах. Очевидно, вряд ли удастся

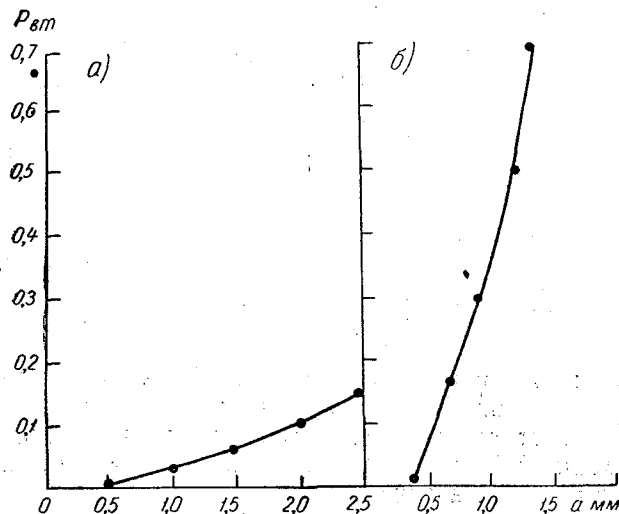


Рис. 4. Зависимость мощности, потребляемой вибросистемой, от амплитуды колебаний модулятора для резонансных частот системы 40 гц (а) и 70 гц (б).

сильно повысить частоту, применяя в качестве элементов упругости мембраны от динамиков, из-за относительно большого веса подвижной части вибросистемы и малой упругости мембран. По-видимому, повысится резонансная частота, если применить в качестве элемента упругости металлическую мембрану. Однако повышение частоты повлечет за собой необходимость переработки всего узла электростатического генератора из-за невозможности использования больших амплитуд раскачки, так как потребляемая мощность при резонансе возрастет пропорционально квадратам частоты и амплитуды раскачки модулятора при неизменности потерь на трение.

Зависимость величины мощности P , потребляемой вибросистемой, от амплитуды колебаний модулятора a в пределах практически использованных a представлена на рис. 4 для рабочих резонансных частот системы 40 и 70 гц. Величина P оказалась малой по сравнению с потреблением датчиков даже специальных флюксометров ротационного типа.

В табл. 1 представлены некоторые из полученных данных о зависимости коэффициента преобразования от амплитуды колебаний модулятора a , среднего расстояния между модулятором и измерительной пластиной b для измерительных пластин различной оптической прозрачности

Таблица 1

Зависимость $K_{пр}$ от a, b, p

b мм	d мм	a мм			
		0,8	1,2	1,5	2,3
$p=2$ мм					
2	14	5,6	8,4	—	—
3	13	3,2	4,8	6,2	11,5
5	11	1,8	2,4	3,3	5,4
8	8	1,0	1,3	1,6	2,5
$p=4$ мм					
2	14	7,9	11,8	15,2	—
3	13	5,1	7,2	9,5	—
5	11	3,1	4,3	5,6	9,1
8	8	1,5	2,2	2,7	4,1
$p=8$ мм					
2	14	7,8	11,6	—	—
5	11	4,6	6,0	7,8	12,3
8	8	2,3	3,2	4,0	6,2

(при $p=2, 4$ и 8 мм) при $d_g = \text{const}$. В табл. 1 d — расстояние между градуировочной и измерительной пластинами.

В табл. 2 представлены результаты сравнения расчетных данных с опытными данными табл. 1. В табл. 2 приведены отношения расчетных и экспериментальных значений.

Если учесть, что расчетная формула (8) дает среднее (за полупериод) значение U , а измеряется некоторое эффективное значение, и, кроме того, расчет E выполняется по приближенной формуле без учета искажения поля и ориентировочно определяется эффективная площадь измеритель-

Таблица 2

Отношение расчетных значений $K_{пр}$
к полученным в опытах

b мм	a мм	p мм		
		2	4	8
2	0,8	2,3	1,8	1,4
	1,2	2,8	2,0	1,7
3	1,5	2,3	1,9	—
	2,3	2,9	—	—
5	1,5	1,8	1,4	1,3
	2,3	2,0	1,5	1,3
8	1,5	1,3	1,5	1,5
	2,3	1,6	1,7	1,6

ной пластины, можно считать, что приведенная выше теория работы датчика позволяет удовлетворительно для инженерной практики рассчитывать датчик рассмотренного типа. Наибольшее расхождение при малых b и a частично связано с неточностью измерений b и a , а также с неточностью установки измерительной пластины параллельно модулятору из-за несовершенства конструкции. Остается не совсем ясным вопрос симметрии отклонений пластины модулятора от среднего положения во время колебаний. Метод измерений a был таков, что измерялось отклонение пластины от среднего положения при ее приближении к измерительной пластине, а затем эта величина умножалась на два. Симметричность отклонений была нами проверена на постоянном токе. При напряжениях около $+6$ и -6 в, поданных на звуковую катушку, отклонения подвижной части вибросистемы, рассчитанные нами по данным нескольких измерений, составляли $0,64$ и $0,62$ мм соответственно. Однако этих данных недостаточно, чтобы окончательно судить о симметричности колебаний модулятора.

Сравнительно небольшое расхождение коэффициентов, приводимых в табл. 2 для $b = \text{const}$, но сильно отличающихся значений a , в особенности для $p = 4$ мм и $p = 8$ мм, свидетельствует о правильно переданной теорией зависимости $K_{пр}$ от a (или U от a). Приблизительно верно передает теория зависимость $K_{пр}$ от b . Коэффициенты, приводимые в табл. 2, для разных p при постоянных a и b заметно отличаются друг от друга во всех случаях, кроме $b = 8$ мм. Это говорит о том, что существует определенное расхождение между предсказанной теоретической зависимостью $K_{пр}$ от p (см. формулы (10), 6), а следовательно, и оптимальными значениями p , и результатами опыта. Представляется нецелесообразным заниматься скрупулезными поисками причин расхождения между теорией и опытом, ибо вследствие определенного несовершенства первой конструкции такого типа остается неясным, насколько могла остаться стабильной характеристика $a = f(U)$ в течение того длительного времени (месяцы) пока проводились опыты. Но независимо от этого из табл. 1 ясно, что для получения большого $K_{пр}$ при сохранении большой оптической прозрачности целесообразно измерительные пластины выполнять из сеток с $p = 8$ мм, если a будет составлять $1-2$ мм, а b в соответствии с этим будет равно $2-3$ мм. Если же придется идти по пути уменьшения

a и b в связи с увеличением f , то будет целесообразным использовать измерительную сетку с $p < 8$ мм.

В связи с тем что источник электрического поля может находиться в реальных условиях как близко, так и далеко от измерительной пластины, представляло интерес проверить, насколько будет зависеть коэффициент преобразования электростатического генератора от положения источника поля. Кроме того, подобные опыты имеют отношение к интерпретации рассмотренных ниже результатов измерений, так как во время их выполнения благодаря конструктивным особенностям датчика менялось расстояние между источником поля и измерительной пластиной и одновременно среднее расстояние между модулятором и измерительной пластиной. Данные, полученные во время измерений, показывают, что для измерительной пластины с $p = 2$ мм изменение положения источника в пределах $d = 6—18$ мм не сказывается заметным образом на величине $K_{пр}$. Очевидно, не должен меняться и $K_{пр}$ при больших d . Другая закономерность наблюдается в случае измерительной пластины с $p = 8$ мм. Заметно небольшое уменьшение $K_{пр}$ уже для $d < 18$ мм и особенно оно заметно для $d < 11$ мм. Если приводить рассмотренные ранее результаты измерений к $d = 14—11$ мм ($b = 2—5$ мм), т. е. к диапазон изменения d , в пределах которого $K_{пр}$ меняется мало (меньше 5%), то значения $K_{пр}$, полученные при $d = 8$ мм ($b = 8$ мм), надо будет увеличить примерно на 10—15% и соответственно значения отношения расчетных и экспериментальных данных, приведенные в последних столбцах табл. 2 для $p = 8$ мм, уменьшить на 10—15%. В меньшей степени эти выводы касаются опытов с измерительной пластиной, выполненной из сетки с $p = 4$ мм.

Приводимые в работе данные свидетельствуют о возможности создания работоспособной конструкции вибрационного электростатического флюксметра. Область его применения, очевидно, может быть определена после проведения дополнительных исследований по устойчивости работы датчика прибора, сроку его службы, воздействию механических перегрузок, а также после изучения возможности повышения резонансной частоты подвижной части системы.

Как было указано во «Введении», одной из причин постановки данного исследования был поиск конструкции датчика, на работе которого мало сказывались бы токи помехи. Рассмотренная конструкция относится к таковой, ибо площадь измерительной пластины остается неизменной. Кроме того, она достаточно мала вследствие возможности применения, как показано в настоящей работе, сеток с чрезвычайно большой оптической прозрачностью. Однако ток помехи может создавать постоянное напряжение на сопротивлении нагрузки электростатического генератора. При движении модулятора это напряжение будет преобразовываться в переменное поле, которое может создать переменную составляющую тока помехи. Для подавления этого эффекта модулятор следует помещать между двумя соединенными пластинами — измерительной и дополнительной. В этом случае эффект изменения потенциала измерительной пластины не должен сказываться на результатах измерений, а следовательно, на результатах измерений не должны сказываться токи помехи.

Заканчивая изложение наших результатов измерений хотелось бы упомянуть о том, что недавно в газете [5] появилось рекламное сообщение о разработке нового прибора для измерения напряженности электростатического поля. Чувствительным элементом датчика прибора является вибрирующая пластина, находящаяся в неравномерном электрическом поле. По-видимому, по общему принципу действия разработанный в США

прибор напоминает прибор, предложенный И. М. Имянитовым. Следует отметить высокие технические качества американского прибора, указанные в рекламной статье: диапазон измерений 1—100 000 в., вес 100 г, потребляемая мощность 0,5 вт, габариты 2×5 дюймов. Как утверждается в сообщении, прибор годен для применения на ракетах и спутниках.

Выводы

1. Созданная теория работы электростатического генератора датчика вибрационного флюксметра пригодна для инженерных расчетов коэффициента преобразования электростатического генератора.

2. Разработанная конструкция может быть принята за основу при создании макета датчика напряженности электростатического поля, действующего по рассмотренному принципу.

3. Электростатические флюксметры вибрационного типа могут быть выполнены более малогабаритными и потребляющими меньшую мощность, чем флюксметры с датчиками ротационного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Гостехиздат, М., 1957.
2. Гдалевич Г. Л., Имянитов И. М., Шварц Я. М. Электростатический флюксметр, предназначенный для измерения в высоких слоях атмосферы. Космические исследования, т. 3, № 1, 102, 1965.
3. Имянитов И. М. Авторское свидетельство № 90151, 1950. Бюллетень изобретений № 4, Стандартгиз, М., 1951.
4. Кацман Ю. А. Основы теории расчета радиоламп. Госэнергоиздат, М.—Л., 1952.
5. Electronic News, 9, 448, 37, 1964.

Г. Ф. ПАВЛЮЧЕНКОВ

РАДИОЗОНДОВЫЙ ЕМКОСТНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Описывается конструкция емкостного динамического преобразователя, используемая в радиозонде для измерения концентрации ионов, приведены основные параметры и характеристики этого прибора.

Соображения о достоинствах емкостных динамических преобразователей (ЕДП) и целесообразности их использования при измерении малых токов, постоянных напряжений и электрических зарядов имеются в работах ряда авторов [1, 2, 3, 4]. Возможное применение ЕДП — использование в счетчиках ионов [4], а также в радиозондах-счетчиках ионов [5]. Естественно, что основными требованиями к конструкциям ЕДП, предназначенным для использования в радиозондах, являются простота конструкции, ее низкая стоимость, малый вес и габариты, малое потребление энергии для возбуждения вибрирующего электрода.

На рис. 1 представлено сечение ЕДП, используемого в радиозонде. Емкостный динамический преобразователь образован двумя металлическими пластинами, из которых одна является неподвижным измерительным электродом 1, а другая, расположенная ниже, является вибрирующим электродом 2. Пластина конденсатора связи 3 расположена над измерительным электродом в полости высокоомного изолятора 4. Верхний диск 5, нижнее кольцо 6 и стойки 7 образуют каркас ЕДП. Высокоомный изолятор 4 с размещенными на нем измерительным электродом и пластиной конденсатора связи укреплен на верхнем диске 5. Между стойками 7 находится кольцевая экранная перегородка 8. На нижнем кольце 6 расположена магнитная система 9 динамического громкоговорителя 1ГД-18, используемая совместно с гофрированной мембраной и звуковой катушкой для раскачки вибрирующего электрода. На гофрированной мембране находится держатель 10 с электродом 2. Напряжение возбуждения подается на звуковую катушку посредством растянутых спиральных пружин 11 из оловянно-цинковой бронзы. Концы пружин присоединяются к выводам звуковой катушки (штырькам) и к лепесткам, закрепленным на стойках 12. Вибрирующий электрод соединяется с корпусом также с помощью пружины и, таким образом, в конструкции используются три растянутых спиральных пружины, продольные оси которых составляют по отношению друг к другу угол 120° . Примененный подвод напряжения раскачки допускает длительную непрерывную работу ЕДП (свыше 1000 час.). Размах колебаний вибрирующего электрода не менее 2,5—2,7 мм. Минимальный зазор между измерительным и вибрирующим электродами при раскачке 0,3—0,4 мм.

Измерительный и вибрирующий электроды, а также пластинка конденсатора связи — дюралевые с полированными поверхностями, выполненные из одного и того же материала. Диаметр измерительного электрода 32 мм, толщина 0,6 мм; диаметр вибрирующего электрода 24 мм (площадь 4,5 см²), толщина 0,15 мм; диаметр пластины конденсатора

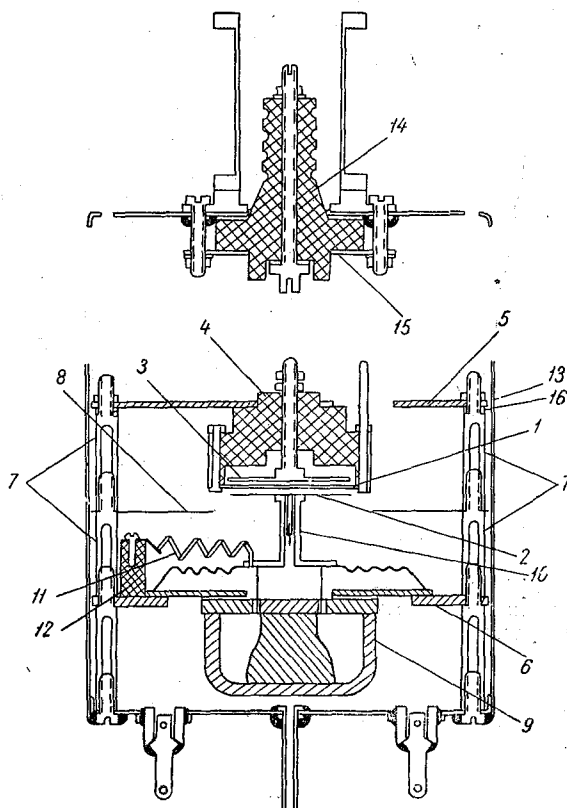


Рис. 1. Сечение емкостного динамического преобразователя и крышки герметичного кожуха.

связи 24 мм, толщина 0,6 мм. Держатель 10 и его основание перфорированы отверстиями. Изолятор 4, держатель 10, стойки 12 выполнены из органического стекла, поверхность изолятора 4 полированная. Все детали каркаса ЕДП дюралевые. Склеиванием соединяются: гофрированная мембрана с держателем 10, вибрирующий электрод 2 с держателем, штырьки выводов звуковой катушки и электрода 2 с держателем.

ЕДП герметизирован совместно с другими узлами в общем цилиндрическом кожухе 13 с наружным диаметром 80 мм. На основании кожуха размещены проходные керамические изоляторы. В верхней части рис. 1 приведено сечение верхней крышки герметизированного кожуха. Для ввода исследуемого напряжения в герметичный кожух используется проходной фторопластовый изолятор 14. Нажимное кольцо 15 прижимает изолятор к крышке. Между изолятором и крышкой имеется уплотняющая резиновая прокладка; соприкасающиеся участки поверхностей крышки, резиновой прокладки и фторопластового изолятора при сборке узла смазываются не отвердевающей эпоксидной смолой. Вводом служит винт.

вкручиваемый в изолятор, соединение винта и изолятора уплотняется той же смолой. Конструктивные элементы металлического кожуха соединены пайкой. Проверка герметического кожуха осуществляется воздушным давлением около 2,5 атм., для чего используется трубка, впаянная в основание кожуха.

При настройке ЕДП посредством установочных шайб 16 производится изменение положения измерительного электрода 1 относительно вибрирующего электрода 2 с тем, чтобы при выбранной мощности раскачки предотвратить удары вибрирующего электрода об измерительный, а также добиться относительной параллельности поверхности вибрирующего и измерительного электродов.

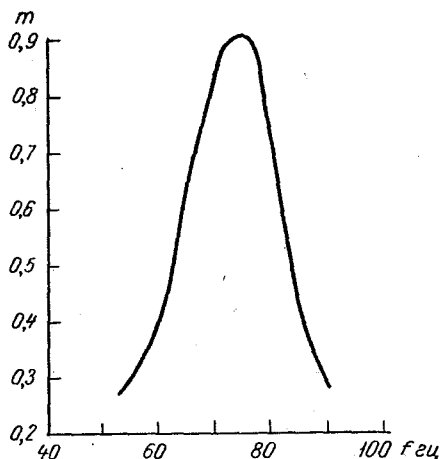


Рис. 2. Изменение коэффициента модуляции ЕДП в зависимости от частоты напряжения раскачки.

Емкость связи изменяется посредством вращения пластины конденсатора связи 3. Пружины 11 вытягиваются таким образом, чтобы их резонансные частоты находились ниже или выше частоты раскачки ЕДП, так как в том случае, если эти частоты совпадают, удары вытянутых спиральных пружин об экранную перегородку 8 приводят к срыву нормальной работы ЕДП. Выпуклая форма гофрированной мембраны облегчает сборку ЕДП.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента модуляции ЕДП m от частоты напряжения раскачки при постоянной мощности питания катушки возбуждения, равной 25 мвт в области резонансных частот, характеризующая работоспособность ЕДП на этих частотах. Коэффициент модуляции m определяется с помощью осциллографа по формуле

$$m = \frac{A - B}{A + B}, \quad (1)$$

где A — расстояние в миллиметрах между максимумами огибающих модулированного напряжения, B — расстояние в миллиметрах между минимумами огибающих модулированного напряжения.

Как известно, при этом измерении на вибрирующий электрод подается напряжение несущей частоты (около 20 кгц). Модуляция напряжения несущей частоты возникает за счет вибрации электрода 2. Выходное модулированное напряжение с измерительного электрода поступает на вход осциллографа. Параллельно емкости измерительного электрода включается конденсатор 150 пф. Пластина связи соединяется с корпусом. Форма огибающих модулированного напряжения при больших m отлична от синусоидальной.

Как видно из графика, вибрирующая система не имеет резко выраженной резонансной частоты. Коэффициент модуляции m имеет большое значение в области резонансных частот и плавно уменьшается в обе стороны. Сама область резонансных частот может быть сдвинута у отдельных экземпляров ЕДП примерно на ± 10 гц. Указанный характер изменения коэффициента модуляции m позволяет обеспечить работоспособность ЕДП при уходе частоты напряжения раскачки на ± 5 гц, что позволяет снизить требование стабильности частоты генератора раскачки,

что существенно важно при использовании ЕДП в схеме зонда. ЕДП стабильно работает при питании катушки возбуждения напряжением по форме близким к синусоидальному.

В заключение приводим основные параметры ЕДП. Вес ЕДП около 150 г. Сопротивление изоляции не ниже 10^{14} ом. Входная емкость при неподвижном вибрирующем электроде около 18 см. Контактная разность потенциалов 30—50 мв, m может достигать 0,85. Потребляемая мощность от генератора раскачки около 25 мвт. Частота напряжения генератора раскачки выбирается в пределах 70—90 гц. В схеме зонда-счетчика ионов ЕДП используется для преобразования медленно изменяющегося напряжения одного знака, максимальная величина входного напряжения достигает 1,5—1,7 в.

Таким образом, использование магнитной системы динамического громкоговорителя и мягкой тканевой гофрированной мембраны позволяет осуществить простую конструкцию зондового ЕДП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Гостехиздат, М., 1957.
2. Van Hengel I. and Oosterkamp. A direct-reading dynamic electrometer. Philips technical Review 10, № 11, 1949.
3. Van Nie A. G. and Zaalberg I. I. van Zelst. A vibrating capacitor driven by a high-frequency electric field. Philips technical Review, 25, № 4, 1963, 1964.
4. Сакс О. В. О конструкции динамического конденсатора для счетчика атмосферных ионов. Тр. ВМС т. 9, Гидрометеоздат, Л., 1963.
5. Павлюченков Г. Ф. Зонд-счетчик ионов. Тр. ГГО, вып. 188, Гидрометеоздат, Л., 1966.

И. М. ИМЯНИТОВ, С. Г. ПОПОВ

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНО ВИСЯЩЕГО В СТРУЕ ВОЗДУХА ШАРА КАК ДАТЧИКА, ИЗМЕРЯЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВОЗДУХА

В статье дается уравнение витания шара в воздушном потоке. Рассчитана скорость воздушного потока, при которой шар витает. Дается зависимость скорости витания шара от его диаметра. Рассчитаны экстремальные значения потенциалов, которые могут быть поданы на поверхность шара, не вызывая токов насыщения в воздушном зазоре между поверхностью шара и стенкой цилиндра.

В приборах по измерению электропроводности воздуха у поверхности земли [1—5], а также в самолетных приборах по измерению проводимости в свободной атмосфере [6, 7] и в приборах по измерению проводимости воздуха у поверхности морей [8] тело рассеивания удерживалось на металлическом стержне и было изолировано от окружающих его тел. Качество изоляции внутреннего электрода аспирационного конденсатора может явиться существенным источником ошибок измерения, особенно в условиях повышенной влажности воздуха и попадания капель на изоляторы. Для исключения ошибок, связанных с нарушением качества изоляции внутреннего электрода, применяют различного рода обогреватели, защитные кожухи и т. д. Все это усложняет конструкцию приборов, не говоря о том, что различные части тела рассеивания находятся в далеко не равных температурных условиях. Так, в работе [8] разность температур достигала 60—80°. Кроме этого требуются изоляционные материалы очень высокого качества.

В работе [4] были введены количественная и качественная поправки для вычисления электропроводности, вызванной утечкой заряда с внутреннего электрода по его изоляции. Кроме того, еще Гердиеном [1], Сванном [9] и Хьюлетом [10] были внесены поправки на эффект рассеивания заряда с части удерживающего стержня, которая омывалась воздухом.

Поэтому возможность использования шара, висящего на струе воздуха и помещенного в металлический цилиндр, как датчика по измерению электропроводности позволила бы пренебречь такими поправками.

Нас интересует равновесное положение шара диаметром d в вертикальной трубе с внутренним диаметром D , в которой поток воздуха течет снизу вверх, и возможность использования свободно подвешенного на струе воздуха шара как тела рассеивания при измерении электрической проводимости воздуха.

В зависимости от соотношения веса твердого тела P , находящегося в потоке газа, и силы сопротивления движению тела в газе R , тело будет подниматься вверх ($R > P$) или опускаться вниз ($R < P$). Но может иметь место случай, когда твердое тело будет находиться в равновесном состоянии в потоке газа ($R = P$).

Тела, находящиеся в равновесном состоянии в потоках газа, жидкости, имеют большое применение в пневмотранспорте, в сепарации материалов, в уносе золы из дымовых труб и т. д.

Нас интересуют также экстремальные значения потенциалов, которые можно будет подавать на поверхность шара, не вызывая токов насыщения в воздушном зазоре между стенкой цилиндра и поверхностью шара. В существующих приборах потенциал рассеивающего тела находится в интервале между 50 и 200 в. Увеличение потенциала в них влечет за собой упрощение систем усиления снимаемого сигнала, с одной стороны, и большую опасность появления ошибок за счет утечки заряда с тела рассеивания по поверхности изоляторов, с другой стороны. Кроме того, при достаточно больших потенциалах возможно коронирование с внутреннего электрода.

Уравнение витания шара

Шар будет находиться в равновесном состоянии, когда вес шара уравняется с силой сопротивления

$$P = R. \quad (1)$$

Если брать шар однородным по всему объему, то необходимо иметь потоки больших скоростей, чтобы уравнение (1) выполнялось, а это затруднит расчет. Поэтому с целью уменьшения величины скорости потока выберем шар полым. Тогда уравнение (1) примет вид

$$P = F_1 - F_2 + F_3, \quad (2)$$

где F_1 — сила притяжения тела к земле, F_2 — сила выталкивания, F_3 — вес воздуха внутри шара.

Иначе говоря,

$$F_1 = \frac{1}{6} \pi \rho_1 g (d^3 - d_1^3), \quad (3)$$

где d — внешний диаметр шара, d_1 — внутренний его диаметр, ρ_1 — плотность материала шара, g — ускорение силы тяжести;

$$F_2 = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_2 g, \quad (4)$$

где ρ_2 — плотность воздуха;

$$F_3 = \frac{1}{6} \pi d_1^3 \rho_2 g. \quad (5)$$

Подставляя (3), (4), (5) в уравнение (1), имеем

$$P = \frac{1}{6} \pi g (\rho_1 - \rho_2) (d^3 - d_1^3). \quad (6)$$

Другая часть уравнения (1) может быть представлена выражением (см. [13])

$$R = c_g s \frac{\rho_2 v^2}{2}, \quad (7)$$

где c_g — коэффициент сопротивления, зависящий от формы движущегося тела, ориентации его относительно вектора скорости и безразмерных критериев подобия, s — миделево сечение тела обтекания, в нашем случае $s = \frac{\pi d^2}{4}$, v — максимальная скорость потока воздуха.

Полагая в нашем опыте, что максимальная скорость потока не выше 100 м/сек., можно считать, что коэффициент сопротивления c_g зависит только от числа Рейнольдса [11].

Число Рейнольдса определяется отношением инерционных сил к силам вязкости и выражается:

$$\text{Re} = \frac{vl}{\nu}, \quad (8)$$

где l — характерная длина тела обтекания, ν — кинематический коэффициент вязкости.

При обтекании тел число Рейнольдса можно определить по скорости набегающего потока, а в нашем случае — по скорости v_B , при которой шар вращается, и по его диаметру [12]

$$\text{Re} = \frac{v_B d}{\nu}. \quad (9)$$

Зависимость коэффициента сопротивления c_g от числа Рейнольдса Re имеет сложный вид. В первом приближении эту зависимость можно представить таким образом [13]:

$$c_g = \frac{24}{\text{Re}} + 0,67 \sqrt{c_g}. \quad (10)$$

Данная зависимость справедлива для чисел Рейнольдса, меньших $3 \cdot 10^5$. Таким образом, сила сопротивления воздушному потоку выражается

$$R = \frac{1}{8} \pi \rho_2 c_g d^2 v_B^2. \quad (11)$$

Уравнение равновесного состояния шара в потоке воздуха поэтому можно записать

$$g(\rho_1 - \rho_2)(d^3 - d_1^3) = \frac{3}{4} c_g \rho_2 d^2 v_B^2. \quad (12)$$

Определение скорости потока, при которой шар вращается

Из уравнения равновесного состояния шара (12) можно установить скорость, которую нужно сообщить потоку в заданной точке цилиндра, в которой бы шар зависал. Эта скорость в общем виде равна

$$v_B = \left[\frac{4}{3} g \frac{(\rho_1 - \rho_2)(d^3 - d_1^3)}{c_g \rho_2 d^2} \right]^{1/2}. \quad (13)$$

Предполагая, что число Рейнольдса в нашем случае меньше $3 \cdot 10^5$, рассчитаем в первом приближении коэффициент сопротивления шара c_g , число Рейнольдса Re и скорость потока v_B , при которой вращается шар. Для этого составим систему уравнений (11), (9), (10), которая принимает следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{1}{8} \pi c_g \rho_2 d^2 v_в^2 \\ \text{Re} &= \frac{v_в d}{\nu} \\ c_g &= \frac{24}{\text{Re}} + 0,67 \sqrt{c_g} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решая систему (14) и полагая, что $\text{Re} \neq 0$, найдем выражение для числа Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{4P}{\pi \rho_2 \nu^2 \left(12 + \frac{0,67}{\nu} \sqrt{\frac{2P}{\pi \rho_2}} \right)} \quad (15)$$

Как видно из (15), число Рейнольдса существенно зависит от массы тела. Для иллюстрации этой зависимости рассчитана небольшая таблица. Зависимость числа Рейнольдса от массы шара, рассчитанная по формуле (15)

m (г) . .	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0
Re . . .	49400	50000	51700	52800	54100	55300	56400	57400	58400	59400	60500

лица. Масса шара определялась в нашем опыте с точностью до 10 мг и оказалась равной 0,01337 кг. Подставляя табличные данные для динамического коэффициента вязкости воздуха, для кинематического коэффициента вязкости воздуха (11, 12, 14, 15), найдем значение числа Рейнольдса

$$\text{Re} \approx 57\,000.$$

Такому числу Рейнольдса соответствует коэффициент сопротивления $c_g = 0,45$, рассчитанный по формуле (10), что хорошо согласуется с теоретическими расчетами [13]. Для найденных значений $\text{Re} = 57\,000$,

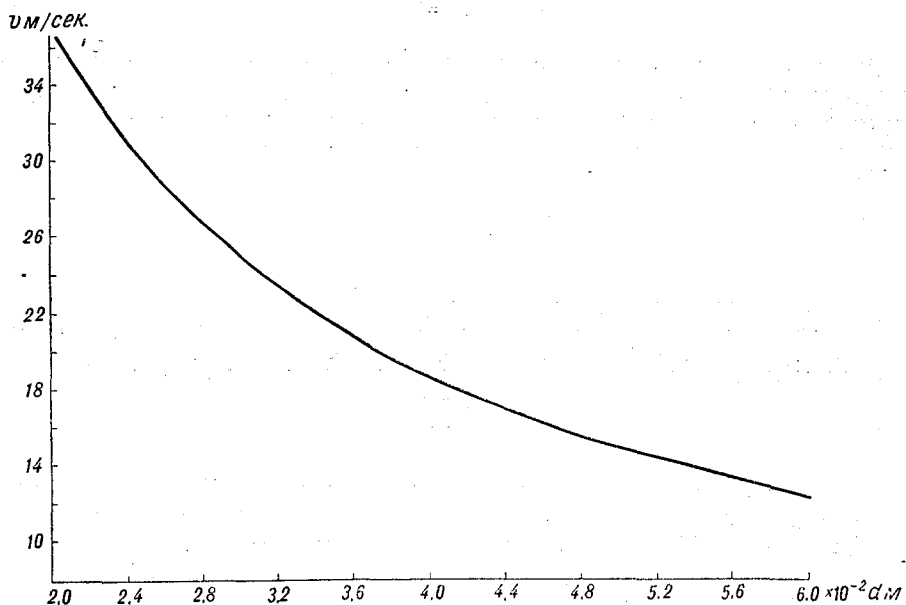


Рис. 1. На графике представлена зависимость скорости витания $v_в$ шара от его диаметра d при постоянной массе шара $m = 13,37$ г и при постоянном числе Рейнольдса (см. табл.).

$c_g = 0,45$, заданных значений $m = 0,01337$ кг и $d = 0,04$ м скорость потока воздуха, при которой шар находится в равновесном состоянии, составляет около 18,82 м/сек. Зависимость скорости потока, при которой шар витает, от его диаметра (в пределах внешнего диаметра от 2,0 до 6,0 см) изображена в виде графика на рис. 1. Расчет графика велся при постоянной массе шаров и постоянном числе Рейнольдса по формулам (15), (9). Проверка правильности определения скорости, при которой шар витает, производилась на установке УПАР-01 № 33, а также при помощи ручного анемометра № 114755 и газового счетчика. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с расчетным графиком (рис. 1). Большое значение имеет фиксированное положение шара в определенной области внутри цилиндра.

Для одномерного течения турбулентного потока газа, например, вдоль оси OZ уравнение неразрывности в переменных Эйлера имеет вид

$$\frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho_2 v) = 0, \quad (16)$$

где ρ_2 и v — мгновенные значения плотности воздуха и скорости.

Но мгновенные значения плотности газа и плотности потока можно заменить суммой осредненного значения этих величин и их пульсации

$$\rho_2 = \bar{\rho}_2 + \rho', \quad \rho_2 v = \bar{\rho}_2 \bar{v} + (\rho_2 v)',$$

где $\bar{\rho}_2$ — средняя плотность воздуха, ρ' — пульсация плотности, $\bar{\rho}_2 \bar{v}$ — средняя плотность потока газа, $(\rho_2 v)'$ — пульсация, причем средняя величина пульсации равна нулю за конечный промежуток времени, т. е. $\rho' = 0$, $(\rho_2 v)' = 0$.

Тогда уравнение неразрывности для осредненного квазистационарного движения будет выглядеть

$$\frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho}_2 \bar{v}) = 0. \quad (17)$$

Опуская математические выкладки (см., например, [17]), можно записать уравнение неразрывности для турбулентных потоков, считая, что нормальные и тангенциальные вязкие напряжения ничтожно малы по сравнению с напряжениями турбулентного трения.

Так

$$\bar{\rho} \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial z}, \quad (18)$$

где \bar{p} — среднее давление потока газа.

Перепад давления газа вдоль по трубе можно записать, учитывая коэффициент сопротивления потоку со стороны стенки трубы λ

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial z} = - \frac{\lambda}{D} \frac{\rho_2 v_0^2}{2}, \quad (19)$$

где $v_0 = 0,8 v_{\text{макс}}$, что установлено экспериментально [18]. В нашем случае максимальная скорость соответствует скорости потока газа, при которой шар витает (v_B). Поэтому, объединяя уравнение (18) и (19), имеем

$$\frac{\Delta v}{\Delta z} = -0,32 \frac{\lambda}{D} v_B^2. \quad (20)$$

Из уравнения (20) можно установить падение максимальной скорости вдоль оси цилиндрической трубы, если известен коэффициент со-

противления. Знак минус указывает на падение скорости при перемещении потока вверх. При расчетах воздухопроводов для определения λ [19] пользуются формулой Блесса

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{D}, \quad (21)$$

где D — диаметр трубы, выраженный в метрах. Для трубы диаметром $D=0,065$ м имеем, согласно формуле (21), $\lambda=0,03$.

Произведенные измерения показывают, что шар зависит внутри цилиндра в области, отстоящей от нижнего края цилиндра на расстоянии 0,34 м. Такому расстоянию, согласно выражению (20), соответствует потеря в скорости, равная 0,9 м/сек. Таким образом, входная максимальная скорость потока воздуха равнялась 19,72 м/сек.

По найденному значению скорости воздушного потока, при которой шар зависит в определенной области цилиндра, можно определить экстремальные значения потенциалов, которые можно подавать на поверхность шара, не вызывая токов насыщения. Для этого используем зависимость между потенциалом рассеивающего тела, подвижностью ионов и скоростью протяжки воздуха в аспирационных конденсаторах, служащих в качестве счетчика ионов [16],

$$v > \frac{2Vul}{(R^2 - r^2) \ln \frac{R}{r}}, \quad (22)$$

где u — максимальная подвижность ионов, встречающихся в атмосфере, v — скорость воздушного потока, V — потенциал внутреннего электрода, l — длина внутреннего электрода, R — радиус внешнего цилиндра, r — радиус внутреннего электрода.

Расчет, произведенный по формуле (22), которая для шара дает результат не хуже чем для цилиндра, показывает, что максимальное значение потенциала составляет около 1,6 кв.

Выводы

1. Подвешенный на струе воздуха шар, находящийся в цилиндре с переменным сечением, может служить датчиком для измерения электропроводности газов, в частности воздуха.

2. Максимальные значения потенциалов, которые не вызывают токов насыщения между поверхностью шара ($d=0,04$ м) и поверхностью цилиндра ($D=0,065$ м), составляют около 1,6 кв, если скорость потока воздуха в точке зависания шара составляет 18,82 м/сек.

3. По положению взвешенного шара в потоке воздуха, который проходит сквозь цилиндр, можно установить скорость потока.

4. Вентилятор, создающий поток, должен иметь постоянное число оборотов в единицу времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gerdien H. Messung der spezifischen leitfähigkeit. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, vol. X, June, 1905.
2. Аллик Р. А. Об одной установке для регистрации электропроводности атмосферного воздуха. *Тр. ГГО*, вып. 30, 1939.
3. Имянитов И. М. Метод измерения проводимости диэлектриков. *ЖТФ*, т. 20, вып. 7, 1950.
4. Имянитов И. М., Зачек С. И., Иньков Б. К., Семенов К. А. Прибор для измерения проводимости воздуха у поверхности земли. *Тр. ГГО*, вып. 110, 1960.

5. Dolezalek H. Der Freiluftisolator mit 10^{14} ohm: Verbesserungen und Ergänzungen. *Geofisica pura e applicata*, vol. 49, 1961.
6. Coroniti S. C. Airborne conductivity meter. *Geofisica pura e applicata*, vol. 47, 1960.
7. Зачек С. И. К вопросу об измерении электрической проводимости воздуха в свободной атмосфере с самолета. *Тр. ГГО*, вып. 157, 1964.
8. Ганн Р. Усовершенствованный прибор для измерения электропроводности атмосферы. *Приборы для научных исследований*, № 5, 1965.
9. Swanp W. F.-G. Remarks on the theory of Gerdien conductivity apparatus. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, June, 1914.
10. Hawlett C. W. Measurement of atmospheric conductivity. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*. December, 1914.
11. Ландау Л. Д. Лифшиц Е. М. *Механика сплошных сред*. Гостехиздат, М., 1964.
12. Физический энциклопедический словарь, т. 4. Изд. «Советская энциклопедия».
13. Фабрикант Н. Я. *Аэродинамика*. Физматгиз, М., 1964.
14. Физический энциклопедический словарь, т. 2—3. Изд. «Советская энциклопедия».
15. Физический энциклопедический словарь, т. 1. Изд. «Советская энциклопедия».
16. Имянитов И. М. *Приборы и методы для изучения электричества атмосферы*. Гостехиздат, М., 1957.
17. Абрамович Г. Н. *Теория турбулентных струй*. Физматгиз, М., 1960.
18. Бай Ши-и *Турбулентное течение жидкостей и газов* Изд. иностр. лит., М., 1962.
19. Бутаков С. Е. *Воздухопроводы и вентиляторы*. Физматгиз, Москва — Свердловск, 1958.

К РАСЧЕТУ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯДОВ ЧАСТИЦ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

В данной работе дается расчет коэффициента индукции для изолированного кольца, помещенного в заземленный бесконечно длинный цилиндр, в случае осевого движения заряда. Полученная формула является общей формулой, из которой получаются как частные рассматриваемые ранее случаи изолированного кольца [1] и заземленного кольца [2].

Решение некоторых вопросов атмосферного электричества требует знания зарядов отдельных частиц осадков. Самым удобным и в настоящее время самым распространенным как у нас [1, 2, 3], так и за границей [4, 5, 6] является индукционный метод измерения. Сущность этого метода заключается в том, что заряженная частица, пролетая сквозь кольцо, изготовленное из проводящего материала, индуцирует на последнем заряд; потенциал, создаваемый им, является мерой заряда частицы.

Для расчета прибора необходимо знать коэффициент индукции — коэффициент пропорциональности между зарядом кольца и зарядом пролетающей частицы. Он определяется геометрическими размерами как кольца, так и экранирующего цилиндра.

Вопрос о коэффициенте индукции теоретически рассматривался ранее: в работе [1] дан расчет коэффициента индукции для изолированного кольца и осевого движения заряженной частицы, в работе [2] разобран случай заземленного кольца, на бесконечно малом удалении от концов которого располагается заземленный цилиндр. На практике имеет место случай изолированного кольца, находящегося внутри заземленного цилиндра.

В предполагаемой работе рассматривается этот случай.

Расчет коэффициента индукции

Коэффициент индукции α определим как отношение заряда кольца q к заряду пролетающей частицы Q

$$\alpha = \frac{q}{Q}. \quad (1)$$

Поскольку заряженная частица, согласно теореме Гаусса, создает $4\pi Q$ силовых линий, а через кольцо пройдет только часть их, то коэффи-

циент индукции будет характеризовать ту долю силовых линий поля заряженной частицы, которая пересечет кольцо, т. е.

$$\alpha = \frac{N_k}{4\pi Q}, \quad (2)$$

где N_k — число силовых линий, пересекающих кольцо.

Для расчета воспользуемся решением уравнения Лапласа, данным в работе [7, стр. 120].

Потенциал φ внутри заземленного бесконечного цилиндра, создаваемый зарядом Q , находящимся на его оси, будет равен

$$\varphi(r, z) = \frac{Q}{\sqrt{r^2 + z^2}} - \frac{2Q}{\pi} \int_0^\infty \frac{K_0(ua) I_0(ur)}{I_0(ua)} \cos(uz) du, \quad (3)$$

где r и z — координаты точки, в которой определяется потенциал, если за начало координат принять местонахождение заряженной частицы, a — радиус заземленного цилиндра, $K_0(ua)$, $I_0(ua)$, $I_0(ur)$ — функция Макдональда и функции Бесселя соответственно.

Первое слагаемое в этом выражении дает потенциал от точечного заряда, второе — учитывает влияние заземленных стенок цилиндра. Составляющие напряженности поля по радиусу E_r и по высоте E_z внутри заземленного цилиндра в некоторой точке будут равны:

$$E_r = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{Qr}{\sqrt{(r^2 + z^2)^3}} + \frac{2Q}{\pi} \int_0^\infty \frac{K_0(ua) I_1(ur)}{I_0(ua)} u \cos(uz) du;$$

$$E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{Qz}{\sqrt{(r^2 + z^2)^3}} - \frac{2Q}{\pi} \int_0^\infty \frac{K_0(ua) I_0(ur)}{I_0(ua)} u \sin(uz) du. \quad (4)$$

Если поместить проводящее изолированное бесконечно тонкое кольцо таким образом, чтобы оси кольца и цилиндра совпадали, то можно по формулам (4) найти напряженность поля в любой точке кольца, предполагая при этом, что изолированное проводящее кольцо не искажает силовые линии поля.

Число N_k силовых линий, проходящих через всю поверхность кольца, будет равно

$$N_k = \int_{S_k} E_n dS_k, \quad (5)$$

где E_n — нормальная к поверхности кольца составляющая напряженности поля, S_k — поверхность кольца, dS_k — элемент поверхности кольца.

В нашем случае $E_n = E_r$, а элемент поверхности кольца будет равен

$$dS_k = 2\pi R dz. \quad (6)$$

Следовательно,

$$N_k = \int_{l-\frac{h}{2}}^{l+\frac{h}{2}} 2\pi R E_r dz = \int_{l-\frac{h}{2}}^{l+\frac{h}{2}} 2\pi R E_R dz, \quad (7)$$

где l — расстояние от начала координат до центра кольца по оси, h — высота кольца, R — радиус кольца, E_R — напряженность поля у поверхности кольца.

Следовательно, число силовых линий, пересекающих кольцо, будет равно:

$$\begin{aligned}
 N_k &= 2\pi R \int_{l-\frac{h}{2}}^{l+\frac{h}{2}} \frac{QR}{\sqrt{(R^2+z^2)^3}} dz + 2\pi R \frac{2Q}{\pi} \int_{l-\frac{h}{2}}^{l+\frac{h}{2}} dz \int_0^\infty \frac{K_0(ua)I_1(ur)}{I_0(ua)} \times \\
 &\quad \times u \cos(uz) du = \frac{2\pi Qz}{\sqrt{R^2+z^2}} \Big|_{l-\frac{h}{2}}^{l+\frac{h}{2}} + 4QR \int_0^\infty \frac{K_0(ua)I_1(uR)}{I_0(ua)} \times \\
 &\quad \times \int_{l-\frac{h}{2}}^{l+\frac{h}{2}} u \cos(uz) dudz = 2\pi Q \left[\frac{l+\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+(l+\frac{h}{2})^2}} - \frac{l-\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+(l-\frac{h}{2})^2}} \right] + \\
 &\quad + 8QR \int_0^\infty \frac{K_0(ua)I_1(uR)}{I_0(ua)} \cos(ul) \sin \frac{uh}{2} du.
 \end{aligned}$$

Коэффициент индукции кольца, согласно формуле (2), будет равен

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{N_k}{4\pi Q} = \frac{1}{2} \left[\frac{l+\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+(l+\frac{h}{2})^2}} - \frac{l-\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+(l-\frac{h}{2})^2}} \right] + \\
 &\quad + \frac{2R}{\pi} \int_0^\infty \frac{K_0(ua)I_1(uR)}{I_0(ua)} \cos(ul) \sin \left(\frac{uh}{2} \right) du. \quad (8)
 \end{aligned}$$

Интеграл в формуле (8) не берется, он может быть определен любым численным методом. Первое слагаемое в этой формуле дает коэффициент индукции для изолированного кольца, второе слагаемое дает увеличение этого коэффициента за счет влияния заземленного цилиндра.

Полученная формула (8) для коэффициента индукции является общей, из которой можно получить ранее рассмотренные случаи как частные.

1. При $a \rightarrow \infty$ получим случай изолированного кольца. Принимая во внимание, что из [7]

$$\int_0^\infty \frac{K_0(ua)I_1(uR)}{I_0(ua)} du \rightarrow 0 \text{ при } a \rightarrow \infty,$$

получим выражение коэффициента индукции для изолированного кольца

$$\alpha_{из} = \frac{1}{2} \left[\frac{l+\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+(l+\frac{h}{2})^2}} - \frac{l-\frac{h}{2}}{\sqrt{R^2+(l-\frac{h}{2})^2}} \right]. \quad (9)$$

Это выражение в точности совпадает с полученным ранее в работе [1].

2. При $a=R$ получим случай заземленного кольца, к которому на бесконечно малом расстоянии сверху и снизу примыкают заземленные цилиндры того же радиуса и бесконечной длины.

Коэффициент индукции α_3 в этом случае равен

$$\alpha_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{l + \frac{h}{2}}{\sqrt{R^2 + \left(l + \frac{h}{2}\right)^2}} - \frac{l - \frac{h}{2}}{\sqrt{R^2 + \left(l - \frac{h}{2}\right)^2}} \right] + \frac{2R}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{K_0(uR) I_1(uR)}{I_0(uR)} \cos(ul) \sin\left(\frac{uh}{2}\right) du. \quad (10)$$

Подобный случай рассмотрен в работе [2], но по внешнему виду формулы отличаются друг от друга.

Поскольку измерение заряда частицы производится в основном по амплитуде сигнала, то не будет лишним привести выражение для максимального коэффициента индукции $\alpha_{\text{макс}}$. Очевидно, $\alpha_{\text{макс}}$ будет при $l=0$ (заряд расположен в центре кольца), и формула (8) при этом принимает вид

$$\alpha_{\text{макс}} = \frac{h}{2\sqrt{R^2 + \left(\frac{h}{2}\right)^2}} + \frac{2R}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{K_0(ua) I_1(uR)}{I_0(ua)} \sin\left(\frac{uh}{2}\right) du. \quad (11)$$

Таблица 1

Радиус кольца (см)	Высота кольца (см)	$\alpha'_{\text{макс}}$	$\alpha''_{\text{макс}}$	$\alpha'''_{\text{макс}}$	$\frac{\alpha''_{\text{макс}} - \alpha'_{\text{макс}}}{\alpha'_{\text{макс}}}$ %	$\frac{\alpha'''_{\text{макс}} - \alpha'_{\text{макс}}}{\alpha'_{\text{макс}}}$ %
0,9	0,5	0,268	0,268	0,349	0,0	30,6
	1,0	0,486	0,486	0,621	0,0	27,8
	2,0	0,744	0,745	0,891	0,1	19,8
	4,0	0,912	0,915	0,992	0,3	8,8
	7,0	0,964	0,968	0,995	0,4	3,2
2,5	0,5	0,100	0,103	0,131	3,0	32,0
	1,0	0,196	0,202	0,257	3,1	31,1
	2,0	0,371	0,382	0,480	3,0	29,4
	4,0	0,625	0,646	0,777	3,4	24,3
3,1	7,0	0,814	0,844	0,947	3,7	16,4
	0,5	0,080	0,085	0,116	6,2	32,5
	1,0	0,159	0,168	0,210	5,7	32,0
	2,0	0,307	0,325	0,402	5,9	31,0
3,75	4,0	0,542	0,575	0,650	6,1	19,9
	7,0	0,748	0,795	0,893	6,3	19,4
	0,5	0,066	0,074	0,088	10,6	31,8
	1,0	0,132	0,147	0,174	10,6	31,8
3,75	2,0	0,258	0,286	0,338	10,9	31,0
	4,0	0,471	0,523	0,606	11,0	28,7
	7,0	0,682	0,755	0,835	10,7	22,4

Чтобы оценить, насколько велико влияние заземленного цилиндра, был произведен расчет $\alpha_{\text{макс}}$ по формуле (11) для нескольких размеров колец. Значение интеграла находилось методом графического интегрирования. Величины K_0 , I_1 и I_0 брались из Справочника [8].

В табл. 1 приведены данные, полученные для радиуса заземленного цилиндра 5 см. В таблице $\alpha'_{\text{макс}}$ — максимальный коэффициент для изолированного кольца, $\alpha''_{\text{макс}}$ — максимальный коэффициент индукции для изолированного кольца, помещенного внутри заземленного цилиндра, $\alpha'''_{\text{макс}}$ — максимальный коэффициент индукции для заземленного кольца.

Из таблицы следует, что второе слагаемое в формуле (11) в основном растёт с увеличением высоты кольца при постоянном радиусе заземленного цилиндра.

В лаборатории были проведены измерения коэффициентов индукции нескольких изолированных колец, устанавливаемых внутри заземленного цилиндра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М., Михайловская В. В. Самолетный прибор для измерения зарядов частиц осадков. Приборы и техника эксперимента, № 2, 1958.
2. Красногорская Н. В., Седунов Ю. С. Метод измерения зарядов отдельных частиц. Изв. АН СССР, сер. геофиз. № 5, 1961.
3. Федоров Е. К. Электрические заряды частиц осадков. ДАН СССР, т. 78, № 6, 1131, 1951.
4. Gunn R. The free electrical charge on precipitation inside an active thunderstorm. Journ. of Geophys. Res., 55 (2) 1950.
5. Keily D. P., Millen S. G. An airborne cloud-drop size distribution meter. J. Meteorol., 17, № 3, 1960.
6. Jolivet J. A. La charge électrique les gouttes de pluie dans les Antilles françaises. Ann. Geophys., 15, № 2, 1959.
7. Гринберг Г. А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. Изд. АН СССР, М.-Л., 1948.
8. Таблицы значений функций Бесселя от мнимого аргумента. Изд. АН СССР, М.-Л., 1950.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАРЯДОВ ЧАСТИЦ, ОСНОВАННЫХ НА ИНДУКЦИОННОМ МЕТОДЕ

В данной работе приводятся экспериментальные измерения максимального коэффициента индукции $\alpha_{\text{макс}}$ для колец, установленных внутри заземленного цилиндра. Полученные результаты показали, что ни одна из известных расчетных формул не дает точное значение $\alpha_{\text{макс}}$. Приведены экспериментальные формулы зависимости $\alpha_{\text{макс}}$ от расстояния, на котором заряженный шарик проходит от оси цилиндра, эффективного радиуса измерительного кольца при заданных пределах изменения $\alpha_{\text{макс}}$, расстояния, на котором величина сигнала превышает 0,1 амплитудного значения.

В настоящее время при индукционном методе определения зарядов частиц точное значение коэффициента индукции — коэффициента пропорциональности между зарядом кольца, возникающим при пролете через него заряженной частицы, и зарядом этой частицы — определяется экспериментально. Экспериментальное подтверждение какой-либо из предложенных расчетных формул [1, 2, 3] позволило бы в дальнейшем избежать этой трудоемкой работы.

Настоящая статья посвящена вопросу экспериментального определения коэффициента индукции для целого ряда колец различного размера и сопоставлению результатов с данными, полученными по формулам, приведенным в [1, 2, 3].

Поскольку коэффициент индукции, а значит и заряд, наведенный на кольцо, зависят от положения заряженной частицы относительно кольца, то при движении ее через кольцо потенциал последнего имеет импульсный характер. Проведенные измерения длительностей импульсов позволили получить экспериментальную формулу, связывающую длительность импульса с размерами кольца, т. е. в конечном итоге определить счетный объем, что необходимо для правильного конструирования измерительной аппаратуры.

1. Способ определения коэффициента индукции

Значение коэффициента индукции α находилось как частное от деления наведенного заряда кольца q , созданного проходящим внутри него заряженным шариком, на заряд этого шарика Q .

$$\alpha = \frac{q}{Q}. \quad (1)$$

Заряд кольца определялся как произведение емкости кольца вместе с присоединенными к нему элементами $C_{вх}$ на потенциал кольца $V_{вх}$

$$q = C_{вх} V_{вх}. \quad (2)$$

Измерение потенциала кольца $V_{вх}$ осуществлялось обычно ламповой схемой, но с целью контроля часть данных была получена с помощью электрометра. Заряд шарика, равный заряду электрометра с шариком, определялся как произведение емкости электрометра с шариком $C_{э+ш}$ на потенциал электрометра $V_{э+ш}$

$$Q = C_{э+ш} V_{э+ш}. \quad (3)$$

Емкость электрометров, колец, входная емкость ламповой схемы определялись с помощью конденсатора Гармса и универсального моста Е12-2. Как уже указывалось в [1, 2, 3], значение коэффициента индукции зависит от положения заряженной частицы относительно кольца и достигает максимального значения при положении ее в центре кольца. Поскольку обычно величина заряда частицы определяется по амплитуде сигнала, что соответствует максимальному значению коэффициента индукции, то в настоящей работе измерялся только максимальный коэффициент индукции α_{\max} .

II. Описание установки

На рис. 1 стальной шарик 2, закрепленный в заземленном пружинном держателе 1, заряжался при отрыве от держателя в электростатическом поле, создаваемом между держателем и пластинкой 3, на которую подавалось напряжение батареи E . Заряженный шарик падал через отверстие в пластинке 3, через индукционное кольцо 5 в чашечку 8 электрометра 9, который фиксировал потенциал $V_{э+ш}$ и, следовательно, позволял определить заряд шарика. Индукционное кольцо 5 устанавливалось на фторопластовом кольце 7, жестко закрепляемом внутри заземленного цилиндра 4. Соединение кольца с измерительной схемой осуществлялось через стержень 6 диаметром 1 мм с резьбой на одном конце, с помощью которой он присоединялся к кольцу. Кольца 5 и 7 были съемными.

Измерение потенциала кольца ламповой схемой (рис. 2). Появлявшийся на кольце заряд при падении через него заряженного шарика заряжал емкость кольцо-земля (входную емкость измерительной

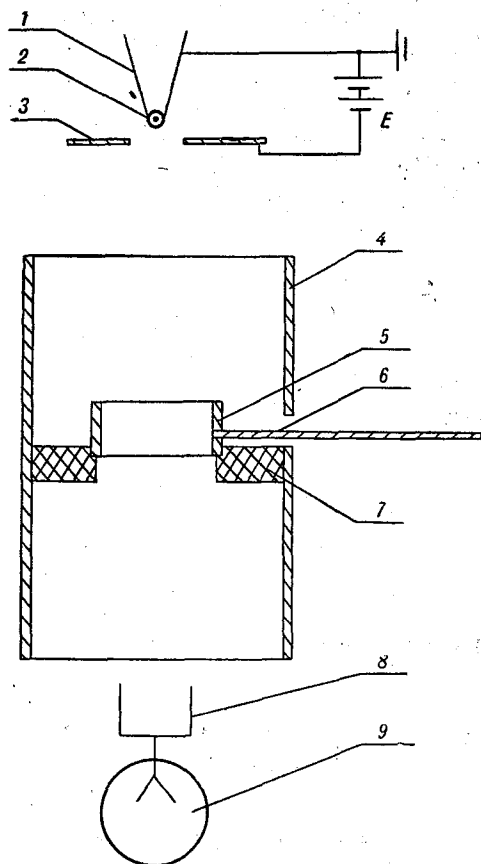


Рис. 1. Схема установки.

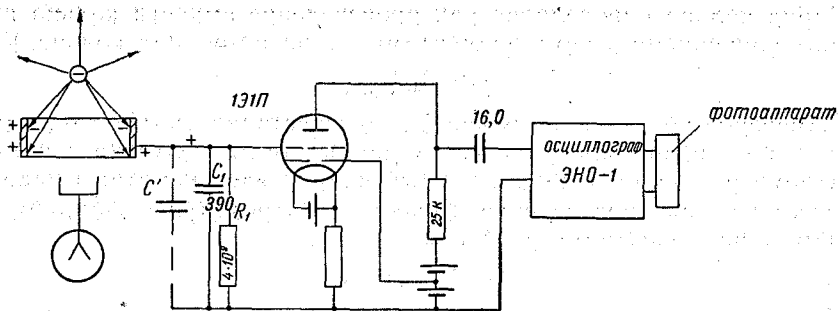


Рис. 2. Схема измерения потенциала кольца путем усиления его и последующего фотографирования сигнала.

схемы $C_{вх}$) до некоторого потенциала $V_{вх}$, который усиливался предусилителем, усилителем осциллографа, и появлявшийся на трубке осциллографа сигнал фотографировался фотоаппаратом «Зенит» на киноплёнку. Неискаженность импульса на выходе измерительного устройства обеспечивалась наличием большой постоянной времени входа и использованием широкополосного усилителя. Благодаря этому можно было измерять не только амплитуду и длительность импульса, но и наблюдать его форму.

Измерение потенциала кольца электрометром (рис. 2а). Заряд кольца, возникающий при движении через него заряженного шарика, заряжал присоединенный к нему электрометр \mathcal{E}_2 до некоторого потенциала $V_{вх}$, который отсчитывался визуально.

Максимальное значение потенциала отмечалось при медленном опускании стального шарика, подвешенного на шелковой нити, поскольку электрометр, обладая большой инерционностью, не позволяет измерить потенциал при свободном падении шарика.

Постоянная времени $\sim 10^4$ сек. (ёмкость кольцо — земля 10 см, сопротивление изоляции $\sim 10^{15}$ ом) вполне обеспечивала надёжность получаемых результатов за время измерения.

Определение заряда кольца. Заряд кольца находился по формуле (2). Величина ёмкости кольцо — земля, необходимая при этом, определялась путем сравнения с эталонной ёмкостью (конденсатором Гармса) и с помощью универсального моста Е12-2;

Определение заряда шарика. Заряд шарика находился по формуле (3). Величина ёмкости электро-

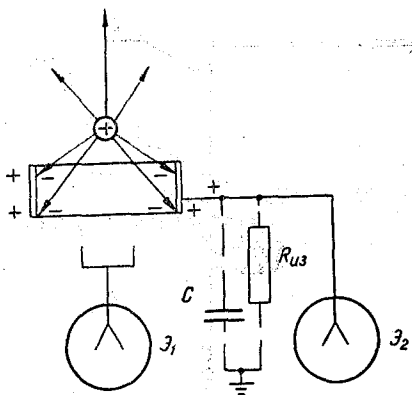


Рис. 2а. Схема измерения потенциала кольца с помощью электрометра.

метра с шариком определялась путем сравнения с эталонной ёмкостью — конденсатором Гармса.

III. Методика обработки

Измерение потенциала кольца ламповой схемой. Импульсы, полученные на киноплёнке, просматривались через увеличитель «Микрофот». Амплитуда импульса в миллиметрах пересчитывалась

в напряжение на входе измерительного устройства согласно предварительно сделанной градуировке.

Измерение потенциала кольца электрометром. Отклонения нити электрометра в миллиметрах пересчитывались в напряжение согласно предварительно сделанной градуировке.

Длительность импульсов определялась по калибровочным меткам времени, выдаваемым осциллографом ЭНО-1.

IV. Производство наблюдений и полученные результаты

С помощью описанной выше установки были произведены измерения с 20 различными кольцами, радиусы которых 0,9, 2,5, 3,1, 3,75 см, а высоты — 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 7,0 см для каждого кольца. Радиус заземления цилиндра равнялся 5,0 см, высота — 50 см.

Для каждого кольца были произведены:

1) измерения максимального коэффициента индукции $\alpha_{\text{макс}}$ при прохождении заряженного шарика по оси кольца двумя различными способами, описанными выше;

2) измерения максимального коэффициента индукции $\alpha_{\text{макс}}$ при прохождении заряженного шарика на различных расстояниях от оси кольца;

3) измерения длительности импульсов;

4) наблюдения за трансформацией формы импульса при прохождении заряженного шарика на различных расстояниях от оси кольца.

Фиксация расстояния от оси кольца, на котором заряженный шарик проходил через кольцо; производилась с помощью специально изготовленного для этой цели направляющего диска с отверстиями в центре и на определенных расстояниях от него. Расстояние центра того отверстия, напротив которого устанавливался шарик, от оси кольца и было принято за расстояние от оси, на котором шарик проходит кольцо.

Полученные результаты сводятся к следующему.

1) Максимальные коэффициенты индукции $\alpha_{\text{макс}}$ при осевом прохождении заряженного шарика для всех измеренных колец представлены в табл. 1, причем в графе 3 помещены данные, полученные при измерении потенциала кольца ламповой схемой, а в графе 4 — данные, полученные при измерении потенциала кольца электрометром. Сравнение этих данных показывает, что максимальные коэффициенты индукции, измеренные обоими методами, совпадают в пределах погрешности.

Это означает, что: а) при таком способе измерения заряда имеет место случай изолированного кольца внутри заземленного цилиндра, б) выбранный способ измерения потенциала кольца с помощью ламповой схемы является правильным.

Правда, значения $\alpha_{\text{макс}}$, полученные при измерении потенциала кольца электрометром, несколько меньше значений, полученных при измерении потенциала кольца ламповой схемой, что легко объяснить. Как уже упоминалось выше, максимальный коэффициент индукции будет наблюдаться тогда, когда заряженный шарик будет находиться в центре кольца. При этом емкость кольца увеличится, а значит увеличится и полная емкость кольцо — земля, которая не учитывалась. Если незначительное увеличение емкости практически не сказывается при измерении потенциала кольца ламповой схемой ввиду большой емкости входа (400 см), то при измерении потенциала кольца электрометром, когда емкость на входе составляет всего 10 см, это увеличение становится ощутимым.

Данные показывают, что вначале $\alpha_{\text{макс}}$ растет с увеличением высоты кольца очень быстро, а потом рост замедляется.

Таблица 1

Максимальный коэффициент индукции $\alpha_{\text{макс}}$ для осевого прохождения заряда

r см	h см	Экспериментальные данные		Расчетные данные			
		усилитель	электрометр	изолированное кольцо [1]	изолированное кольцо в заземленном цилиндре [3]	заземленное кольцо [3]	заземленное кольцо [2] по графику
1	2	3	4	5	6	7	8
0,9	0,5	0,782		0,268	0,268	0,349	
	1,0	0,795		0,486	0,486	0,621	
	2,0	0,868		0,744	0,745	0,891	
	4,0	0,900		0,912	0,915	0,992	
	7,0	0,902	0	0,964	0,968	0,995	
2,5	0,5	0,495	0,474	0,100	0,103	0,131	0,130
	1,0	0,592	0,554	0,196	0,202	0,257	0,260
	2,0	0,694	0,632	0,371	0,382	0,480	0,490
	4,0	0,831	0,785	0,625	0,646	0,777	0,784
	7,0	0,910	0,876	0,814	0,844	0,947	0,964
3,1	0,5	0,333	0,331	0,080	0,085	0,116	
	1,0	0,410	0,402	0,159	0,168	0,210	
	2,0	0,533	0,531	0,307	0,325	0,402	
	4,0	0,707	0,694	0,542	0,575	0,650	
	7,0	0,823	0,839	0,748	0,795	0,893	
3,75	0,5	0,248	0,264	0,067	0,074	0,088	
	1,0	0,341	0,348	0,132	0,147	0,174	
	2,0	0,479	0,415	0,258	0,286	0,338	
	4,0	0,659	0,627	0,471	0,523	0,606	
	7,0	0,809	0,801	0,682	0,755	0,835	

В графе 5 табл. 1 помещены расчетные данные для изолированного кольца, полученные по формуле, приведенной в работе [1], в графе 6 помещены рассчитанные по формуле данные, полученные для изолированного кольца, находящегося в заземленном цилиндре [3]. Экспериментальные данные значительно превышают расчетные, особенно для колец малой высоты.

Несовпадение расчетных и экспериментально полученных данных происходит, по-видимому, из-за неправильного предположения при выводе формул в [1, 3] о том, что изолированное металлическое кольцо не искажает силовых линий электростатического поля. Как и следовало ожидать, коэффициенты индукции, рассчитанные для заземленных колец [3, 2], не совпадают с экспериментально измеренными (графы 7 и 8).

Из вышесказанного можно сделать заключение, что ни одна из известных формул в [1, 2, 3] не пригодна для расчета коэффициента индукции кольца для реального прибора, особенно при использовании колец с малой высотой.

Таблица 2

Отношение коэффициентов индукции $\alpha_{\text{макс}}$ при прохождении частицы на некотором расстоянии от оси кольца к коэффициенту индукции $\alpha_{\text{макс}}$ при прохождении частицы через центр кольца

r см	h см	Расстояние от оси (см)								
		0,0	0,66	1,0	1,32	2,0	2,15	2,75	3,10	3,4
2,5	0,5	1,00	1,02	1,11	1,16	1,51	1,55			
	1,0	1,00	1,00	1,02	1,09	1,34	1,42			
	2,0	1,00	1,00	1,03	1,03	1,17	1,21			
	4,0	1,00	1,03	1,01	1,07	1,10	1,09			
	7,0	1,00	1,02	1,00	1,06	1,07	1,03			
3,1	0,5	1,00	1,02		1,14	—	1,48	2,13		
	1,0	1,00	—		1,12		1,38	1,79		
	2,0	1,00	1,02		1,14		1,38	1,54		
	4,0	1,00	1,01		1,02		1,13	1,25		
	7,0	1,00	0,98		0,96		1,02	1,00		
3,75	0,5	1,00	1,10		1,23		1,48		2,27	2,40
	1,0	1,00	1,04		1,12		1,43		2,19	2,19
	2,0	1,00	1,00		1,12		1,28		1,71	1,83
	4,0	1,00	1,01		1,05		1,19		1,35	1,40
	7,0	1,00	0,98		1,03		1,06		1,14	1,16

Средние значения для всех радиусов колец

0,5	1,00	1,05	1,11	1,18	1,51	1,50	2,13	2,27	2,40
1,0	1,00	1,02	1,02	1,11	1,34	1,41	1,54	2,19	2,19
2,0	1,00	1,01	1,03	1,10	1,17	1,29	1,54	1,71	1,40
4,0	1,00	1,02	1,01	1,05	1,10	1,14	1,25	1,35	1,40
7,0	1,00	0,99	1,00	1,02	1,07	1,04	1,00	1,14	1,16

2) Полученные экспериментально величины максимальных коэффициентов индукции $\alpha_{\text{макс}}$ при прохождении заряженного шарика на различных расстояниях от оси цилиндра представлены в табл. 2, причем за основу был принят коэффициент индукции для осевого прохождения $\alpha_{\text{макс}}$. Для колец радиусом 0,9 см подобные измерения не производились. Из табл. 2 нетрудно заметить, что для одинаковой высоты колец на одинаковом расстоянии относительный коэффициент индукции оказывается одинаковым для всех радиусов колец в пределах погрешности. Возможно, зависимость $\frac{\alpha_{\text{макс}}}{\alpha_{\text{макс}}}$ от радиуса кольца и имеется, но на малом диапазоне изменения радиусов колец она оказалась незаметной.

Средние значения относительного коэффициента индукции в зависимости от расстояния от оси представлены на рис. 3.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

а) максимальный коэффициент индукции увеличивается по мере удаления от оси кольца;

б) зависимость $\frac{\alpha_{\text{макс}}}{\alpha_{\text{макс}}}$ от расстояния от оси тем сильнее, чем меньше высота кольца.

Зависимость коэффициента индукции от расстояния от оси приближенно может быть выражена экспериментальной формулой

$$\alpha'_{\text{макс}} = \alpha_{\text{макс}} e^{(1,55 - 0,17h) \left(\frac{r}{a} - 0,12 - 0,037h \right)} \quad (4)$$

для расстояний r , превышающих критическую величину $r_{\text{кр}}$,

$$r > r_{\text{кр}} \cong (0,12 + 0,037h) a. \quad (5)$$

Для расстояний $r \leq r_{\text{кр}}$ коэффициент индукции $\alpha'_{\text{макс}}$ превышает коэффициент индукции $\alpha_{\text{макс}}$ (для осевого положения частицы) не более чем на 5%.

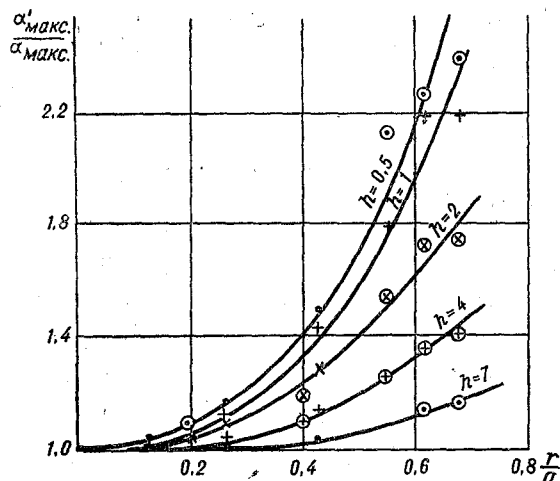


Рис. 3. Относительное изменение коэффициента индукции с расстоянием от оси кольца.

На практике важно иметь минимальную зависимость коэффициента индукции от места прохождения заряда, если от нее невозможно избавиться вообще. Из рис. 3 следует, что размеры заземленного цилиндра и высота кольца однозначно определяют и максимальный эффективный радиус измерительного кольца при выбранных пределах изменения коэффициента индукции.

Принимая во внимание обстоятельство, что во время измерения за величину коэффициента индукции можно принять среднее его значение, можно получить экспериментальные формулы для максимального эффективного радиуса измерительного кольца r_n

$$r_n \cong (0,15 + 0,06h) a \quad (6)$$

при изменении $\alpha'_{\text{макс}}$ в пределах $\pm 5\%$ и

$$r_n \cong (0,25 + 0,07h) a \quad (7)$$

при изменении $\alpha'_{\text{макс}}$ в пределах $\pm 10\%$ (h — высота кольца в сантиметрах, a — радиус заземленного цилиндра в сантиметрах).

Радиус кольца должен быть больше r_n по крайней мере на наибольший диаметр измеряемой частицы, чтобы последняя не коснулась стенок кольца во время измерения.

3) Длительность получаемых импульсов определялась с помощью калибровочных меток времени, выдаваемых осциллографом ЭНО-1.

Таблица 3

Длительность импульсов напряжения τ м/сек.

r	h	Расстояние от оси (см)																			
		0,0		0,66		1,0		1,32		2,0		2,15		2,75		3,1		3,4			
		τ	L	τ	L	τ	L	τ	L	τ	L	τ	L	τ	L	τ	L	τ	L		
0,9	0,5	33,3	8,2																		
	1,0	34,5	8,2																		
	2,0	39,0	9,6																		
	4,0	53,6	12,2																		
	7,0	70,0	14,0																		
2,5	0,5	46,5	11,4	42,1	10,3	42,5	10,7	38,5	9,3	37,1	8,9	34,3	8,3								
	1,0	50,6	12,2	49,0	12,0	42,9	10,3	42,8	10,3	31,4	7,7	37,9	9,2								
	2,0	53,3	12,9	48,3	11,5	46,0	11,0	45,0	10,7	39,0	9,6	38,9	9,1								
	4,0	57,8	13,0	55,6	12,5			52,2	11,6	50,0	11,3	47,8	10,8								
	7,0	69,8	14,0	72,0	14,3	72,0	14,3	72,0	14,3	65,7	13,1	62,6	12,4								
3,1	0,5	47,5	11,9	48,3	11,9			41,0	9,8			36,6	8,8	26,7	6,3						
	1,0	47,4	11,7	45,4	11,3			43,8	10,7			41,2	10,7	28,9	7,0						
	2,0	52,1	12,4	47,3	11,4			45,4	11,0			39,3	9,5	31,9	7,6						
	4,0	57,3	13,0	55,0	12,2			55,0	12,2			47,3	10,8	45,4	10,4						
	7,0			65,6	13,1			65,0	12,7			62,5	12,4	54,4	10,9						
3,75	0,5	41,9	10,4	40,6	9,8			40,0	9,8			40,0	9,8			26,2	6,4			21,7	5,4
	1,0	42,5	10,3	42,5	10,3			41,2	10,3			38,1	9,4			23,8	5,8			24,4	5,8
	2,0	50,0	11,9	45,2	11,0			43,9	10,6			40,7	9,6			30,7	7,1			26,0	6,6
	4,0	55,4	12,6	53,5	12,2			53,5	12,2			48,1	10,8			42,5	9,4			41,0	9,0
	7,0	63,6	12,9	62,0	12,9			61,6	12,9			59,0	11,8			53,8	10,9			50,4	10,3

Примечание. r , h и L даны в сантиметрах.

За начало и конец импульса принимался потенциал, равный по величине 0,1 амплитудного значения.

В табл. 3 представлены значения длительности импульса τ для всех колец при прохождении заряженного шарика по оси и на некоторых расстояниях от нее. Оказалось, что наибольшая длительность импульса существует при прохождении заряженного шарика по оси кольца. Чтобы полученные данные имели универсальный характер, было решено пере- считать длительность импульса в расстоянии, на котором движущийся заряженный шарик создает на кольце потенциал, превышающий на 10% амплитудное значение. Для этой цели расстояние z , пройденное шариком в зависимости от времени, было получено из решения уравнения движе- ния. Уравнение движения имеет вид

$$m \frac{dv}{dt} = mg - 6\pi r \eta v c_d \frac{Re}{24}, \quad (8)$$

где m — масса шарика, v — скорость шарика, g — ускорение за счет действия силы тяжести, t — время, r — радиус шарика, η — коэффициент вязкости воздуха, c_d — коэффициент сопротивления воздуха для шарика, Re — число Рейнольдса.

Решение уравнения (8) относительно пройденного расстояния z имеет вид

$$z = \sqrt{\frac{mg}{k}} t + \frac{m}{k} \ln \frac{1+e^{-2gt} \sqrt{\frac{k}{mg}}}{2}, \quad (9)$$

где

$$k = \frac{\pi^2 r^2 \rho_v c_d}{2},$$

(ρ_v — плотность воздуха).

При расчете пройденного расстояния пользовались следующими дан- ными: $\rho_v = 0,00129$ г/см³, $c_d = 0,46$, $m = 0,261$ г, $r = 0,2$ см.

Значение коэффициента сопротивления $c_d = 0,46$ заимствовано из ра- боты [4]. Зависимость пройденного расстояния z от времени t изобража-

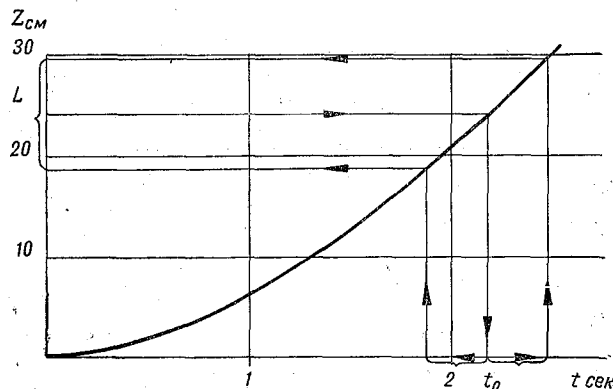


Рис. 4. Зависимость пройденного шариком расстояния z от времени t (масштаб времени увеличен в 10 раз).

лась графически. По известному расстоянию до центра кольца (рис. 4) находилось время t_0 , соответствующее прохождению шариком центра кольца. Откладывая от t_0 вправо и влево значения половины длительности импульса (импульс симметричный), на оси ординат отсчитывали иско- мое расстояние L (данные помещены в табл. 3).

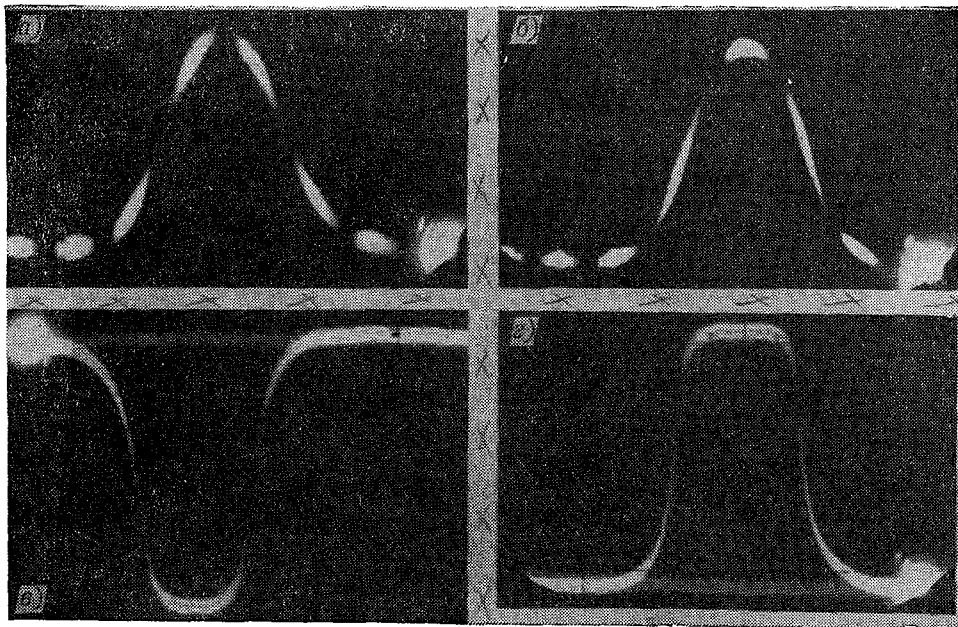


Рис. 5. Изменение формы импульса при прохождении заряженного шарика на различных расстояниях от оси кольца (радиус 3,75 см, высота 7 см).
 а) по оси кольца, б) 1,32 см от оси, в) 3,1 см от оси, г) 3,4 см от оси.

Полученные результаты позволили получить приближенную экспериментальную формулу для расстояния L , на котором величина импульса составляет более 10% амплитудного значения,

$$L = h + 2 \left[-30 + 28e^{-0,022h} \right], \quad (10)$$

где L и h выражены в миллиметрах.

Формула (10) получена для случая движения заряженного шарика по оси цилиндра. Следует отметить, что длительность импульса может быть уменьшена, если сверху и снизу кольцо заэкранировать, правда при этом коэффициент индукции также должен измениться.

4) Трансформация формы импульса хорошо видна на рис. 5. Чем дальше заряженный шарик проходит от оси, тем более плоской становится вершина импульса. На рис. 5 представлены формы импульсов для кольца радиусом 3,75 см и высотой 7 см на расстояниях 0; 1,32; 3,1; 3,4 см от оси цилиндра. Плоская часть вершины импульса связана с большой величиной отношения высоты к диаметру примененного кольца.

V. Используемая аппаратура и погрешность измерения

В работе были использованы следующие приборы: осциллограф ЭНО-1, фотоаппарат «Зенит», увеличитель типа «Микрофот» для просмотра киноплёнки, электрометр СГ-1 (потенциал шарика), электрометр СГ-1 (потенциал кольца), вольтметр постоянного тока типа М-109 класса 0,5, вольтметр переменного тока типа «Орион» класса 1,5 конденсатор Гармса, универсальный мост Е12-2, звуковой генератор типа ЗГ-10.

Относительная погрешность коэффициента индукции

$$\frac{\Delta \alpha_{\text{макс}}}{\alpha_{\text{макс}}} = \frac{\Delta q_{\text{макс}}}{q_{\text{макс}}} + \frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta V_{\text{к. макс}}}{V_{\text{к. макс}}} + \frac{\Delta C_{\text{к+у}}}{C_{\text{к+у}}} + \frac{\Delta V_{\text{э+ш}}}{V_{\text{э+ш}}} + \frac{\Delta C_{\text{э+ш}}}{C_{\text{э+ш}}},$$

где $C_{\text{к+у}}$ — емкость кольца вместе с присоединенным к нему усилителем, $V_{\text{к. макс}}$ — амплитуда потенциала кольца, $C_{\text{э+ш}}$ — емкость электрометра с шариком, $V_{\text{э+ш}}$ — потенциал электрометра, когда в его чашечку упал заряженный шарик.

Использование перечисленной выше аппаратуры позволило производить измерение с точностью до $\pm 8,5\%$.

В заключение следует отметить следующее.

1. В некоторых приборах по измерению зарядов капель дождя используется экран в виде конуса, например, в приборе, описанном в работе [1]. Измерения с такого рода экраном нами не были проведены. Однако проделанная работа позволяет сказать, что коэффициент индукции $\alpha_{\text{макс}}$ для использованного в работах [1, 5] кольца был равен $\sim 0,7$. Поскольку при обработке данных в работе [5] был использован коэффициент $\alpha_{\text{макс}} = 0,37$, то данные по заряду капель следует считать завышенными примерно в 2 раза. Расчетные данные в [2] могут отличаться от истинных более чем в три раза.

Результаты по относительному изменению коэффициента индукции в зависимости от расстояния от оси в настоящей работе и работе [1] удовлетворительно совпадают.

2. Настоящая работа была трудоемкой, так как необходимо было 2 раза в день проверить изоляцию и чувствительность электрометров, а при определении коэффициента индукции с помощью двух электрометров необходимо было следить за зарядением шелковой нити, на которой подвешивался шарик. Заряд шелковой нити мог сильно исказить результаты.

VI. Выводы

1. Ни одна из известных в настоящее время формул [1, 2, 3] не позволяет получить точного значения коэффициента индукции $\alpha_{\text{макс}}$.

2. Величина коэффициента индукции $\alpha_{\text{макс}}$ растет с увеличением высоты кольца вначале очень быстро, а потом медленнее. Особенно сильно эта зависимость выражена для кольца с малым радиусом (см. табл. 1).

3. Величина $\alpha_{\text{макс}}$ имеет минимальное значение при прохождении заряженного шарика по оси кольца и возрастает по мере удаления от нее, тем быстрее, чем меньше высота кольца (см. рис. 3).

4. Максимальный эффективный радиус измерительного кольца $r_{\text{и}}$, как показал эксперимент, однозначно определяется размерами заземленного цилиндра и высотой кольца для выбранных пределов изменения $\alpha_{\text{макс}}$. Если за основу принять среднее значение $\alpha_{\text{макс}}$ на площади измерения, то при изменении $\alpha_{\text{макс}}$ в пределах $\pm 5\%$

$$r_{\text{и}} \simeq (0,15 + 0,06h) a,$$

при изменении $\alpha_{\text{макс}}$ в пределах $\pm 10\%$

$$r_{\text{и}} \simeq (0,25 + 0,07h) a,$$

где a и h выражены в сантиметрах.

Радиус кольца должен превышать эффективный радиус измерительного кольца рассчитанный по экспериментальным формулам (6) и (7),

по крайней мере на диаметр заряженной частицы, чтобы избежать касания последней стенок кольца.

5. Длительность возникающего импульса напряжения на кольце оканчивается наибольшей при движении заряженного шарика по оси кольца и несколько уменьшается по мере удаления от нее (см. табл. 3).

6. Расстояние L , на котором потенциал кольца превышает величину, равную 10% амплитудного значения, может быть найдено по приближенной экспериментальной формуле

$$L = h + 2 \left[30 + 28e^{-0,022h} \right],$$

где L и h выражены в миллиметрах.

7. Форма импульса напряжения на кольце изменяется в зависимости от расстояния от оси, на котором проходит заряженный шарик. Вершина импульса уплощается по мере увеличения этого расстояния (см. рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М., Михайловская В. В. Самолетный прибор для измерения зарядов осадков. Приборы и техника эксперимента, № 2, 1958.
2. Красногорская Н. В., Седунов Ю. С. Метод измерения зарядов отдельных частиц. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 5, 1961.
3. Михайловская В. В. К расчету приборов для измерения зарядов частиц индукционным методом. (См. наст. сб.)
4. Matthews J. V. and Mason B. J. Electrification produced by the rupture of large water drops in an electric field. Quarterly Journ. Roy. Met. Soc. Vol. 90, № 385, London, 1963.
5. Имянитов И. М., Михайловская В. В. Опыт использования зарядов частиц осадков в свободной атмосфере. Тр. ГГО, вып. 97, 1960.

В. П. КОЛОКЭЛОВ, К. Н. БАРКАЛОВА

ЧИСЛО ГРОВОВЫХ РАЗРЯДОВ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ГРОЗ

По данным наблюдений построена зависимость между количеством разрядов и продолжительностью гроз. На основании этой зависимости произведено уточнение макета распределения грозовых разрядов на Европейской территории СССР. Макет карты приводится в настоящей статье.

В работе [1] была сделана оценка грозовой деятельности на территории Советского Союза по числу молниевых разрядов. Приведенный в этой работе макет карты числа грозовых разрядов на 100 км^2 был построен при помощи коэффициентов пересчета числа дней с грозой в число молниевых разрядов. Эти коэффициенты находились посредством параллельных наблюдений за числом грозовых разрядов, с одной стороны, и числом дней с грозой — с другой. Среднее число дней с грозой определялось по данным нескольких десятков станций, расположенных более или менее равномерно по территории радиусом 300—500 км.

Макет карты распределения числа грозовых разрядов был выполнен в виде изолиний, цифры на которых указывают число разрядов на землю на площади 100 км^2 . В качестве основы была взята карта числа дней с грозой [4].

В настоящей статье делается попытка использовать для построения макета карты числа грозовых разрядов другую климатологическую характеристику — продолжительность гроз, так как можно предположить, что этот параметр будет более надежно характеризовать грозовую активность.

Можно ожидать более тесной связи между числом грозовых разрядов и продолжительностью гроз.

В настоящей работе делается попытка найти зависимость количества молниевых разрядов от продолжительности гроз, а затем, используя в качестве основы карту среднегодовой продолжительности гроз [3], строится макет числа грозовых разрядов для Европейской территории СССР (рис. 1).

С этой целью из таблиц ТМ-1 были произведены выборки продолжительности гроз по станциям, равномерно размещенным в радиусе около 200 км от пунктов Воейково (под Ленинградом) и Свердловск, где уже на протяжении 5—6 лет производились приборные наблюдения за количеством разрядов. Затем была определена средняя месячная продолжительность гроз для каждого из этих районов за тот же период времени. Данные помещены в табл. 1. Используя сведения о количестве разрядов и о продолжительности гроз, были построены графики зависимости

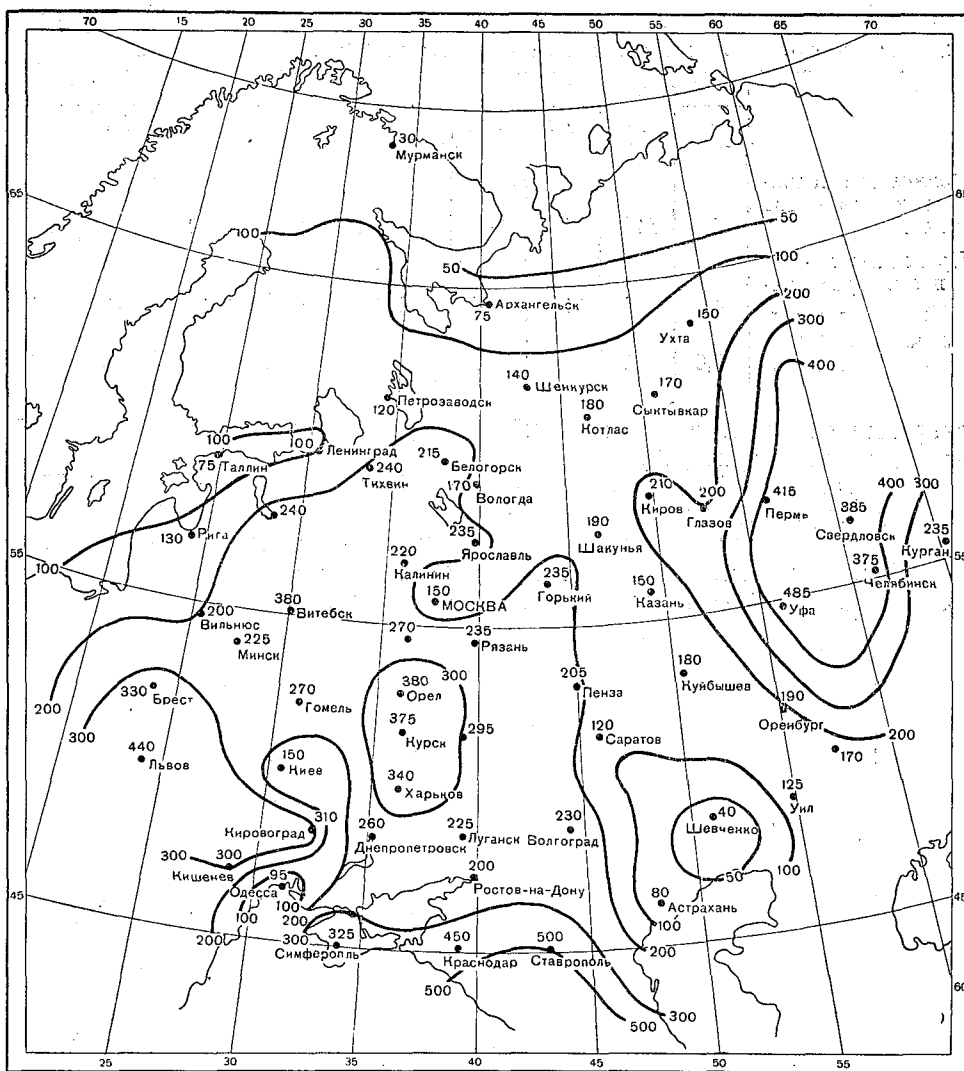


Рис. 1. Макет карты распределения грозных разрядов на 100 км² за год.

(рис. 2), где по оси абсцисс откладывалось количество разрядов на площадь 100 км², а по оси ординат — средняя месячная продолжительность гроз. Для сравнения на этом же графике пунктиром изображены кривые зависимости между количеством разрядов и числом дней с грозой, по данным наблюдений за 5—6 лет.

Интересно отметить, что зависимость между количеством разрядов и продолжительностью гроз получилась линейная.

Использование найденных зависимостей в значительной степени улучшает качество имеющегося макета и упрощает технику его построения.

Для построения макета карты числа разрядов была использована карта средней продолжительности гроз на территории Советского Союза, полученная во Всесоюзном научно-исследовательском институте электро-

Таблица 1

Средние значения грозных разрядов, продолжительности гроз и числа дней с грозой

	Воейково (1960—1965 гг.)					Свердловск (1961—1965 гг.)				
	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
Количество молниевых разрядов на 100 км ² . . .	19	54	68	32	7,3	82	151	173	75	15
Продолжительность гроз (часы)	4,7	11,2	14,2	7,3	2,3	8,2	16,2	19,2	9,7	1,7
Число дней с грозой	2,8	7,0	8,8	5,1	1,6	5,3	9,2	9,7	6,0	1,7

энергетики по данным наблюдений 700 гидрометеорологических станций за 20-летний период [3].

Материалы наблюдений Финляндии, Швеции и Норвегии за 1958—1963 гг., опубликованные в работе [5], подтверждают правильность составленного макета карты на прилегающей к этим странам территории.

В работе [5] помещены сведения о среднегодовом количестве разрядов на 100 км² за 4—6-летний период наблюдений.

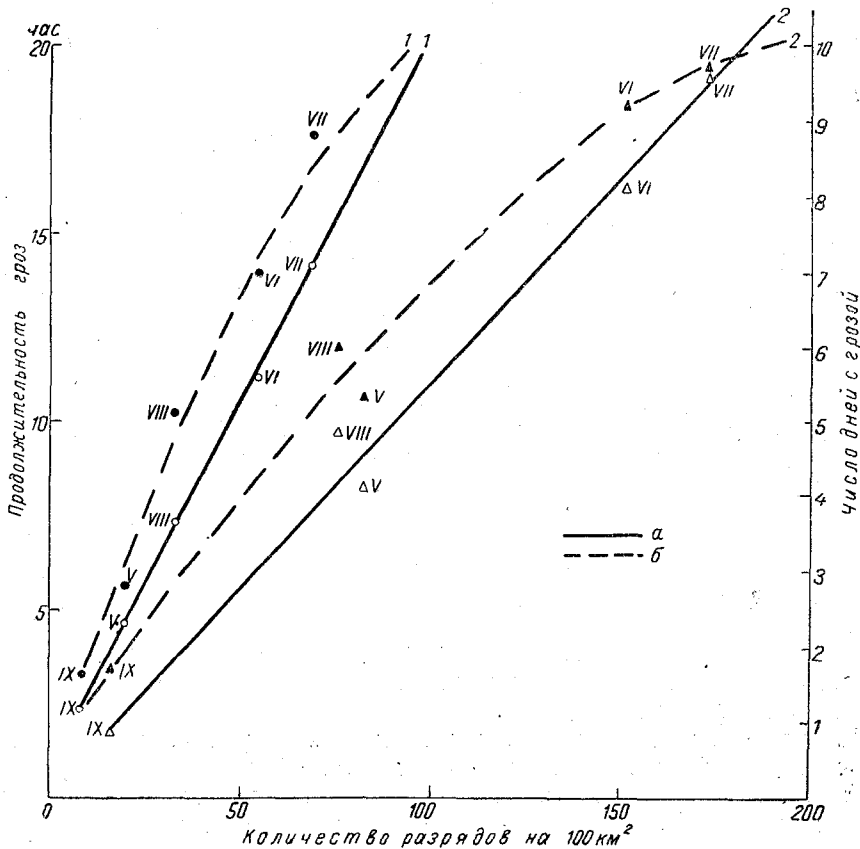


Рис. 2. Графики зависимости количества грозных разрядов от продолжительности гроз (а) и от числа дней с грозой (б).

1 — по данным Воейкова, 2 — по данным Свердловска.

Так, по Швеции получено 89 разрядов, по Финляндии —148, по Норвегии —38. Если учесть орографические особенности этих стран и влияние морей, то станет ясным, что сведения о количестве разрядов, помещенные на макете карты (рис. 1), правдоподобны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колоколов В. П., Симонова Р. И. Методика составления карт грозовых разрядов. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
2. Лебедев А. Н. Продолжительность гроз на ограниченных участках территории. Тр. ГГО, вып. 85, 1958.
3. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института электроэнергетики, вып. 19, т. 3, 1964.
4. Архипова Е. П. Карты географического распределения числа дней с грозой на территории СССР. Тр. ГГО, вып. 74, 1957.
5. Müller-Hillebrand. Lightning-counter measurements in Scandinavia, Proc. Inst. Electric. Eng. Vol. 112, № 1, 1965.

В. П. КОЛОКОЛОВ, В. А. КУТЯВИН

КАРТА ЧИСЛА ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР ЗА 1965 г.

Приводится схематическая карта числа грозных разрядов за 1965 г. на Европейской территории СССР, построенная по данным инструментальных наблюдений.

В последнее время в нашей стране и за рубежом отмечается большой интерес к вопросам распределения числа грозных разрядов по территории.

За последние годы карты числа грозных разрядов были составлены в Швеции, Норвегии и Финляндии [7].

В СССР в 1965 г. были опубликованы макеты карт числа грозных разрядов на 100 км^2 в год по территории СССР и по земному шару [1, 2]. Строились они на основе климатологического распределения числа дней

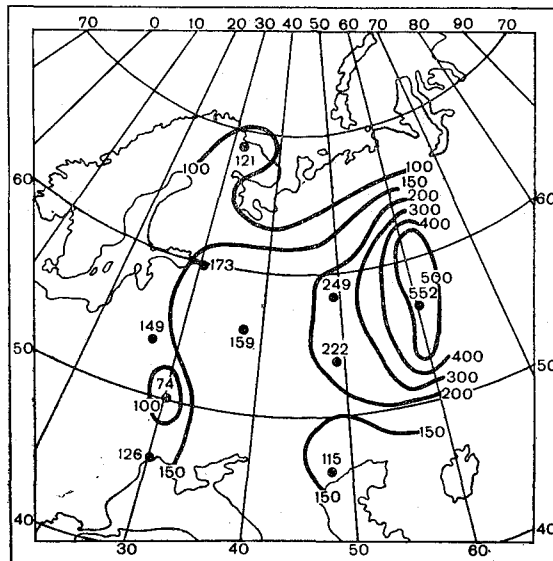


Рис. 1. Число грозных разрядов на 100 км^2 в 1965 г.

с грозой с использованием экспериментально установленной зависимости между числом дней с грозой и числом грозовых разрядов на единицу площади.

В настоящее время сделана первая попытка построить карту числа грозовых разрядов непосредственно по данным инструментальных наблюдений (рис. 1).

Карта построена для Европейской территории СССР (ЕТС) и представляет распределение числа грозовых разрядов на 100 км² за 1965 г. Карта является схематической, так как построена по ограниченному числу пунктов (10 пунктов), при этом погрешность результатов наблюдений в каждом из них может составлять $\pm 20\%$.

Наблюдения проводились с помощью полупроводниковых регистраторов грозовых разрядов [3]. Порог срабатывания приборов в 1 в/м и эффективный радиус действия 150 км [4].

В каждом пункте было установлено два прибора с полосами пропускания 2—20 и 2—60 кгц. Для построения карты использовались данные, полученные по первому прибору (с частотным диапазоном 2—20 кгц). Данные, полученные по второму прибору, использовались для контроля.

При анализе карты видно, что количество разрядов в 1965 г. изменялось по территории ЕТС в значительных пределах — от 70 до 550 разрядов на 100 км². Наименьшая грозовая активность отмечалась в районе Киева, наибольшая — на Среднем Урале и прилегающих к нему областях.

Полученные результаты интересно сопоставить с данными работы [6].

По климатологическим сведениям за 1965 г., суммарная продолжительность гроз сравнительно со средней многолетней была повышена на Среднем Урале и Предуралье, а также в районе Прибалтики.

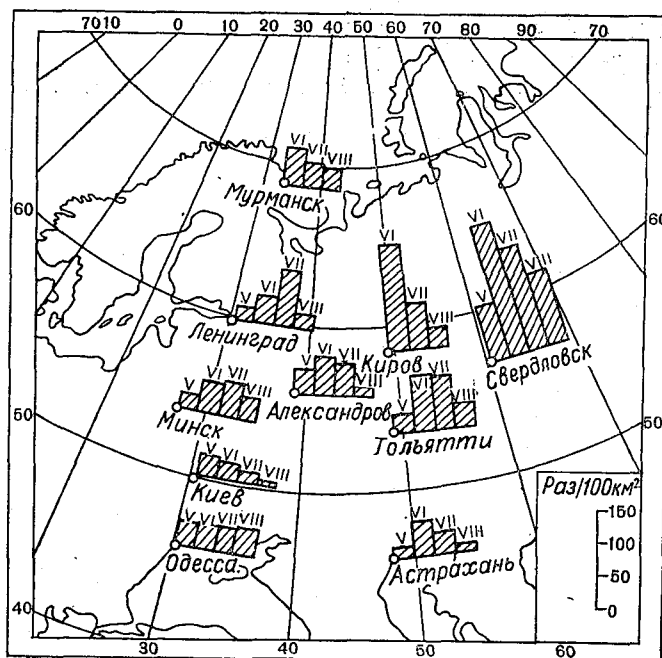


Рис. 2. Годовой ход числа грозовых разрядов в 1965 г.

В Киевской области активность была понижена. Таким образом, можно отметить удовлетворительное совпадение полученных результатов по числу разрядов с климатологическими данными по продолжительности гроз за 1965 г.

Как следует из работы [7], среднее годовое количество разрядов за 1959—1963 гг. в Финляндии составляло в среднем 148 разрядов на 100 км². Полученное в 1965 г. количество разрядов по северо-западной части ЕТС близко к этой величине, что также служит косвенным подтверждением правильности полученных результатов.

Для характеристики годового хода числа разрядов на ЕТС для каждого пункта наблюдений построены гистограммы (рис. 2).

Обращает внимание согласованный годовой ход грозовой деятельности в пунктах, более или менее близких по климатологическим условиям, что особенно заметно по данным Кирова и Свердловска.

Настоящая статья ввиду ограниченности материала одним годом не претендует на полную освещенность закономерностей грозовой деятельности на ЕТС. Однако по мере дальнейшего расширения инструментальной регистрации грозových разрядов и накопления материала появится возможность более полно решать эту задачу, в том числе для всей территории СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колоколов В. П., Симонова Р. И. Методика составления карт грозových разрядов. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
2. Колоколов В. П. Мировое распределение числа грозových разрядов. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
3. Лызар П. С. Полупроводниковые грозорегистраторы. Тр. ГГО, вып. 157, 1964.
4. Колоколов В. П., Баркалова К. Н., Кутявин В. А., Купрович В. А., Симонова Р. И. Об уточнении методики составления карт числа грозových разрядов. Тр. ГГО, вып. 188, 1966.
5. Колоколов В. П. Некоторые особенности разрядной деятельности гроз в средних широтах. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
6. Колоколов В. П., Баркалова К. Н. Число грозových разрядов и продолжительность гроз. (См. наст. сб.).
7. Müller-Hullebrand. Lightning-counter measurements in Scandinavia. Proc. Inst. Electric. Eng., Vol. 112, № 1, 1965.

ГРОВОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО ДАННЫМ ГРОЗОРЕГИСТРАТОРОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТАХ

Рассматриваются результаты наблюдений за грозовой активностью при помощи полупроводниковых грозорегистраторов с полосой пропускания 56—62 кгц. Вычислено число разрядов на 100 км² в год.

В Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) в Ленинграде в течение ряда лет проводились наблюдения за грозовой деятельностью при помощи грозорегистраторов с различными частотными характеристиками. Результаты этих исследований были опубликованы в работах [4, 5, 6].

Настоящая статья также посвящена исследованию грозовой деятельности, с той лишь разницей, что материалы по числу грозовых разрядов были получены с помощью грозорегистраторов с полосой частот 56—62 кгц [1], в то время как результаты наблюдений за числом грозовых разрядов, опубликованные ранее [5, 6], были получены с помощью приборов с полосой частот 2—20 кгц.

В этой работе рассматриваются результаты наблюдений за грозовой активностью полупроводниковыми грозорегистраторами типа ПРГ-1м в трех пунктах Европейской части СССР: Воейково (под Ленинградом), Свердловске и Одессе.

Эффективные радиусы приборов были приняты: 9,7 км (Воейково), 13,2 км (Одесса), 9,0 км (Свердловск). Эффективный радиус для Воейково взят равным 9,7 км, как было определено в 1961 г. [8]. Этот эффективный радиус найден с учетом высоты антенны, в отличие от предыдущего 18,5 км.

Эффективные радиусы для Свердловска и Одессы определены по формуле, приведенной в [8].

Результаты наблюдений за числом молний приборами ПРГ-1м за период 1960—1965 гг. приводятся в табл. 1 (по Одессе отсутствуют данные за 1963 г.). Результаты наблюдений в Воейково за 1960 г. также нельзя признать полностью надежными [9]. Отсутствуют данные за сентябрь 1962 и 1963 гг. в Свердловске и за сентябрь 1961 г. в Одессе. Так как в сентябре грозовая активность сильно снижается, отсутствие данных за этот месяц существенно не скажется на изменении характеристик гроз в рассматриваемый период.

В табл. 1 приводится суммарное число грозовых разрядов за грозовые сезоны, пересчитанное на 100 км². По данным табл. 1 построены диаграммы (рис. 1 и 2), с помощью которых прослеживается тенденция грозовой активности от года к году за шесть лет.

Число грозových разрядов на 100 км², по данным ПРГ-1М (1960—1965 гг.)

Год	Бойково, $R_{эф}=9,7$ км					Свердловск, $R_{эф}=9,0$ км					Одесса, $R_{эф}=13,2$ км							
	V	VI	VII	VIII	IX	сумма за грозовой сезон	V	VI	VII	VIII	IX	сумма за грозовой сезон	V	VI	VII	VIII	IX	сумма за грозовой сезон
1960	0	23	174	8	33	238	100	2300	535	164	728	3827	224	184	342	292	71	1113
1961	4	503	141	129	6	783	121	1656	3870	557	80	6284	31	150	287	104	—	572
1962	16	81	168	47	18	330	1070	820	1000	218	—	3108	53	84	34	20	38	230
1963	98	154	21	314	78	665	664	1230	1780	190	—	3864	—	—	—	—	—	—
1964	35	109	220	250	20	634	167	427	607	637	36	1830	92	142	360	320	38	2230
1965	3	70	46	8	11	138	306	690	570	148	0	1700	108	135	750	128	29	1150
Среднее						465						3435						1059

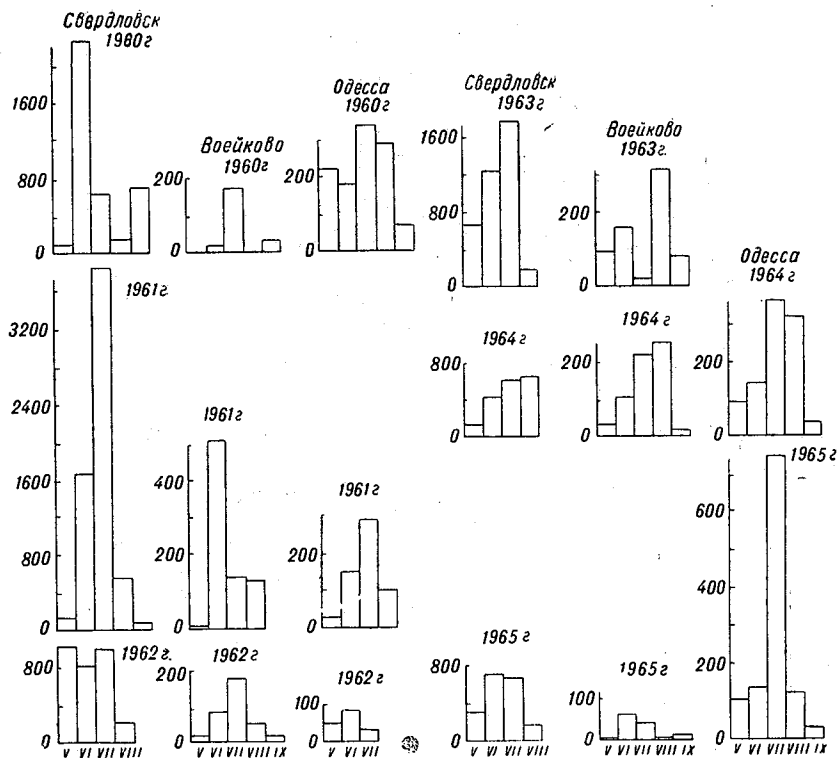


Рис. 1. Суммарное число грозных разрядов в различные грозные сезоны, пересчитанное на 100 км². Свердловск, Воейково, Одесса, 1960—1965 гг.

Анализируя построенные диаграммы, видим, что количество разрядов по месяцам изменяется в значительных пределах: в 1961 г. от 4 (Воейково, май) до 3870 разрядов на 100 км² (Свердловск, июль). Наибольшая грозная активность отмечается в июне — августе во всех пунктах, но месячное число грозных разрядов в Свердловске в 2—3 раза превышает число грозных разрядов в Одессе и в 4—5 раз — в Воейково. Можно отметить, что для Одессы самым активным в грозном отношении (по числу грозных разрядов) является июль (за исключением 1962 г.), в то время как для Воейково и Свердловска нельзя точно указать месяц наибольшего числа грозных разрядов (оно колеблется от года к году между июнем и августом).

По подсчитанным суммарным значениям числа грозных разрядов за грозной сезон, приведенным в табл. 1, были построены диаграммы (рис. 2).

Из рассмотрения таблиц и диаграмм следует, что даже годовые суммы числа грозных разрядов на 100 км² сильно меняются от года к году. Так, за рассматриваемый шестилетний период в Воейково минимальное число грозных разрядов за год 138 (1965 г.), максимальное — 783 (1961 г.), т. е. суммарные значения меняются в 5,7 раза. Для Свердловска за тот же период минимальные и максимальные значения составляют соответственно 1700 (1965 г.) и 6284 (1961 г.), а отношение этих величин составляет 3,7. Наконец, для Одессы за пять лет минимальное значение составляло 230 (1962 г.), максимальное — 2230 (1964 г.), а отношение этих величин — 9,7.

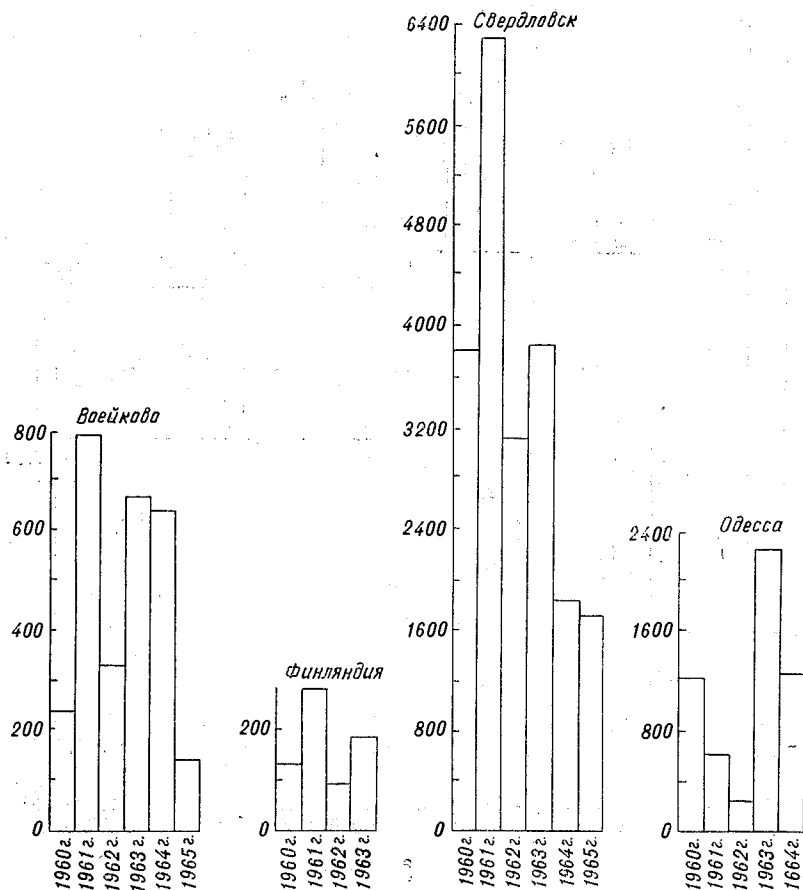


Рис. 2. Диаграмма изменения суммарного числа грозных разрядов от года к году.

Интересно сравнить данные, полученные для отдельных пунктов Европейской территории СССР, с данными, полученными в Финляндии [2] (табл. 2). Особый интерес это сравнение приобретает для Воейково, так как физико-географические условия здесь близки к тем, которые имеют место в Финляндии.

Таблица 2

Суммарное число грозных разрядов на 100 км ² для Финляндии					
Год	1960	1961	1962	1963	1959—1963
Число грозных разрядов на 100 км ²	135	281	94	182	148

Финские данные по числу грозных разрядов на 100 км² являются средними для 49 станций, расположенных более или менее равномерно на территории Финляндии. При сравнении диаграмм, построенных для Воейково и Финляндии, видим относительно согласованный ход. Среднее число грозных разрядов, рассчитанное на 100 км², за рассматриваемый интервал времени (5—6 лет) для Свердловска и Одессы несколько завышено по сравнению с финскими данными, а также данными, полученными в ГГО и приведенными в [5, 6].

Возможно, это связано с различиями в полосах пропускания приборов, а также с неточностью определения эффективного радиуса, так как определение эффективного радиуса грозорегистраторов требует знания ряда статистических параметров грозовых разрядов, которые нуждаются в уточнениях [4]. После уточнения этих параметров возможно, что результаты, полученные грозорегистраторами с различными частотными характеристиками, будут более сопоставимыми. Возможно, что эти различия в какой-то мере связаны с тем, что у разных авторов счетчики грозовых разрядов работают в разных полосах частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыдзар П. С. Полупроводниковые грозорегистраторы. Тр. ГГО, вып. 157, 1964.
2. Müller-Hillebrand. Lightning-counter measurement in Scandinavia. Proc. Inst. Electric, Eng. Vol. 112, № 1, 1965.
3. Malan D. J. Radiation from lightning discharges and its relation to the discharge process. Recent Advances in Atmospheric Electricity, 1958.
4. Семенов К. А. Некоторые результаты испытаний грозорегистраторов с малым радиусом действия. Тр. ГГО, вып. 157, 1964.
5. Колоколов В. П., Симонова Р. И. Методика составления карт грозовых разрядов. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
6. Колоколов В. П., Баркалова К. Н. Число грозовых разрядов и продолжительность гроз. (См. наст. сб.).
7. Махоткин Л. Г., Семенов К. А. Статистика грозовых разрядов. Тр. ГГО, вып. 146, 1963.
8. Асташенко А. И., Семенов К. А. Результаты сравнения грозорегистраторов. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
9. Махоткин Л. Г., Лыдзар П. С. Ориентировочная оценка удаленности гроз по амплитудам атмосфериков. Тр. ГГО, вып. 146, 1963.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЧИСЛОМ ВНУТРИОБЛАЧНЫХ РАЗРЯДОВ И РАЗРЯДОВ НА ЗЕМЛЮ

По данным визуальных наблюдений получено соотношение между числом внутриоблачных разрядов и разрядов на землю. Среднее значение этого соотношения по всем пунктам лежит в пределах 2,6—4.

Для теоретических расчетов и в практике иногда требуется знание числа внутриоблачных разрядов (g_{0-0}) и разрядов на землю (g_{0-3}). С целью получения этих данных в некоторых пунктах страны проводились визуальные наблюдения за числом грозовых разрядов. Тип разряда определялся также визуально по направлению молниевых каналов.

Расстояние, в пределах которого велись наблюдения, не превышало 15—20 км. Кроме разрядов, тип которых не вызывал сомнений, подсчитывалось число разрядов, тип которых определить не удалось. К таким случаям отнесены разряды, когда часть молниевых каналов была закрыта деревьями, зданиями или другими сооружениями, а также случаи, когда наблюдатель слышал гром, но молния не была видна.

Результаты наблюдений приведены в табл. 2. Большой разброс соотношений $\frac{g_{0-0}}{g_{0-3}}$ можно объяснить малым числом разрядов по отдельным наблюдениям, так как известно, что это соотношение в отдельно взятых грозах колеблется в больших пределах. Среднее значение, полученное для всех пунктов, составляет 2,5. Если учесть, что разряды, тип которых определить не удалось, в основном относятся к внутриоблачным, это соотношение увеличится до 4.

Для сравнения в табл. 1 даны соотношения, полученные другими авторами и приведенные в работах [1] и [2].

Следует отметить, что расхождение соотношений по Ленинграду (Войково) объясняется тем, что данные, приведенные в табл. 1, получены с помощью грозорегистраторов с частотами входного устройства $f = 2 \div 20$ кгц и $f = 2 \div 150$ кгц без учета внутриоблачных разрядов, принимаемых прибором с частотой $f = 2 \div 20$ кгц.

Таблица 1

Соотношение между внутриоблачными и наземными разрядами

Пункт наблюдения	$\frac{g_{0-0}}{g_{0-3}}$	Пункт наблюдения	$\frac{g_{0-0}}{g_{0-3}}$
Упсаала (Норвегия) [1]	1,9	Англия [2]	1,5
Тессин (Швейцария) [1]	3,3	Ленинград [1]	1,0
		Низкие широты [2]	9

Таблица 2

Число внутриоблачных (g_{0-0}) и наземных (g_{0-3}) разрядов,
по данным визуальных наблюдений

Пункт	Год	Число разрядов		$\frac{g_{0-0}}{g_{0-3}}$	Число разрядов, тип которых не определен
		g_{0-0}	g_{0-3}		
Ленинград (Воейково)	1959	5	17	0,3	—
	1960	23	14	1,6	—
	1961	191	48	4,0	191
	1962	53	48	1,1	239
	1963	39	35	1,1	325
	1964	59	41	1,4	110
Сумма		370	203		865
Среднее				1,8	
Мурманск	1964	41	41	1,0	—
	1965	25	33	0,8	27
Сумма		66	74		27
Среднее				0,9	
Москва	1964	130	51	2,6	—
	1965	182	78	2,3	166
Сумма		312	129		166
Среднее				2,4	
Киев	1964	454	94	4,8	—
	1965	138	8	17,2	63
Сумма		592	102		63
Среднее				5,8	
Ростов-на-Дону	1964	907	371	2,4	—
	1965	353	98	3,6	242
Сумма		1260	469		242
Среднее				2,7	
Ашхабад	1964	12	16	0,8	—
Аральск	1965	7	39	0,2	9
Владивосток	1965	60	3	20,0	14
Сумма	Все годы	2679	1035		1388
	1964	1603	614		110
	1965	765	259		523
Среднее	Все годы			2,6	
	1964			2,6	
	1965			2,9	

ЛИТЕРАТУРА

1. Колоколов В. П. Некоторые особенности разрядной деятельности гроз в средних широтах. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
2. Мейсон Б. Дж. Физика облаков. Гидрометеиздат, Л., 1961.

ГРОВОВАЯ АКТИВНОСТЬ В СРЕДНЕАЗИАТСКИХ РЕСПУБЛИКАХ СССР И В СОПРЕДЕЛЬНЫХ С НИМИ СТРАНАХ

По данным пеленгования атмосфериков за четыре года (1961—1964) характеризуется грозовая активность района среднеазиатских республик и сопредельных с ними стран.

С развитием международных воздушных сообщений и строительством большого числа высоковольтных линий электропередач данные о грозовой деятельности как на территории нашей страны, так и сопредельных стран приобретают исключительно важное практическое значение. Вместе с тем для характеристики гроз до самого последнего времени можно было использовать лишь данные о числе дней с грозой по отдельным пунктам. Эти данные не позволяют судить ни о пространственных, ни о временных закономерностях грозовой активности. С помощью этих данных нельзя получить необходимое представление о появлении и вероятности гроз на трассах, имеющих протяженность более 100—500 км. Поэтому не случайно, что стали интересоваться возможностями характеризовать грозовую активность на основе инструментальных наблюдений за грозами, проводящихся в последние годы. Уже ряд лет (со времени МГГ) ведется непрерывное пеленгование атмосфериков с помощью радиогониометров. Сеть пеленгования атмосфериков охватывает почти всю территорию СССР. В данной статье рассматривается грозовая деятельность на основе материалов пеленгования атмосфериков, полученных с помощью пунктов среднеазиатского куста, расположенных в Ашхабаде, Аральске, Караганде и Ташкенте.

Данные пеленгования атмосфериков по среднеазиатскому кусту, полученные за четыре года (1961—1964), как показал опыт использования подобных материалов [1, 2, 3, 4], позволяют характеризовать грозовую активность обширного района среднеазиатских республик СССР и сопредельных с ними стран.

При решении данной задачи пользовались тем же методом характеристики грозовой деятельности по территории, что и для районов Европейской территории СССР (ЕТС) и Дальнего Востока [1, 5].

Грозовая деятельность, по данным пеленгования, атмосфериков прежде всего характеризуется количеством грозовых очагов, приходящихся на единицу площади¹. Эту характеристику мы называем грозовой актив-

¹ В дальнейшем под очагом гроз будем понимать очаг-атмосфериков, а под грозовой активностью — плотность очагов атмосфериков.

ностью. Под грозовым очагом подразумевается местоположение источника грозных разрядов (атмосфериков). Грозные очаги различаются, если они находятся друг от друга на расстоянии, большем, чем погрешность определения местоположения источника грозных разрядов.

Грозная активность на территории, охватываемой среднеазиатским кустом, определялась для каждой пятиградусной географической клетки по способу, изложенному в работе [1].

Таким образом, была определена грозная активность для 69 клеток на территории, расположенной между 30 и 65° с. ш. и 30 и 85° в. д. и занимающей площадь около 13 млн. км².

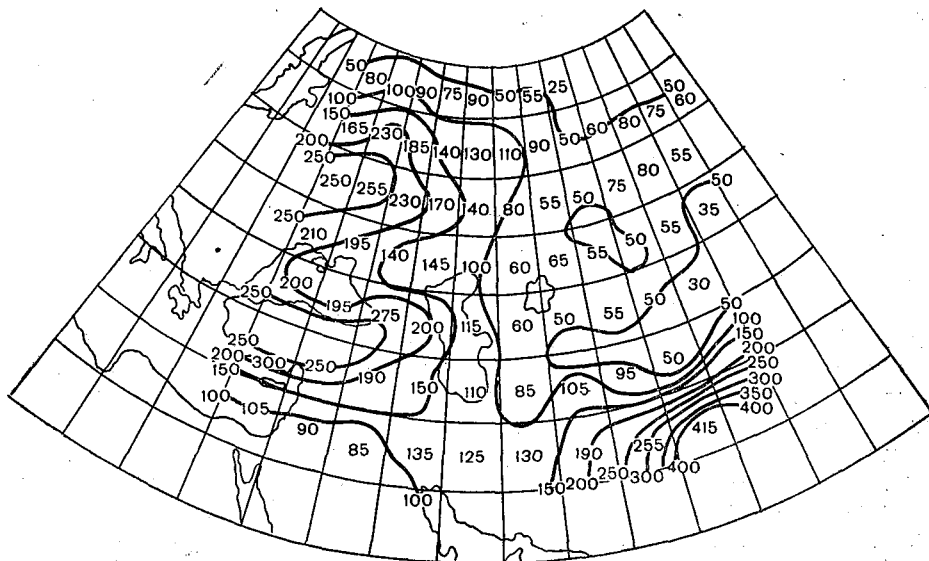


Рис. 1. Грозная активность (число очагов на 100 000 км²). Год.

На рис. 1—5 приводятся карты грозной активности, построенные по средним за 1961—1964 гг. величинам количества грозных очагов на единицу площади, равную 100 000 км².

На рис. 1 представлена карта распределения среднегодового числа очагов гроз. Анализируя ее, нетрудно заметить, что на ЕТС, в Западной Сибири и в субтропических широтах (Закавказье, юг Средней Азии, Ближний Восток) число грозных очагов варьирует весьма в широких пределах — от 30—50 в пустынных районах Средней Азии и севернее 65° с. ш. до 300—400 на юге Турции и в верховьях бассейна р. Инд; в средней полосе умеренной зоны оно изменяется от 55—80 в Западной Сибири до 200—250 очагов на единицу площади в западных районах ЕТС. Очаги наибольшей грозной активности находятся на западе ЕТС, на Кавказе, в горах Средней Азии, Северной Индии и Пакистана, а также в Турции и в других сопредельных с СССР южных странах. Восточные и засушливые пустынные районы исследуемой территории выделяются малой грозной активностью, среднегодовое число очагов гроз здесь находится в пределах 50—100.

На сезонных картах распределение очагов гроз имеет иную картину. Весной (рис. 2), когда континентальная часть умеренной зоны еще недостаточно хорошо прогрета, наиболее активная грозная деятельность отмечается в субтропической зоне (горы Средней Азии и Северной

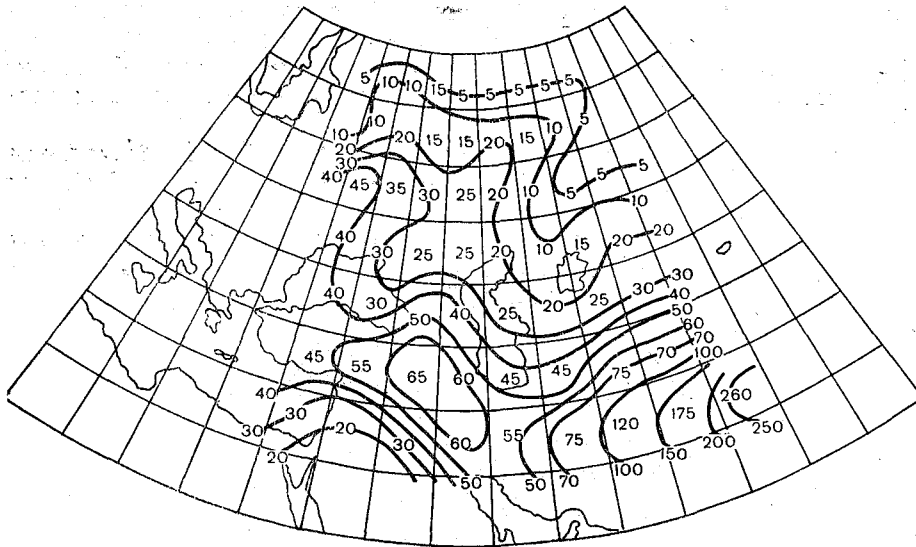


Рис. 2. Грозовая активность (число очагов на 100 000 км²). Весна.

Индии). Здесь на единицу площади приходится до 100—250 очагов гроз. Что касается западного района субтропиков (территория Турции и других стран Ближнего Востока), то здесь весной наличие значительного числа очагов гроз имеет место лишь в бассейне рек Тигра и Евфрата. Для остальной части района характерна невысокая грозовая активность. Очевидно, это связано с тем, что воздушные массы, приходящие с юга Аравийского полуострова, быстро иссушают этот район; северные и северо-восточные ветры еще сравнительно холодные и сухие и поэтому не способствуют развитию грозовой деятельности в этом районе. С продви-

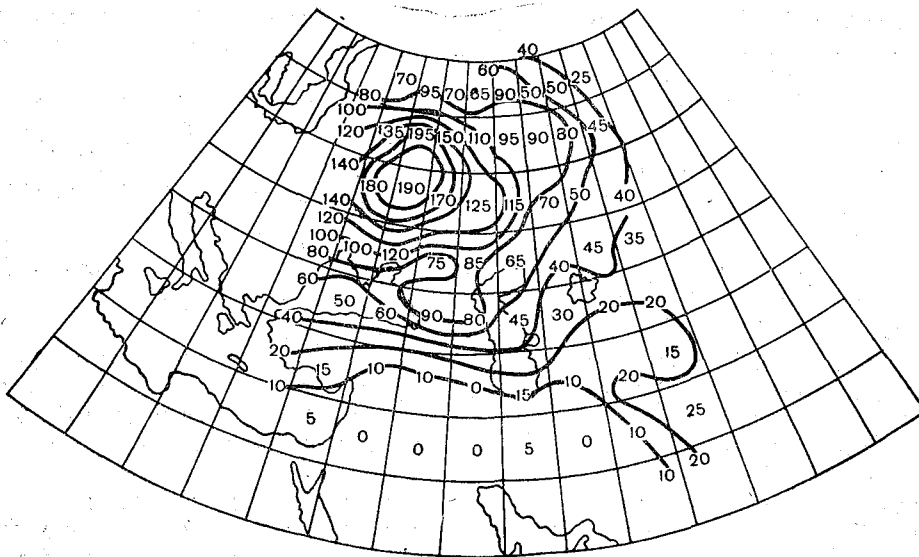


Рис. 3. Грозовая активность (число очагов на 100 000 км²). Лето.

жением на север грозовая деятельность постепенно ослабевает, в Западной Сибири и на севере ЕТС (севернее 55° с. ш.) число очагов гроз не превышает 20 и лишь на западе ЕТС оно достигает 30—45.

В летнее время (рис. 3) особенно выделяется центральный район ЕТС (150—195 очагов). Грозовая активность между 60 и 65° с. ш. (65—90 очагов) такая же, как и в низовьях Волги и на Кавказе (80—90 очагов). Как видно, летом грозы смещаются на север. Приток тепла на севере летом увеличивается, а влаги там всегда достаточно. На ЕТС грозы чаще всего отмечаются летом и очень редко или вовсе не наблюдаются зимой. Что касается сезонов весны и осени, то сразу ответить

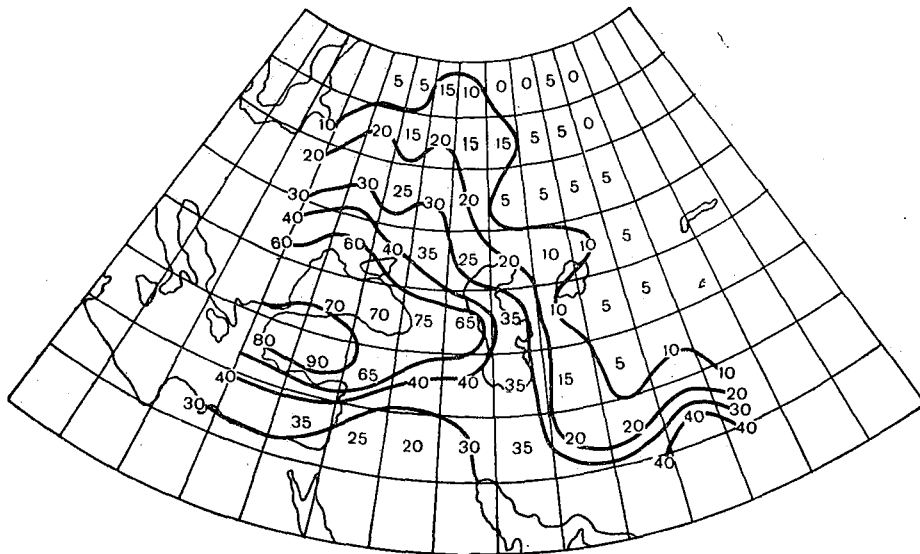


Рис. 4. Грозовая активность (число очагов на 100 000 км²). Осень.

трудно, в какой сезон грозы активнее. Рассмотрим рис. 2 и 4. Средние этих карт показывают, что для районов ЕТС севернее 45° с. ш. характер грозовой активности весной и осенью почти одинаков. Весной несколько активнее грозы только севернее 60° с. ш. Для района республик Средней Азии различие в эти сезоны заметнее. В этом районе весной грозовых очагов наблюдается больше, чем осенью. Аналогичная картина получается и для Афганистана. Для Ирана и государств, находящихся западнее Ирана, эти различия невелики (35—45 очагов). Для Турции они больше: весной активность оценивается в 45—55 очагов на 100 000 км², а осенью — в 65—90 очагов. В районе Кавказа и на Черном море грозы активнее осенью, чем весной.

Зимой (декабрь, январь, февраль) на рассматриваемой территории картина распределения числа грозовых очагов является особенно контрастной (рис. 5). Для ЕТС и Западной Сибири севернее 50° с. ш. грозовая активность нулевая (возможны лишь единичные грозы). На юге Украины, Северном Кавказе и на севере Каспия отмечается слабая грозовая активность (5—10 очагов). В районе среднеазиатских республик зимой грозовая активность еще слабее (2—5 очагов). Но в странах, расположенных южнее 40° с. ш. и западнее 45° в. д., зимой грозы наблюдаются чаще, чем в другие сезоны, и особенно по сравнению с летом. Здесь зимой отмечается от 75 до 165 очагов, а летом всего лишь 10—15 очагов.

На сезонных картах весны, лета и осени, а также на карте среднегодового числа очагов гроз обращает на себя внимание то, что в средней полосе СССР очень резко выражено уменьшение грозовой активности с запада на восток. Это явление хорошо согласуется с распределением многолетнего среднего числа дней с грозами [9]. В западной части ЕТС на широтах Минска и Москвы грозовая активность в 3—4 раза больше, чем в Западной Сибири. Такое распределение очагов гроз объясняется тем, что в Западной Сибири обширные низменные и заболоченные пространства являются относительно холодными. Сюда нередко также поступают холодные массы воздуха из Арктики, а на юге этот район граничит

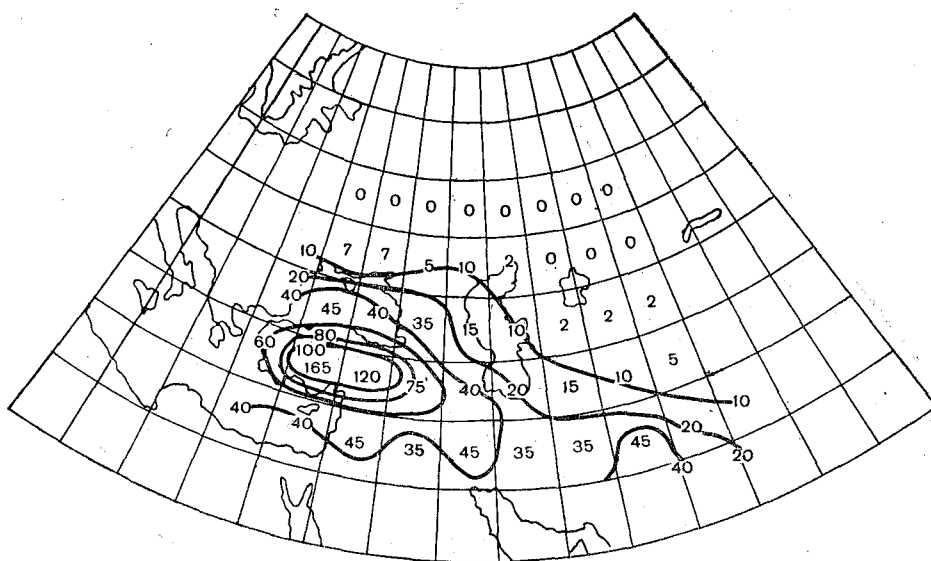


Рис. 5. Грозовая активность (число очагов на 100 000 км²). Зима.

с сухими областями Казахстана. Ни холодный воздух, поступающий с севера, ни сухие теплые массы воздуха с юга не способствуют развитию грозовой деятельности. Циклоны, перемещающиеся с запада и юго-запада, обычно не достигают этих районов. На западе же ЕТС повышенная грозовая активность явно обусловлена фронтальными процессами. Из Атлантики циклоны приносят с собой влажные воздушные массы с неустойчивой стратификацией, которые над теплой сушей быстро прогреваются. При этом даже небольшие возвышенности (Средне-Русская, Смоленско-Московская и др.) оказываются достаточными орографическими препятствиями, чтобы развивались грозовые процессы. Ослабление фронтальных процессов в восточном направлении служит основным фактором уменьшения грозовой активности.

Большое количество грозовых очагов в горах Средней Азии и на Кавказе обусловлено орографическими факторами, которые являются основной причиной сильного развития конвекции, вызывающей грозовую деятельность.

В табл. 1 приведены данные распределения грозовых очагов по месяцам, по градациям широт, различающихся на 5° в пределах от 30 до 70° в. д. Эта таблица дает более детальную картину распределения грозовой активности во времени, чем рассмотренные выше карты. Из этой таблицы видно, что район ЕТС между 50 до 65° с. ш. может характеризоваться по распределению очагов гроз в течение года как единый. Что

Таблица 1

Вероятность (%) грозных очагов по широтным пятиградусным зонам													
Район		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
северная широта (град.)	восточная долгота (град.)												
60—65	30—70	0	0	0	1	5	22	49	19	4	0	0	0
55—60		0	0	0	0	10	21	41	21	7	0	0	0
50—55		0	0	0	—	12	23	30	24	9	0	0	0
45—50		1	1	2	4	13	22	19	18	11	5	3	1
40—45	30—50	5	5	4	5	10	16	9	8	11	15	7	5
40—45	50—70	0	1	3	11	26	23	13	9	6	3	3	2
35—40	30—50	13	13	7	11	10	4	1	1	4	12	10	14
35—40	55—70	2	4	13	28	23	6	4	5	5	4	4	3
30—35	30—50	10	10	10	19	7	1	1	1	1	10	14	16
30—35	55—70	2	6	19	22	12	2	4	6	12	5	6	4

касается других градаций широт, то принятое разграничение действительно правомерно, так как каждый из этих районов отличается по годовому ходу гроз.

Таким образом, вырисовываются районы одинаковых климатических условий для характеристики грозовой активности.

Весьма важной характеристикой грозовой активности является распределение ее в течение суток. Поскольку на рассматриваемой нами территории местное время различается более чем на три часа, а грозовая деятельность в течение суток будет сильно зависеть от местного времени, в табл. 2 и 3 приводятся данные о распределении очагов гроз в различное время суток как для районов, различных в климатическом отношении, так и для районов, однородных по климату. В табл. 2 дается распределение количества грозных очагов в различное время суток, в различные сезоны года по четырем крупным районам и бассейну Черного моря. Первый район — часть ЕТС в границах от 45 до 60° с. ш. и от 30 до 60° в. д. Второй район ограничен 35—45° с. ш. и 30—50° в. д. Это район Малой Азии. Третий район, охватывающий часть Западной Сибири и Казахстана, расположен в пределах от 40 до 60° с. ш. и от 55 до 70° в. д. Четвертый район — среднеазиатские республики СССР — ограничен 30—40° с. ш. и 55—70° в. д.

В табл. 3 приводятся данные о распределении числа грозных очагов в различные сезоны года в различное время суток по району ЕТС через каждые 5° долготы. В обеих таблицах время местное.

Рассмотрим табл. 2. Нетрудно заметить, что в весенний сезон по всем четырем районам грозовая активность больше во вторую половину суток. Максимум грозовой активности по всем районам приходится на 18 час. Летом время максимума грозовой активности смещается на более ранние часы: в первом, втором и четвертом районах максимум приходится на 15 час., в третьем районе максимум гроз наблюдается в 18 час., но и в 15 час. отмечается почти такое же количество гроз.

Явное смещение грозовой активности на утренние часы характерно для бассейна Черного моря. Здесь максимум гроз приходится на 6 час.

Таблица 2

Вероятность (%) грозных очагов в различное время суток, в различные сезоны года по разным районам

Район	Время суток (часы)							
	3	6	9	12	15	18	21	24
Весна								
1 — ЕТС	10	8	8	10	16	19	17	12
2 — Малая Азия	10	9	10	11	17	17	15	11
3 — Западная Сибирь и Казахстан . . .	7	6	7	8	21	24	15	12
4 — среднеазиатские республики СССР	8	6	6	8	19	24	17	12
Лето								
1 — ЕТС	10	13	16	11	12	13	13	12
2 — Малая Азия	9	10	11	9	17	17	17	10
3 — Западная Сибирь и Казахстан . . .	5	7	10	11	19	22	14	11
4 — среднеазиатские республики СССР	6	10	10	10	19	17	16	12
5 — Черное море	14	17	16	8	11	10	13	11
Осень								
1 — ЕТС	10	13	16	11	12	13	13	12
2 — Малая Азия	9	12	14	15	13	13	13	11
3 — Западная Сибирь и Казахстан . . .	7	8	12	10	12	23	18	10
4 — среднеазиатские республики СССР	6	8	7	7	18	26	19	9
Зима								
1 — ЕТС	18	11	15	13	10	6	11	16
2 — Малая Азия	11	10	13	15	14	11	14	12
3 — Западная Сибирь и Казахстан . . .	23	12	9	6	20	13	14	3
4 — среднеазиатские республики СССР	7	8	7	13	22	19	16	8
Средняя годовая								
1 — ЕТС	10	11	11	11	11	16	16	15
2 — Малая Азия	11	10	11	12	13	15	14	14
3 — Западная Сибирь и Казахстан . . .	5	8	10	10	19	22	15	11
4 — среднеазиатские республики СССР	8	7	7	8	18	22	17	13

Осенью грозы для большинства рассматриваемых районов явление более редкое, чем весной и летом, и распределение их весьма различное. По району ЕТС грозная деятельность имеет место только в южных областях, прилегающих к Черному и Каспийскому морям. Распределение гроз в течение суток почти равномерное, так как осенью наблюдаются преимущественно фронтальные грозы.

Местные грозы в суточном ходе заметно не выявляются. Мало гроз осенью и в районе Западной Сибири и Казахстана, и распределение их в течение суток также почти равномерное, но максимум гроз явно выражен и приходится на 18 час. (23%). Суточный ход гроз в среднеазиатских республиках отличается от рассмотренных выше. Здесь грозы преобладают во вторую половину суток и имеется резко выраженный максимум в 18 час. По активности гроз осенью особенно выделяется район Малой

Таблица 3

Вероятность (%) грозových очагов в различное время суток, в различные сезоны года по пятиградусным зонам по долготе

Район		Время суток (часы)							
северная широта (град.)	восточная долгота (град.)	3	6	9	12	15	18	21	24
Весна									
30—65	30—35	13	10	12	11	11	15	15	13
	35—40	11	11	12	10	15	16	14	11
	40—45	9	8	11	11	18	18	15	10
	45—50	8	8	7	11	17	19	18	12
	50—55	8	8	10	12	20	17	15	10
	55—60	6	7	6	19	20	19	14	9
Лето									
30—65	30—35	13	14	13	8	11	13	16	12
	35—40	12	13	11	9	15	14	16	10
	40—45	10	11	10	10	17	17	16	9
	45—50	8	11	10	12	19	16	16	8
	50—55	8	9	12	16	18	16	12	9
	55—60	8	10	10	17	23	15	11	6
Средняя годовая									
30—65	30—35	11	11	13	12	13	13	15	12
	35—40	11	12	12	12	14	14	15	10
	40—45	9	10	12	13	16	16	15	9
	45—50	8	11	10	11	17	16	16	11
	50—55	8	10	11	14	19	17	13	9
	55—60	7	9	8	18	21	17	13	7

Азии. Здесь грозы наблюдаются в 2—3 раза чаще, чем в первом районе, и в 4—5 раз чаще, чем в третьем. Максимум гроз приходится на 12 час.

Зимой в первом и третьем районах наблюдаются лишь единичные грозы, и поэтому суточный ход в распределении гроз не выявляется (табл. 2). В четвертом районе грозы зимой — более частое явление, чем летом и осенью, и в суточном распределении гроз имеется максимум, который приходится на 15 час. В зимний сезон, так же как и осенью, район Малой Азии особенно выделяется по количеству грозových очагов. Здесь грозовая активность в 5—10 раз больше, чем в районе среднеазиатских республик. Зимой, так же как и осенью, в районе Малой Азии максимум гроз приходится на 15 час.

В среднем за год картина распределения количества грозových очагов для всех районов одинакова: максимум грозовой активности приходится на 18 час., что вполне согласуется с общеизвестным фактом наибольшей активности гроз в 18 час., полученным из обобщений для обширных территорий.

Из табл. 3 видно, что как в среднем за год, так и в различные сезоны (весна и лето) с увеличением континентальности района максимум грозовой деятельности смещается на более ранние часы. В районах ЕТС,

Таблица 4

Число грозных очагов различной обеспеченности по районам

Район	Среднее значение	Максимум	Обеспеченность (%)											Минимум	б
			5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
1 — ЕТС	147	400	265	240	215	180	155	140	120	110	85	65	50	20	66
2 — Малая Азия	199	395	195	265	240	220	210	195	180	165	150	130	115	110	55
3 — Западная Сибирь и Казахстан	62	145	110	85	80	75	65	60	55	50	40	30	20	10	28
4 — среднеазиатские республики СССР	88	145	140	135	115	110	90	85	85	80	70	55	45	45	29

находящихся между 30 и 45° в. д., наибольшая грозная активность наблюдается от 15 до 21 часа. В районах от 45 до 60° в. д. максимум количества грозных очагов смещается на более ранние часы — 12—18 час. Аналогичный вывод был сделан по материалам наблюдений за другие годы в работе [1].

Нами сделана попытка расширить пространственно-временные характеристики грозной активности для рассматриваемой территории, применяя графоаналитический метод [6, 7]. В табл. 4 приводятся годовые значения числа грозных очагов различной обеспеченности по четырем районам: ЕТС (45—65° с. ш. и 30—60° в. д.), Малая Азия (35—45° с. ш. и 30—50° в. д.), Западная Сибирь и Казахстан (40—60° с. ш. и 60—70° в. д.), среднеазиатские республики (30—40° с. ш. и 55—70° в. д.).

Поскольку мы располагали материалом всего лишь за 4 года, то таблица эта составлена для первого района по данным совокупности из 88 географических клеток. Для второго района, таким образом, была использована совокупность из 32 клеток, для третьего района — из 44 клеток и для четвертого района — из 24 клеток.

Анализируя эту таблицу, можно сделать следующие выводы. Характер распределения грозных очагов по районам подчинен одному и тому же закону распределения, который может быть описан нормальной кри-

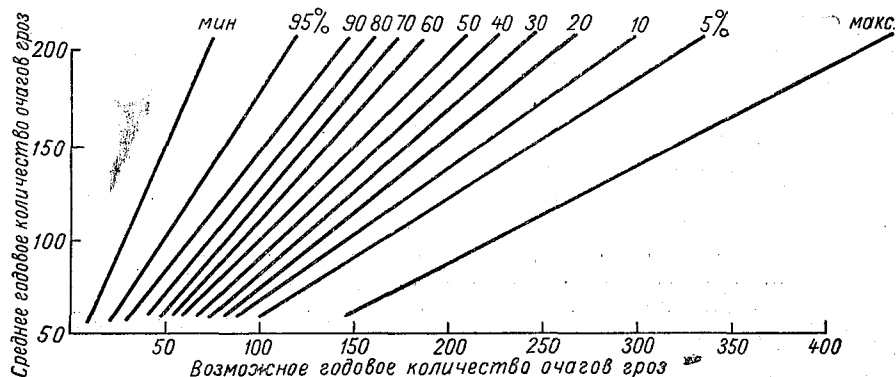


Рис. 6. Номограмма для расчета грозной активности (число очагов гроз по географическим клеткам) различной обеспеченности.

Таблица 5

Необходимое число измерений при различных значениях σ и заданных ошибках, обеспеченных на 0,67, 0,95 и 0,99

$\pm \Delta \%$	σ								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\alpha=0,67$									
5	16	36	64	100	144	196	256	324	400
6	11	25	44	69	100	136	177	225	277
7	8	18	32	51	73	100	130	165	204
8	6	14	25	39	56	78	100	127	156
9	5	11	20	31	44	59	79	100	123
10	4	9	16	25	36	49	64	81	100
15	1,78	4,0	7,11	11,0	16,0	21,0	28,0	36,0	44
20	1,0	2,25	4,0	6	9	12	16	20	25
25	0,64	1,4	2,5	4	5,7	7,8	10	13	16
$\alpha=0,95$									
5	64	144	256	400	576	784	1024	1296	1600
6	44	100	177	277	400	544	733	900	1111
7	32	73	130	204	294	400	520	664	816
8	25	56	100	156	220	306	400	506	626
9	20	44	79	126	176	244	318	400	490
10	16	36	64	100	144	196	256	324	400
15	7	16	28	44	65	87	113	145	178
20	4	9	16	25	36	49	64	81	100
25	2,5	5,7	10	16	23	31	40	52	64
$\alpha=0,99$									
5	144	320	576	900	1296	1770	2300	2910	3600
6	100	225	400	620	900	1220	1600	2010	2500
7	73	165	290	460	664	900	1170	1490	1840
8	56	126	224	350	505	690	900	1140	1400
9	44	100	176	278	400	556	716	900	1110
10	36	81	144	225	324	441	576	729	900
15	16	36	62	100	144	198	256	324	400
20	9	21	36	56	81	110	144	184	226
25	5	13	23	36	52	70	92	110	140

вой распределения. Нетрудно видеть, что центр распределения (значения средних величин) дает хорошее согласование со значениями, соответствующими 50%-обеспеченности. Поскольку в распределении грозových очагов лежит один и тот же закон распределения, то это послужило основанием для построения номограммы, которая приводится на рис. 6. Пользуясь номограммой, мы можем дать характеристику для всей рассматриваемой территории.

Длина наклонных линий различных обеспеченностей показывает, как изменяется число очагов гроз на территории рассматриваемого района.

Расстояние между наклонными линиями пучка от 5 до 95%-ной обеспеченности указывает на изменчивость величины по территории во времени. При этом чем длиннее наклонные линии и чем меньше угол их наклона к оси абсцисс, тем большим изменениям подвержено число очагов гроз по территории.

Нетрудно видеть из приведенной номограммы, что при среднем количестве очагов 150 и 200 расстояние между линиями в пучке больше, чем при 50 и 100. Это значит, что изменчивость грозовой активности в районах ЕТС и Малой Азии больше, чем в районе Западной Сибири и Казахстана и в районе среднеазиатских республик. Что касается характеристики изменчивости числа грозowych очагов во времени, то об этом можно судить по степени разреженности наклонных линий различных обеспеченностей. Чем меньше расстояние между наклонными линиями различной обеспеченности, тем меньше изменчивость числа очагов гроз во времени. Значения, снятые с номограммы, будут с достаточной надежностью характеризовать любую географическую клетку, если даже по ней не было фактических данных и она не была учтена при построении таблиц обеспеченностей.

О достоверности величин, на основе которых была осуществлена характеристика грозовой активности для данной территории, можно судить на основании табл. 5, в которой приводятся данные о необходимом числе измерений при различных значениях σ и заданных ошибках измерений.

Определение числа измерений, необходимого для получения надежной средней величины, производилось по формуле [8]

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 \sigma^2}{\Delta_{\alpha}^2},$$

где Δ — заданная ошибка измерений, t_{α} — фиксированная величина, зависящая от строгости требований в отношении P_t (при $t_{\alpha} = 1$ ошибка измерения обеспечивается на $\alpha = 0,67$, при $t_{\alpha} = 2$ — на $\alpha = 0,95$ и при $t_{\alpha} = 3$ — на $\alpha = 0,99$), σ — средняя квадратическая ошибка, которая определяется из результатов наблюдений.

Из табл. 5 видно, что средняя величина числа очагов гроз (147 очагов, табл. 4), полученная из совокупности 88 географических клеток, для района ЕТС определяется с погрешностью 7% при $\alpha = 0,67$, с погрешностью 15% при $\alpha = 0,95$ и 20% при $\alpha = 0,99$. По другим районам значения средних величин числа очагов гроз определяются с погрешностью от 4,5 до 25% при различных α .

Исходя из этого можно сделать вывод, что приведенные в табл. 4 данные средних величин числа очагов гроз по районам получены с удовлетворительной погрешностью.

Выводы

1. На основе полученных на пунктах среднеазиатского куста данных пеленгования атмосфериков за четыре года (1961—1964) построены сезонные карты распределения очагов атмосфериков, характеризующие грозовую активность по времени и по территории, охватывающей обширный район ЕТС, значительную часть Западной Сибири и Казахстана, территорию среднеазиатских республик СССР и сопредельных с ними стран.

2. Приведенные в табл. 1—3 данные характеризуют суточный и годовой ход грозовой активности, а также особенности суточного хода по району ЕТС.

3. С помощью графоаналитического метода анализа данных показана возможность получения вероятностных характеристик грозовой активности. Этот метод позволяет делать правильный выбор районов по их однородности для характеристики грозовой активности и давать достоверную оценку распределения грозовых очагов по ограниченному материалу наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев В. А. Грозовая активность над Европейской территорией СССР. Тр. ГГО, вып. 163, 1964.
2. Соловьев В. А. Грозовая активность в районе Северо-Восточной Атлантики и Западной Европы по данным об атмосфериках. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
3. Соловьев В. А. Об оценке грозовой активности по данным пеленгования атмосфериков. Метеорология и гидрология, № 1, 1965.
4. Соловьев В. А. Суточный и годовой ход грозовой активности на севере Атлантического океана и морях Западной Европы и Дальнего Востока. Метеорология и гидрология, № 10, 1965.
5. Соловьев В. А. Грозовая активность на Дальнем Востоке. Тр. ДВНИГМИ, вып. 19, 1965.
6. Лебедев А. Н. Приложение метода номограмм к исследованиям климатических закономерностей в тропических и экваториальных широтах. Тр. ГГО, вып. 182, 1965.
7. Алексеев Т. А. Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения. Тр. ГГИ, вып. 73, 1960.
8. Дунаева А. В. К вопросу изучения прозрачности атмосферы в снегопадах. Тр. ГГО, вып. 169, 1965.
9. Архипова Е. П. Карты географического распределения числа дней с грозой на территории СССР. Тр. ГГО, вып. 74, 1957.

ОБ ОЦЕНКЕ ЧИСЛА АТМОСФЕРИКОВ НА ПОРОГОВЫХ УРОВНЯХ ОТ 6 ДО 100 мВ/м

Представлены результаты измерения числа атмосфериков на пороговых уровнях 10, 20, 50 и 100 мВ/м, которые экстраполированы на основании установленной в работе [2] зависимости на более низкие пороговые уровни 9, 8, 7, 6 мВ/м.

Настоящая статья является продолжением статей [1], [2] и описывает результаты наблюдений за числом атмосфериков, превышающих заданный пороговый уровень, наблюдаемых с помощью прибора регистрации атмосфериков (ПР), и за «процентом занятого времени», или за временем, в течение которого суммарное поле исследуемого напряжения превышало заданный пороговый уровень, измеренный с помощью прибора, называемого программирующим двухканальным устройством (ПДУ). Все отсчеты приведены к числу атмосфериков в секунду. В табл. 1 представлено среднее число из двухсуточных наблюдений для каждого из семи месяцев.

Число атмосфериков для уровней 100, 50 и 20 мВ/м взято из прямых отсчетов по ПР. Уровень 10 мВ/м является тем уровнем, где имеются отсчеты двух приборов: прямые отсчеты по ПР (числитель дроби) и преобразованные с помощью коэффициента пропорциональности [2]

Таблица 1

Дата	Порог (мВ/м)							
	100	50	20	10	9	8	7	6
24—26 IV	0,5	1,7	4	21/27	32	45	77	245
3—5 V	0,2	1	3	12/22	49	123	265	300
3—5 VI	0,5	1,4	4,6	19/34	53	82	119	175
1—3 VII	3,7	8	25	99/143	241	421	700	827
3—5 VIII	4	7,3	22	63/81	148	218	292	445
3—5 IX	3,3	7	19	49/64	89	113	208	445
3—5 XII	0,4	1,2	5	15/18	24	47	103	203
Среднее	1,7	4	11	47	92	149	251	363
Максимальная активность	0,5	0,2	1	2,5	5	7	11	20
Минимальная активность	11	22	61	218	351	674	850	890

отсчеты по ПДУ (знаменатель). Среднее число за семь месяцев для уровня 10 мв/м также подсчитано исходя из результатов измерений по тому и другому прибору. Для уровней 9, 8, 7 и 6 мв/м число атмосфериков взято из преобразованных отсчетов ПДУ [2], предполагая, что прямая зависимость, существующая между данными ПДУ и данными ПР, может быть экстраполирована на более низкие пороговые уровни 9, 8, 7, 6 мв/м, что дает возможность оценивать число атмосфериков по измерению превышений поля на указанных пороговых уровнях, так как прямое измерение числа атмосфериков на этих уровнях неосуществимо из-за того, что применяемые счетчики не успевают их считать.

Для иллюстрации чрезвычайно большого перепада активности атмосфериков в той же таблице приведены отсчеты в сроки минимальной (26 апреля с 8 час. 11 мин. до 9 час. 41 мин. московского времени) и максимальной активности (3 августа с 15 час. 00 мин. до 16 час. 40 мин. московского времени). Мы намеренно использовали термин «активность атмосфериков» вместо термина «грозовая активность», имея в виду, что количество зарегистрированных атмосфериков зависит не только от грозовой активности, но и от условий распространения сверхдлинных волн. Уровень собственных шумов на выходе линейного усилителя составляет 130—140 мв, что соответствует напряженности поля менее 1 мв/м. Искусственные помехи устранены [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Огурьев С. Е. Некоторые результаты исследования поля атмосферных радиопомех в широкой полосе частот. Тр. ГГО, вып. 177, 1965.
2. Огурьев С. Е. Исследование порогового распределения атмосфериков и их связь с процентом занятого времени. Тр. ГГО, вып. 188, 1966.

Т. В. ЛОБОДИН, П. С. ЛЫДЗАР, Н. А. ТИТОВ, В. И. УНУКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАБОТЫ ПЕЛЕНГАТОРА БЛИЗКИХ ГРОЗ

Приводятся материалы экспериментальной проверки работы пеленгатора близких гроз [1].

Предложена методика сравнений инструментальных наблюдений за грозами (определение примерного местоположения грозового очага) с данными метеостанций.

Установлено, что при определении расстояния до грозовых очагов по градациям 0—25, 25—50, 50—100, 100—170, 170—270, 270—400 км перекрытие соседних зон в среднем составляет 14%.

Несмотря на то что принципиальная возможность среднестатистического определения местоположения близких грозовых очагов при помощи установки, описанной в работе [1], доказана [2], до настоящего времени отсутствуют материалы сравнения результатов наблюдений с фактическими данными. Для получения таких материалов с июня по октябрь 1965 г. в Воейково (Ленинградская область), а также в аэропорту Сочи Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова совместно с Государственным научно-исследовательским институтом Гражданской авиации проводился комплекс наблюдений за грозовой деятельностью.

Наблюдения проводились на опытных образцах установок для пеленгации близких грозовых очагов [1]. Для сравнения с фактическими данными использован материал наблюдений всех метеостанций Северо-Кавказского и Северо-Западного управлений гидрометеорологической службы.

Кроме этого, в Воейково синхронно с регистрацией при помощи испытываемой установки была организована работа малого куста катодного пеленгования гроз. Материалы наблюдений, полученные с помощью этого куста, использовались как реперные точки для проверки работы испытываемой установки.

При использовании в практике пеленгатора близких гроз необходимо выбрать оптимальные величины градаций по расстоянию и по азимуту. Разумный выбор этих величин должен быть основан на технических возможностях применяемой аппаратуры, а также на тех требованиях, которые предъявляются к прибору потребителем. Существует, однако, и третий объективный фактор, не позволяющий произвольно изменять градации по расстоянию и азимуту. Этим фактором является величина площади, занимаемой грозовыми очагами.

В настоящей статье приведены данные о работе установки в применении к аэродромно-диспетчерской службе. Следовательно, информация о местоположении грозового очага должна даваться таким образом, что-

бы исключить возможность попадания самолета в зону грозовой активности.

При сравнении данных, получаемых при помощи пеленгатора ближних грозowych очагов, с фактическим материалом необходимо, хотя бы ориентировочно, знать средние значения площади грозowych очагов S_{cp} для Северного Кавказа и Ленинградской области.

Необходимость знания S_{cp} обусловлена следующими соображениями. Метеорологические станции отмечают близкие и далекие грозы, а также зарницы. Если проводить сравнения только по близким грозам и считать, что гроза наблюдается точно над станцией, то и в этом случае пренебрежение геометрическими размерами грозowych очагов может дать ошибку в зависимости от градации по расстоянию от 5 до 60°.

Действительно, метеостанции отмечают наименьшее расстояние до грозы. Поэтому, если грозовой очаг имеет горизонтальную протяженность 20—30 км, может получиться большая разница в определении азимута грозы при объективном и субъективном способах определения, не связанная с работой аппаратуры.

При сравнении с данными о далекой грозе необходимо учитывать не только размеры грозowych очагов, но также и средние величины удаленности грозы от метеостанции.

Принимая во внимание наиболее вероятные и средние значения площадей грозowych очагов для Ленинградской области и Северного Кавказа, нами применена следующая методика сравнения.

Определение азимута

С помощью блока азимутов определялось направление на грозу φ и из точки наблюдения проводилась прямая в этом направлении. Если при этом метеостанция отмечает близкую грозу, проводилась окружность радиусом R_1 для Ленинградской области, R_2 — для Северного Кавказа с центром в месте расположения станции.

Для далекой грозы проводилась окружность радиусом R'_1 и R'_2 для Ленинградской области и Кавказа соответственно. Данные о зарницах не использовались. Величины R_1 , R_2 , R'_1 , R'_2 состоят из двух частей $R'_{1,2} = R^* + R_0$, где R^* — расстояние от станции до грозы и R_0 — радиус грозowego очага. Для ближней грозы $R^* \leq 3$ км, для отдаленной $R^* = 12$ км. По проведенным нами измерениям средний радиус R_0 грозowych очагов для Ленинградской области получился равным 16 км, для Северного Кавказа — 18 км. Таким образом, для Ленинградской области $R_1 = 19$ км и $R'_1 = 28$ км, для Кавказа $R_2 = 21$ км и $R'_2 = 30$ км.

Показания прибора и метеостанции считались совпадающими, если прямая, проведенная под углом φ , пересекала окружность. В том случае, когда проведенная прямая не пересекалась с окружностью, измерялся угол расхождения между касательной к окружности, проведенной из точки наблюдения, и прямой.

Результаты сравнения по Ленинградской области приведены на рис. 1, на котором по оси ординат отложены азимуты грозowych очагов $\varphi_{шт}$, зарегистрированных установкой, а по оси абсцисс — фактические азимуты $\varphi_{ст}$. Число проведенных измерений приведено над каждой точкой.

Оптимальные ошибки в определении азимутов грозowych очагов при принятой методике сравнения рассчитывались по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{a} - a_i)^2 w_i}{(n-1)w_i}}$$

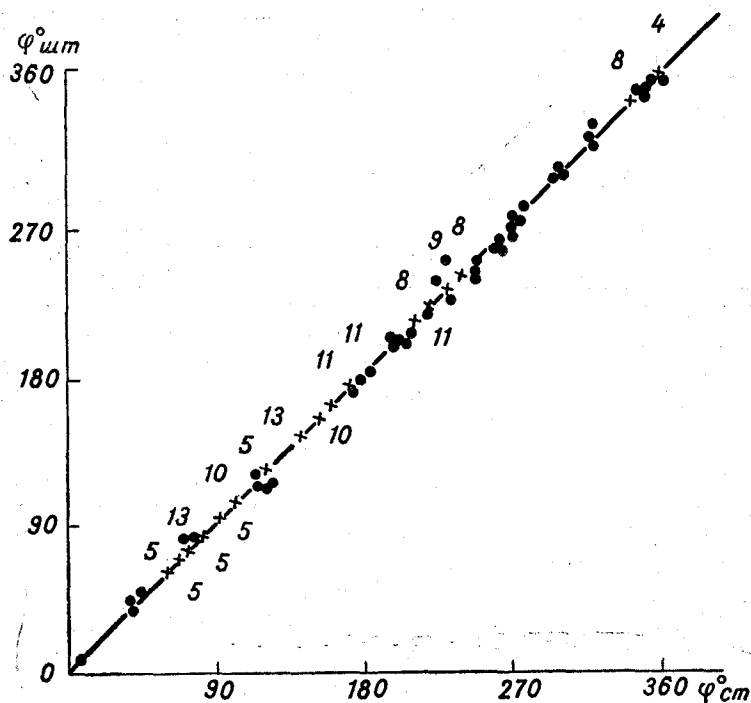


Рис. 1. Сопоставление азимутов, зарегистрированных прибором ($\psi_{шт}$) и метеостанциями ($\psi_{ст}$). Ленинградская область.

где w_i — вес значения a_i , n — число наблюдений. Получено значение $\sigma = 1^\circ$.

По наблюдениям в аэропорту Сочи построена зависимость $\psi_{шт} = f(\psi_{ст})$, представленная на рис. 2. Так как в нашем распоряжении имеются данные метеостанций, расположенных в секторах $0-100^\circ$ и $300-360^\circ$, то шкала построена только для этих значений. Измерения, имеющие единичный вес, обозначены точками. Точки с двойным весом обведены кружками. Число измерений с большими весами дано в верхней части рис. 2. Для этого случая получено $\sigma = 2^\circ$.

Определение расстояния

При сравнении расстояний до грозового очага, полученных при помощи испытываемой установки, с фактическими данными строилась карта Ленинградской области и Кавказа. Карта разделялась на зоны, соответствующие градациям прибора. Определение местоположения грозового очага считалось правильным, если метеостанции, отмечающие грозу, находились в радиальном направлении внутри кольца соответствующей градации.

Например, расстояние до станции, которая отмечает грозу, 360 км прибор дает как 270—400 км. Считается, что расстояние определено правильно. Для удобства и наглядности получения информации о местоположении грозовых очагов в радиусе действия прибора освещаемый район разбивался на зоны. Эти зоны ограничивались дугами соответствующих градаций и радиусами, проведенными из точки наблюдения под некоторым углом α . Выбор угла $\alpha = \frac{2\pi}{n}$ (n характеризует ширину зоны) за-

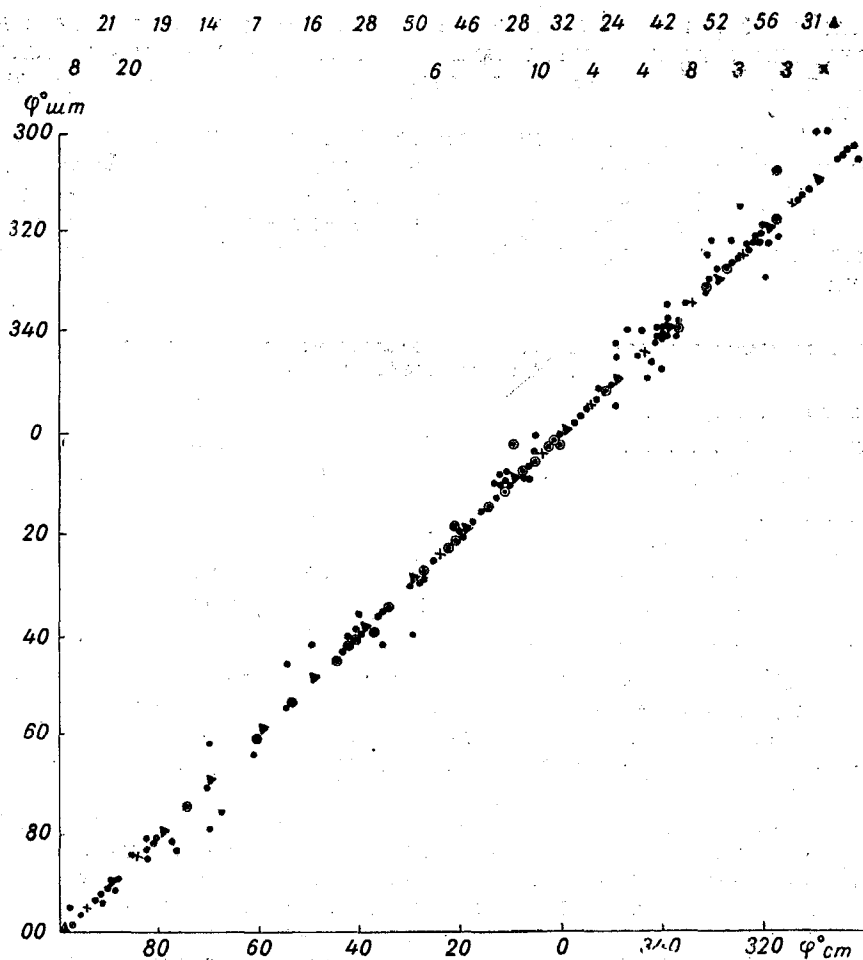


Рис. 2. Сравнение азимутов грозных очагов, зарегистрированных пеленгатором гроз ($\varphi_{шт}$) и метеостанциями ($\varphi_{ст}$). Северный Кавказ.

висит от диаметра грозных очагов. Действительно, не имеет смысла выбирать размеры зоны таким образом, чтобы она перекрывалась грозным очагом. В противном случае для полетов являлись бы опасными не только отмечаемые прибором секторы, но также и соседние с ними зоны. Исходя из этих соображений было рассчитано n .

Как указано выше, средний диаметр грозных очагов для Ленинградской области $D=32$ км, для Кавказа $D=36$ км. При $n=18$, т. е. если каждая зона будет располагаться внутри угла 20° , длины дуг для принятых в приборе градаций будут следующими: 1-я градация—9 км, 2-я градация—18 км, 3-я градация—35 км, 4-я градация—59 км, 5-я градация—94 км, 6-я градация—140 км.

Сравнивая полученные размеры с диаметром грозных очагов, можно убедиться, что принятый угол не подходит только для первых двух градаций. При ближней грозе будут закрыты все направления, поэтому выбор величины угла несуществен. Для остальных зон выбранная величина угла в среднем является оптимальной. Таким образом, весь освещаемый установкой район был разбит на 91 зону.

Если прибор и метеостанции дают грозу внутри выбранной зоны, то показания считаются совпадающими. Исходя из принятых предположений проверялась правильность определения расстояний до грозových очагов.

Для Воейково сопоставление результатов, полученных при помощи испытываемой установки, с фактическими данными, а также систематические (M_{cp}) и средние квадратические ошибки (σ_{cp}) приведены в табл. 1. При этом все сопоставления относились к середине каждой градации. Например, для интервала расстояний 170—270 км бралось расстояние 220 км.

Таблица 1

Сопоставление расстояний до очагов по наиболее вероятным и всем значениям разрядов. Воейково

№ градации	1	2	3	4	5
R расчетное (км)	37	75	135	220	335
R среднее по всем значениям (км)	34	76	130	221	298
σ_{cp}	16	19	14	9	4
R по наиболее вероятным значениям (км)	57	94	160	218	312
σ_v	42	17	41	40	20
M_{cp}	3	—1	5	—1	7

Для того чтобы выбрать наилучший метод определения расстояния до разряда по полученным при помощи испытываемой установки сведениям, приведено сопоставление результатов наблюдений по наиболее вероятным и по всем значениям числа разрядов, отмечаемых в каждой зоне (табл. 1).

При построении зависимости $R_{шт} = f(R_{ст})$ по наиболее вероятным значениям подсчитывалось число разрядов в каждом азимуте по всем градациям. Считалось, что грозовой очаг находится в той зоне, в которой наблюдалось максимальное число разрядов. И в этом случае получилось удовлетворительное совпадение с фактическими данными.

Однако неодинаковая вероятность появления грозových очагов для различных градаций, возможность одновременного существования гроз в пределах всего сектора, а также большие квадратические ошибки σ_{cp} не позволяют применить этот метод.

Сравнивая результаты, приведенные в табл. 1, можно отметить хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных. Значительное расхождение в определении средних значений R получено только для последней градации, что, вероятно, вызвано малым числом случаев наблюдений и неравномерностью расположения метеорологических станций в радиусе 400 км.

Определение расстояний до грозы по наиболее вероятным значениям, как и следовало ожидать, дает завышение значений R при малых расстояниях и занижение — при больших расстояниях.

Таким образом, лучшие результаты в определении расстояния получаются в том случае, когда наблюдатель регистрирует все принимаемые разряды.

Особый интерес представляет изучение тех случаев, когда метеорологические станции отмечают грозу, а прибор не регистрирует, и наоборот.

В Ленинградской области (Воейково), где наблюдения проводились только в периоды совместной работы с малой сетью катодных пеленгаторов, длительность времени наблюдения часто была меньше часа. Это могло явиться причиной несовпадения полученных результатов с данными

ми метеостанций. Несмотря на это, считалось, что сопоставление допустимо, если время наблюдения за грозами по прибору совпадает с любой частью интервала времени, отмеченного метеорологическими станциями.

Получен следующий результат. Из 448 случаев сравнения 82 раза станции отмечали грозу, а испытываемая установка не регистрировала грозу в данной градации. Распределение несовпадений по градациям приведено в табл. 2.

Таблица 2

Распределение несовпадений по градациям. Воейково

№ градации	1	2	3	4	5
Число несовпадений	1	17	18	29	17
Закрыто ближними грозами	—	6	8	9	13

Из 82 несовпадений в 36 случаях наблюдалось экранирование ближними грозами, 9 случаев относились к времени наблюдения менее 25 мин. и 34 — к времени наблюдения менее часа. Таким образом, если проводить сравнения по наблюдениям в течение целого часа, то, вероятно, число несовпадений будет небольшим.

Анализируя сравнительные данные, можно прийти к выводу о том, что, являясь объективным прибором, испытываемая установка при правильной эксплуатации будет практически регистрировать все грозовые очаги.

Если учесть неравномерность расположения метеорологических станций по исследуемой территории, а также часто значительное удаление их друг от друга, то заранее можно ожидать, что испытываемая установка должна регистрировать больше грозовых очагов, чем отмечают метеостанции.

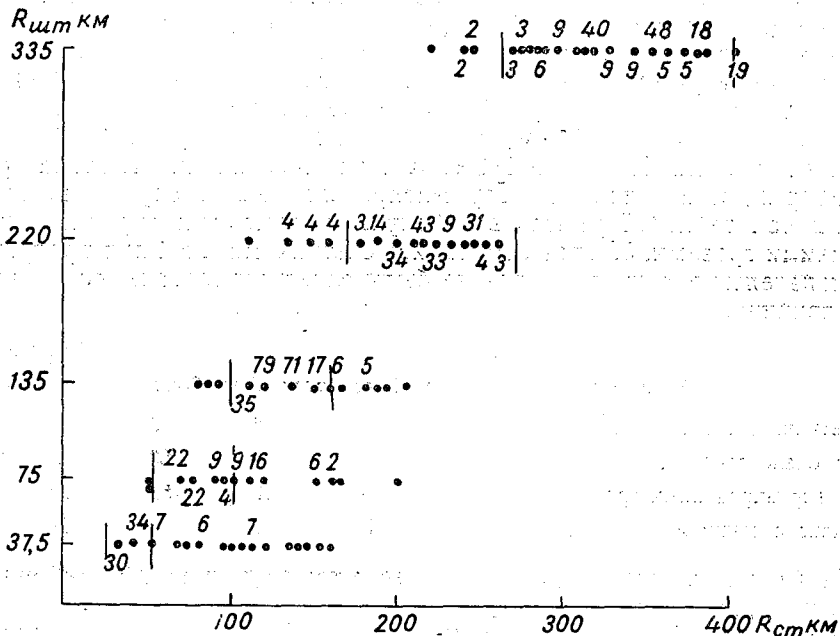


Рис. 3 Сравнение расстояний до грозовых очагов по данным метеостанций ($R_{ст}$) и пеленгатора гроз ($R_{шт}$).

Действительно, в Ленинградской области в 102 случаях установкой отмечалось наличие грозových очагов, в то время как метеостанции их пропускали. Изучение метеорологических данных за этот период привело к следующему результату: из отмеченных 102 случаев в 59 отмечалось наличие Сб, в 15 — Си сопг., в оставшихся 28 случаях грозových очаги находились за пределами метеостанций и только в 11 случаях гроза находилась в радиусе 20 км от станций.

На рис. 3 приведены результаты сопоставления приборных и фактических данных по определению расстояния до грозového очага по материалам, полученным в аэропорту Сочи. По оси ординат отложено $R_{шт.}$, определенное прибором, по оси абсцисс — $R_{ст.}$, полученное по данным метеостанций. Число наблюдений показано цифрами над каждой точкой. Все измерения по прибору отнесены к середине каждой градации. Вертикальные линии показывают границы каждой градации, в пределах которых измеренные данные совпадают с фактическими. Анализируя полученные данные, можно отметить хорошее совпадение расчетных и фактических данных для третьей, четвертой и пятой градаций и некоторое завышение фактических средних R для двух первых градаций. Следовательно, необходимо загрузить чувствительность первых двух каналов.

Таблица 3

Сравнение приборных и фактических данных по определению расстояний до грозových очагов. Сочи

№ градации	1	2	3	4	5
R расчетное (км)	25—50	50—100	100—170	170—270	270—400
$R_{ср}$ фактическое (км)	54	94	133	214	339
$\sigma_{ср}$	32	25	19	27	37
M	—17	—19	2	6	4

В табл. 3 приведены значения расчетных и фактических величин R , а также систематические (M) и средние квадратические ошибки ($\sigma_{ср}$) по различным градациям для аэропорта Сочи. Значительная ошибка в определении расстояния получилась только для первой градации, что может быть связано как с ошибками наблюдений, так и с природой грозových явлений. Всего в аэропорту Сочи было произведено 2454 наблюдения за грозами. Из них в 180 случаях метеостанции отмечали грозу, а прибор не регистрировал грозу. Распределение этих случаев по градациям дано в табл. 4. При этом в 107 случаях грозы были экранированы ближними грозами, 59 гроз отмечались счетчиками, но были пропущены наблюдателем и только 14 гроз не были зарегистрированы по неизвестной причине.

Таблица

Распределение несовпадений по градациям. Сочи

№ счетчика	1	2	3	4	5
Не отмечено гроз	20	16	63	61	20
Число экранированных гроз	—	13	53	26	15
Отмечено счетчиками	20	2	8	28	1

На Кавказе значительно чаще встречаются случаи, когда прибор регистрирует, а станции не регистрируют грозу. Всего наблюдалось 1000 подобных случаев. Из них в 431 случае в грозовой зоне отсутствовали метеостанции и в 569 — станции не отмечали грозу. Из-за отсутствия метеорологических данных об облачности по Кавказу нельзя провести детального

анализа, однако можно отметить, что в 82% случаев наблюдались довольно слабые грозы с числом разрядов, регистрируемых прибором, от 1 до 5 в час (320 случаев) и от 5 до 10 в час (161 случай). Отметим, что при интенсивной грозовой деятельности прибором регистрируется несколько сотен грозových разрядов. Приведенные данные подтверждают вывод о том, что испытываемая аппаратура является объективным регистратором грозových явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыдзар П. С. Установка для определения местонахождения близких грозových очагов с одного пункта. Тр. ГГО, вып. 188, 1966.
2. Махоткин Л. Г., Лыдзар П. С. Ориентировочная оценка удаленности гроз по амплитудам атмосфериков. Тр. ГГО, вып. 146, 1963.

...на
... ..
... ..
... ..
... ..

В. И. СОЗИН

ГРОВОЯЯ АКТИВНОСТЬ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 1965 г.

Обобщаются результаты наблюдений, проводившихся летом 1965 г. с помощью однонаправленного пеленгатора и комплекта грозорегистраторов. Дается территориальное распределение и суточный ход грозовой активности. Полученные результаты сопоставляются с данными визуальных наблюдений.

При изучении грозовой активности в последнее время все большее распространение получают инструментальные методы наблюдений за грозами, обладающие несомненными преимуществами перед визуальными методами. Успешно разрабатывается новая аппаратура для регистрации гроз, расширена сеть пеленгационных пунктов, осуществляющих наблюдение за грозовыми очагами. Однако в настоящее время имеется еще ряд районов, в которых инструментальные наблюдения за грозами совершенно отсутствуют. К ним относится, в частности, обширный район, расположенный на северо-востоке Европейской территории СССР. Сеть метеостанций, ведущих визуальные наблюдения за грозами, здесь также сравнительно редка. В то же время изучение грозовой активности в указанном районе по данным лаборатории грозового электричества Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова представляет определенный интерес. В связи с этим в 1965 г. при лаборатории атмосферного электричества Кировского педагогического института был организован пункт регистрации гроз. Наблюдения за грозами осуществлялись с помощью однонаправленного катодного пеленгатора и комплекта грозорегистраторов с различной чувствительностью. Азимуты грозовых очагов определялись однонаправленным пеленгатором, экран которого был разбит на 36 десятиградусных секторов. Чувствительность грозорегистраторов была выбрана следующим образом: прибор № 1 срабатывал при удаленности гроз до 50 км, № 2 — до 100 км, № 3 — до 150 км, № 4 — до 250 км.

Наблюдения проводились только в дневные часы (с 9 до 21 часа). Для оценки доли ночных грозовых разрядов были рассмотрены данные грозорегистратора, осуществлявшего непрерывную запись разрядов в течение всего сезона. Оказалось, что число разрядов, отмеченных в ночные часы (с 21 до 9 час.) грозорегистратором с радиусом действия до 250 км, т. е. охватывающим всю рассматриваемую область, не превышает 20% общего числа разрядов, зарегистрированных за сезон.

Наблюдения охватывали почти весь грозовой сезон, однако систематические ежечасные наблюдения проводились лишь с 1 июня. Всего за

период наблюдений было произведено свыше 10 000 отсчетов. При обработке результатов измерений и составлении карты распределения гроз был использован метод оценки относительной повторяемости гроз, подробно описанный в работе [1]. Полученная карта распределения грозовой активности в Кировской области в 1965 г. представлена на рис. 1. Двойной штриховкой выделены места с повышенной грозовой активностью.

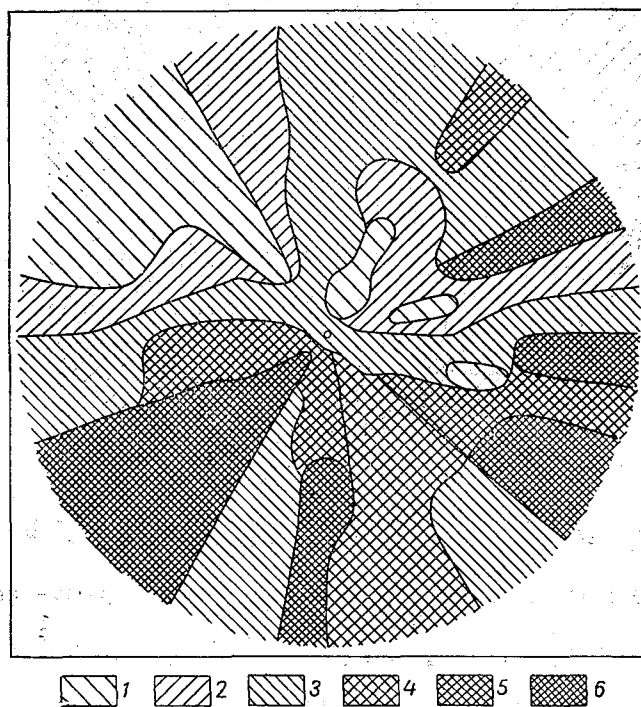


Рис. 1. Карта распределения грозовой активности, выраженной относительными числами, по данным наблюдений за атмосфериками из одного пункта. Кировская область, 1965 г.
 1) — < 0.6 , 2) — $0.6-0.8$, 3) — $0.8-1.0$, 4) — $1.0-1.2$, 5) — $1.2-1.4$, 6) — > 1.4 .

Как видно из рис. 1, минимум грозовой активности приходится на северо-западный сектор Кировской области и уходит в соседние Вологодскую и Архангельскую области. Местные минимумы наблюдаются также в северо-восточном секторе, вблизи от центра рассматриваемого района. Зона повышенной активности проходит полосой с запада на восток южнее г. Кирова, разделяясь на три языка с максимальной активностью, расположенных на юго-западе, юге и юго-востоке района. Локальный максимум отмечается в зоне пониженной активности (на востоко-северо-востоке от центра района).

Для оценки правильности полученной картины распределения грозовой активности в конце сезона были собраны данные визуальных наблюдений за грозами в сети метеостанций Верхне-Волжского УГМС и была подсчитана суммарная продолжительность гроз в часах для каждой метеостанции за период с 1 июня по 1 сентября 1965 г. На основании полученных результатов была составлена отдельная карта продолжительности гроз в указанном районе, представленная на рис. 2.

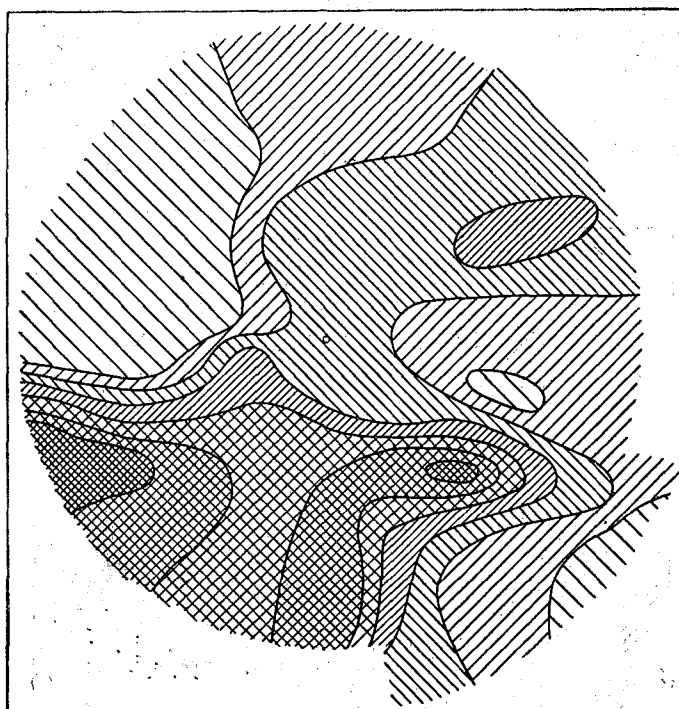


Рис. 2. Общая продолжительность гроз за летние (июнь — август) месяцы. 1965 г.

1) — <30 час., 2) — 30—40 час., 3) — 40—50 час., 4) — 50—60 час.,
5) — 60—70 час., 6) — 70—80 час., 7) — >80 час.

При сопоставлении карт хорошо видно сохранение общего характера распределения грозовой активности. На рис. 2 также наблюдается минимум в северо-западном секторе и полоса высокой активности южнее г. Кирова с максимумами на юго-западе и юго-востоке. Отмечается и небольшой местный максимум к востоко-северо-востоку от центра.

По данным метеостанций Удмуртской АССР выявляется, что зона повышенной активности на юго-востоке района лишь немного выходит за пределы Кировской области и сменяется значительным минимумом в районе Удмуртии. Заметно также понижение активности и южнее рассматриваемого района, в Марийской и Татарской АССР. Таким образом, полоса высокой активности южнее г. Кирова является, вероятно, местным максимумом, а не результатом проявления общей тенденции повышения активности в направлении с севера на юг.

Для определения характера временного распределения грозовой активности были использованы данные уже упоминавшегося грозо-регистратора с радиусом действия 250 км и рабочей частотой около 60 кгц. Суточный ход грозовой активности, построенный по этим данным, представлен на рис. 3. По оси ординат откладывается суммарное число разрядов, зарегистрированных за сезон в указанный час, выраженное в процентах от общего числа разрядов за сезон.

Суточный ход числа грозовых разрядов имеет вид простой волны с крутым подъемом после 11 час. и менее крутым, но достаточно четким спадом после 18 час. Большое число зарегистрированных разрядов

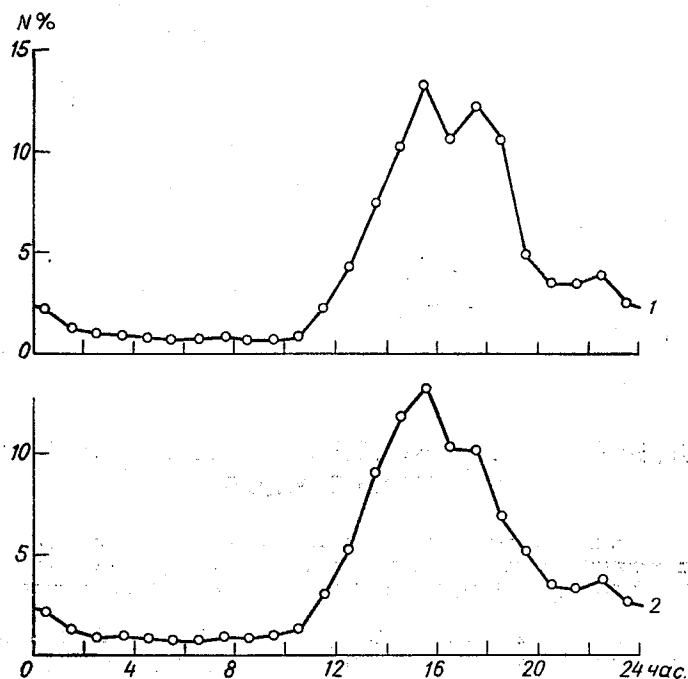


Рис. 3. Суточный ход числа грозных разрядов по данным грозорегистраторов с различными рабочими частотами.
1) — 60 кГц, 2) — 20 кГц.

(более 120 000 за сезон) обеспечивает достаточную плавность кривой, однако влияние отдельных интенсивных гроз еще заметно (особенно ночью, в часы небольшой активности). Так, местный максимум в 22—23 часа, имеющийся на кривой, объясняется сильной грозой 7 июля, один из максимумов которой пришелся как раз на указанный час и обеспечил около 50% всех разрядов, зарегистрированных за сезон в этот час.

Нами был проведен анализ изменения во времени интенсивности гроз, число зарегистрированных разрядов которых превышает 1000. Оказалось, что максимумы интенсивности этих гроз в большинстве случаев приходится или на период с 13 до 16 час., или на период с 17 до 19 час. Этим, вероятно, и объясняется некоторое понижение активности, заметное на рис. 3 в период с 16 до 17 час.

На том же рис. 3 приведен суточный ход грозовой активности по данным грозорегистратора с несколько измененным входом [2] и рабочей частотой около 20 кГц. Общее число разрядов, зарегистрированных за сезон этим прибором, несколько выше (превышает 170 000), характер же кривых очень хорошо согласуется между собой и с результатами других исследований [3].

Таким образом, в результате инструментальных наблюдений за грозами получено территориальное и временное распределение грозовой активности в указанном районе за лето 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асташенко А. И., Лыдзар П. С., Махоткин Л. Г. Грозная активность в Ленинградской области в 1961 г. Тр. ГГО, вып. 146, 1963.
2. Лыдзар П. С. Полупроводниковые грозорегистраторы. Тр. ГГО, вып. 157, 1964.
3. Лоч Б. Ф. Суточный ход числа грозных разрядов. Тр. ГГО, вып. 97, 1960.

ОБ ОЦЕНКЕ УДАЛЕННОСТИ ГРОЗ ПО АМПЛИТУДАМ АТМОСФЕРИКОВ

На основании экспериментального материала рассматривается возможность приближенной оценки расстояния до близких грозовых очагов по величине выброса луча на экране однонаправленного катодного пеленгатора.

Вопрос об оценке расстояния до грозовых очагов по величине амплитуд атмосфериков [1] вновь привлекает к себе внимание [2]. Теоретические расчеты и экспериментальные данные, полученные за последнее время [2], показывают возможность применения указанного метода для приближенной оценки расстояний до близких гроз. В результате проведенных исследований в лаборатории грозового электричества Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова создана экспериментальная установка для определения местоположения близких грозовых очагов с одного пункта [3], показавшая при эксплуатации хорошие результаты. В этой установке оценка расстояния производится с помощью комплекта полупроводниковых грозорегистраторов с разными порогами срабатывания (блок дальности). Все грозорегистраторы работают от вертикальных антенн и настроены на частоту около 60 кГц.

Одновременное наблюдение за экраном пеленгатора и показаниями блока дальности в установке представляет некоторое неудобство. Удобнее было бы оба отсчета (азимут, расстояние) производить по выбросу луча на экране пеленгатора. Теоретически такая возможность существует, так как величина выброса луча пропорциональна амплитуде сигнала на входе пеленгатора, т. е. амплитуде принятого атмосферика, а величина амплитуды ближних атмосфериков должна находиться в прямой зависимости от расстояния до их источника [2, 4].

Однако величина сигнала на входе приемного устройства зависит не только от параметров молнии и расстояния до источника атмосфериков, но и от рабочей частоты приемного устройства, типа антенны, высоты ее подъема над поверхностью земли и ряда других причин. Поэтому конкретная форма зависимости амплитуды принятого атмосферика от расстояния до источника может быть найдена, видимо, лишь экспериментальным путем. Такая экспериментально найденная зависимость и используется в блоке дальности установки.

Для определения возможности оценки расстояния до грозового очага по величине выброса луча на экране пеленгатора также необходимо провести соответствующие эксперименты, поскольку условия приема атмосфериков пеленгатором существенно отличаются от условий приема

их грозорегистраторами (другая рабочая частота, применение рамочных антенн вместо вертикальных и т. д.).

Такие эксперименты были начаты летом 1965 г. в лаборатории атмосферного электричества Кировского педагогического института. Наблюдение за грозами осуществлялось с помощью экспериментальной установки [3] с несколько измененными порогами срабатывания грозорегистраторов блока дальности: прибор № 1 срабатывал при удаленности гроз до 50 км, № 2 — до 100 км, № 3 — до 150 км, № 4 — до 250 км.

Система блокировки индикаторов на выходе блока дальности позволила разделить всю рассматриваемую зону радиусом 250 км на четыре кольца: первое — от 0 до 50 км, второе — от 50 до 100 км, третье — от 100 до 150 км, четвертое — от 150 до 250 км. Показания индикаторов блока дальности использовались для оценки расстояния до грозового очага. Одновременно с помощью специальной координатной сетки, состоящей из ряда концентрических окружностей, определялась величина выброса луча на экране пеленгатора, настроенного на частоту 10 кГц. Таким образом, для каждого зарегистрированного атмосферика отмечалась величина выброса на экране и номер кольца, позволяющий оценить расстояние до грозового очага.

За период экспериментов было зарегистрировано более 3600 атмосфериков. При обработке материалов они были разбиты на 4 группы, по кольцам расстояний. Для каждой группы рассматривалось распределение атмосфериков по амплитудам (по длине выброса на экране). Для

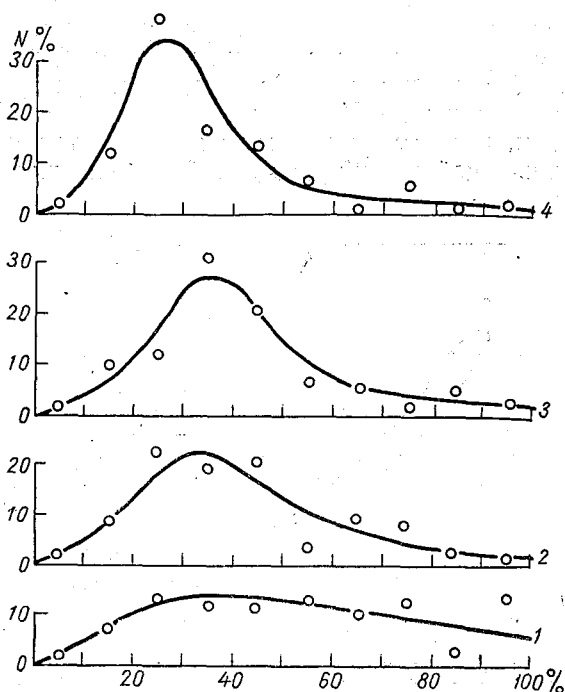


Рис. 1. Распределение атмосфериков по амплитудам при разных расстояниях до грозового очага.

1) — до 50 км; 2) — от 50 до 100 км; 3) — от 100 до 150 км; 4) — от 150 до 250 км.

множества сопоставления результатов по различным группам величина выброса выражалась не в миллиметрах, а в процентах от условной длины шкалы. Длина шкалы для каждого кольца выбиралась таким образом, чтобы в ее пределах располагались амплитуды более 95% всех зарегистрированных атмосфериков, пришедших из данного кольца. Были приняты следующие длины шкал: первая — 50 мм (ограничена размерами экрана пеленгатора), вторая — 40 мм, третья — 30 мм, четвертая — 20 мм. Каждая шкала разбита на десятипроцентные интервалы.

Полученное распределение атмосфериков по амплитудам для каждого кольца представлено на рис. 1. По оси абсцисс отложены интервалы шкалы в процентах, по оси ординат — число атмосфериков N , амплитуды которых расположены в данном интервале (в процентах от общего числа атмосфериков, пришедших из данного кольца).

На рис. 1 видно, что у атмосфериков, пришедших из близких грозовых очагов (до 50 км), разброс по амплитудам весьма значителен, но уже при удаленности очага 50—100 км кривая имеет определенный максимум, который становится все более четким при дальнейшей увеличении расстояния до очага. Это свидетельствует о возможности оценки расстояния до грозового очага по величине выброса луча на экране пеленгатора. Следует отметить, что, несмотря на большой разброс амплитуд атмосфериков, пришедших из близких очагов (до 50 км), их обнаружение практически не представляет затруднений, так как средняя величина амплитуд атмосфериков при этом заметно возрастает.

На рис. 2 показано изменение средней величины амплитуд атмосфериков с изменением расстояния до грозового очага. На оси абсцисс отложено расстояние R в километрах (по показаниям блока дальности), на оси ординат — средняя для данного кольца величина выброса луча r в миллиметрах. Для сравнения здесь же приведена градуировочная кривая блока дальности (штриховая линия); на правой оси ординат отложено градуировочное напряжение V в вольтах.

Таким образом, результаты первых экспериментов показывают возможность приближенной оценки расстояний до близких гроз по величине

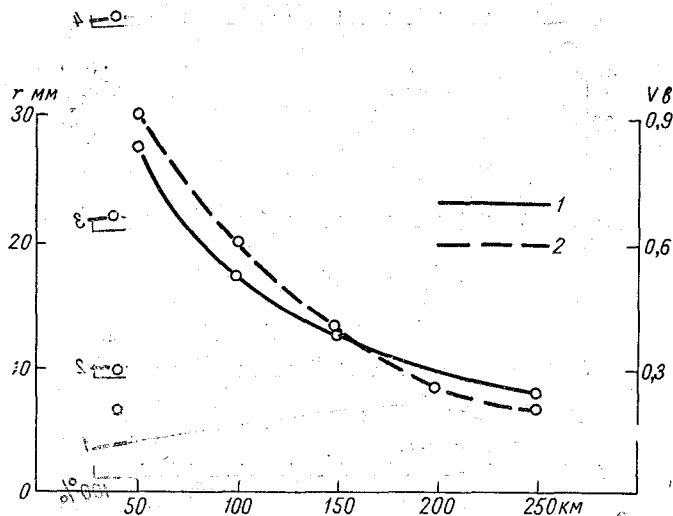


Рис. 2. Зависимость средней величины амплитуды атмосфериков от расстояния до грозового очага.
1 — по данным пеленгатора (10 кгц), 2 — по данным грозорегистраторов (60 кгц).

выброса луча на экране пеленгатора. Дальнейшие исследования позволят уточнить полученную зависимость и выбрать оптимальную рабочую частоту пеленгатора. Определение расстояния до грозового очага по величине выброса луча на экране позволит значительно упростить конструкцию установки и облегчить ее обслуживание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М. Приборы и методы для изучения электричества атмосферы. Гостехиздат, М., 1957.
2. Махоткин Л. Г., Лыдзар П. С. Ориентировочная оценка удаленности гроз по амплитудам атмосфериков. Тр. ГГО, вып. 146, 1963.
3. Лыдзар П. С. Установка для определения местонахождения близких грозовых очагов с одного пункта. Тр. ГГО, вып. 188, 1966.
4. Альперт Я. Л. О распространении электромагнитных волн низкой частоты над земной поверхностью. Изд. АН СССР, М., 1965.

Экспериментальные результаты по измерению заряда твердых и жидких осадков в районе Иркутска. Суммарный заряд снега составил $-4,2 \text{ к/км}^2$, среднее значение тока равно $-5,1 \cdot 10^{-12} \text{ а/м}^2$. Электрические характеристики ливневых дождей по порядку величины согласуются с данными других авторов. Величины токов обложных дождей оказались завышенными и вследствие недостаточного объема наблюдений не могут считаться установленными окончательно.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Имянитовым и Е. В. Чубариной [1] суммарный ток осадков рассчитывался на основании интегральных электрических характеристик слоисто-дождевых облаков. В работах Симпсона [7] и Сиварамакришна [10] исследована связь тока осадков с их интенсивностью, напряженностью электрического поля, током коронирования.

ИЗМЕРЕНИЕ СУММАРНОГО ЗАРЯДА ОСАДКОВ В ИРКУТСКЕ

В статье приводятся экспериментальные результаты по измерению заряда твердых и жидких осадков в районе Иркутска. Суммарный заряд снега составил $-4,2 \text{ к/км}^2$, среднее значение тока равно $-5,1 \cdot 10^{-12} \text{ а/м}^2$. Электрические характеристики ливневых дождей по порядку величины согласуются с данными других авторов. Величины токов обложных дождей оказались завышенными и вследствие недостаточного объема наблюдений не могут считаться установленными окончательно.

Исследование электрического тока осадков важно для понимания механизма обмена электричеством между атмосферой и землей. Сведения о величине и знаке зарядов частиц осадков представляют также самостоятельную ценность при изучении процессов электризации в облаках.

Измерение суммарного тока осадков проводилось В. П. Колоколовым и К. А. Семеновым [2], Чалмерсом и Литтлом [4], Гератом [6], Симпсоном [7], Шиндельхауэром [8] и др.

И. М. Имянитовым и Е. В. Чубариной [1] суммарный ток осадков рассчитывался на основании интегральных электрических характеристик слоисто-дождевых облаков. В работах Симпсона [7] и Сиварамакришна [10] исследована связь тока осадков с их интенсивностью, напряженностью электрического поля, током коронирования.

Важнейшим результатом, полученным в упомянутых работах, является факт преобладания положительного электричества, приносимого осадками к земле. Преобладание положительного заряда особенно отчетливо проявляется для обложных дождей. Ливневые дожди, как правило, несут значительные заряды обоих знаков. Частицы снега заряжены преимущественно отрицательно.

Для величины и знака зарядов осадков характерна очень сильная изменчивость во времени и пространстве. Поэтому многие авторы считают, что в целом по земному шару положительные заряды осадков в известной мере компенсируют отрицательные и их роль в электрическом балансе незначительна. К такому выводу, в частности, приходит Чалмерс [5].

Целью настоящей статьи является рассмотрение количеств электричества, приносимого осадками к земной поверхности в Иркутске.

Для измерения суммарного заряда осадков Q использовалась установка, состоящая из приемного сосуда площадью $0,25 \text{ м}^2$ (квадратная кювета размерами $0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$), соединенного с ламповым электрометром. Приемный сосуд тщательно изолировался полированными янтарными изоляторами. Для исключения влияния поля приемная кювета экранировалась заземленным кожухом, имеющим вид усеченной пирамиды.

В качестве лампового электрометра использовался микрорентгенметр «Кактус». Выносной электрометрический каскад этого прибора, собранный по схеме балансного усилителя постоянного тока на лампе 2Э2П, соединялся коаксиальным кабелем с приемным сосудом. Входное сопротивление электрометра при регистрации суммарного заряда снега составляло 10^{11} ом, при записи тока дождя, как правило, 10^9 ом. Непрерывная регистрация тока осадков осуществлялась электронным потенциометром ЭПП-09 при скорости протяжки ленты 120 мм/час. Пять поддиапазонов прибора «Кактус» позволяют обеспечить чувствительность установки по току от 10^{-14} до 10^{-10} а/мм. Постоянная времени входа на первом диапазоне равна ~ 100 сек.

Регистрация суммарного тока $I_{\text{ср}}$ снега проводилась в период с ноября 1964 г. по февраль 1965 г. в центре г. Иркутска; измерения тока дождя выполнялись в период с июня по сентябрь 1965 г. на ГМС Смоленщина (11 км юго-западнее Иркутска).

Первичная обработка лент состояла в определении тока осадков в среднем за пятиминутные интервалы времени. Продолжительность интервала была выбрана с учетом изменчивости тока. Общий заряд, приносимый осадками к земле, находился суммированием пятиминутных средних величин тока.

Электрический заряд снега

Результаты регистрации суммарного тока снега для 41 снегопада сведены в табл. 1. За отдельный снегопад условно принимался случай, когда до и после него осадки наблюдались более чем через час. Случаи, когда перерывы в выпадении снега были менее одного часа, объединялись в один снегопад. Очевидно, что условность такого выделения случаев не отражается на полученных выводах. Общая продолжительность регистрации тока при снегопадах составляет около 200 час. (2200 пятиминутных интервалов).

Наиболее важным результатом описываемых измерений, как это видно из табл. 1, является абсолютное преобладание отрицательного заряда снега: из 41 снегопада лишь в 7 случаях отмечены положительные токи небольшой величины. Общий положительный заряд для всех этих случаев равен $0,24$ к/км², причем $0,18$ к/км² приходится на случай 29 января 1965 г., когда при слабом снеге наблюдалась сильная метель.

В приемный сосуд в этот день попадал в основном снег, сметаемый ветром с крыши здания. Случаи 8 января и 14 февраля также связаны с метелью. Суммарный отрицательный заряд снега, выпадавшего за весь период наблюдений, составляет $-42,8$ к/км². Среднее значение тока окзывается равным $-5,1 \cdot 10^{-12}$ а/м². Рассмотрение первичных материалов показывает, что около 70% всех пятиминутных средних величин токов лежат в пределах от 0 до $-5 \cdot 10^{-12}$ а/м², интервал до $-10 \cdot 10^{-12}$ а/м² включает 95% всех случаев.

В табл. 1 приведены также величины удельного заряда снега (q), найденные делением заряда, перенесенного снегопадом на количество выпавшего снега. Данные о количестве выпавшей при снегопаде воды взяты из таблиц ТМ-1, составляемых в Иркутской ГМО. Обсерватория удалена примерно на 2 км от пункта регистрации тока осадков. Это обстоятельство может служить дополнительным источником погрешности при вычислении удельного заряда снега. Средний удельный заряд снега составляет по нашим измерениям $-0,4$ эл.-ст. ед./см³.

Суммарный заряд снега по наблюдениям в г. Иркутске
(время местное среднее солнечное)

№ п/п	Дата	Время (час., мин.)	Продолжительность (мин.)	$I_{\text{ср}} \cdot 10^{-12}$ а/м ²	$Q \cdot 10^{-1}$ к/км ²	q эл.-ст. ед./см ³	Q_+ к/км ²
1	25 XI 1964 г.	15 00—22 05	405	—2,74	—0,67	—0,11	
2	3 XII	18 40— 8 30 (4 XII)	660	—5,64	—2,23	—0,32	
3	6 XII	13 30—14 40	90	—4,14	—0,22	—0,04	
4	7 XII	19 40— 0 40 (8 XII)	305	—5,04	—0,92	—0,54	
5	18 XII	14 25—17 50	165	—3,99	—0,40	—1,20	
6	19 XII	11 00—14 45	165	—2,87	—0,27	—0,16	
7	19 XII	15 30—16 20	50	—1,20	—0,04	—0,02	
8	19 XII	18 45—22 15	100	—1,40	—0,08	—0,24	
9	20 XII	11 00—16 00	425	—4,30	—0,71	—0,71	
10	20 XII	17 30—18 05	35	—2,30	—0,05	—	
11	21 XII	13 10—16 30	190	—9,40	—1,07	—0,80	
12	21 XII	21 00— 2 10 (22 XII)	190	—2,20	—0,26	—0,20	
13	22 XII	17 20—19 00	105	—2,30	—0,15	—	
14	23 XII	7 00—10 05	165	—4,60	—0,46	—0,69	
15	23 XII	22 00— 4 10 (24 XII)	345	—5,60	—1,14	—0,43	
16	24 XII	20 00—23 00	185	—3,40	—0,38	—0,38	
17	25 XII	3 00— 4 45	105	—1,30	—0,08	—	
18	26 XII	3 20— 4 40	80	—1,30	—0,06	—0,18	
19	26 XII	10 20—10 40	20	—1,40	—0,02	—	
20	27 XII	10 20—15 50	375	—15,30	—3,53	—0,28	
21	28 XII	9 30—20 20	525	—3,00	—0,94	—	
22	30 XII	7 40—11 35	210	—16,40	—2,07	—0,24	
23	6 I 1965 г.	2 00— 6 20	235	—2,80	—0,39	—0,24	
24	8 I	11 10—20 10	375	—7,00	—1,57	—0,24	+0,02
25	19 I	10 40—11 45	65	—2,70	—0,10	—0,08	
26	20 I	12 45—13 20	40	—0,90	—0,02	—0,02	
27	21 I	16 00—21 00	300	—2,80	—0,50	—0,75	
28	26 I	16 00—21 45	295	—5,20	—0,91	—0,68	+0,002
29	27 I	3 20— 7 05	160	—4,10	—0,39	—0,39	+0,003
30	29 I	1 55—14 40	475	—2,70	—0,76	—0,15	+0,18
31	31 I	14 40— 8 25 (1 II)	685	—6,80	—2,77	—0,44	
32	1 II	9 00—11 00	120	—23,00	—1,67	—	
33	3 II	6 10— 8 25	135	—2,00	—0,17	—0,17	
34	3 II	10 25—12 20	95	—3,60	—0,20	—0,30	
35	4 II	17 00— 8 00 (5 II)	890	—14,80	—7,90	—0,28	
36	7 II	3 20—13 05	525	—3,80	—1,20	—1,20	+0,006
37	11 II	19 30—14 00 (12 II)	840	—3,00	—1,49	—0,90	+0,008
38	13 II	24 40— 3 30 (14 II)	240	—3,50	—0,50	—0,50	
39	14 II	6 10— 7 50	100	—1,60	—0,10	—0,15	
40	14 II	18 10— 6 35 (15 II)	700	—8,20	—3,44	—0,54	+0,016
41	17 II	22 00— 4 00 (18 II)	360	—10,50	—2,97	—0,26	
	Сумма		198 час.		—42,8		+0,24
	Среднее		—	—5,10	—	—0,40	—

Если принять, следуя работе Л. Р. Струзера и И. Н. Нечаева [3], что в Прибайкалье недоучет осадков при измерениях осадкомерами в зимнее время составляет 64%, то среднее многолетнее количество твердых осадков в Иркутске будет равно 170 мм. Электрический заряд, приносимый к земле таким количеством снега (при удельном заряде — 0,4 эл.-ст. ед./см³), будет оцениваться величиной — 23 к/км²год.

Суммарный заряд дождя

Результаты регистрации суммарного тока осадков для 8 ливневых и 37 обложных дождей различной продолжительности и интенсивности сведены в табл. 2. В отличие от снегопада, дождь несет заряды обоих знаков, преобладающим является положительный заряд.

Суммарные величины положительного Q_+ и отрицательного Q_- зарядов за весь период наблюдения соответственно равны +46,6 к/км² и —14,8 к/км². Отношение продолжительностей выпадения положительно и отрицательно заряженных дождей $\frac{t_+}{t_-}$ составляет 2,8. Среднее значение тока обложного дождя, как это видно из табл. 2, может быть оценено величиной $13 \cdot 10^{-11}$ а/м². Ток ливневого дождя по абсолютной величине значительно больше и в среднем равен $33 \cdot 10^{-11}$ а/м². Однако благодаря кратковременности выпадения ливневого дождя приносимый им заряд невелик +15,0 и —2,3 к/км², в то время как обложные дожди имеют суммарные заряды +31,6 и —12,4 к/км².

На основании табл. 2 удельный заряд обложных и ливневых дождей соответственно равен 0,61 и 1,87 эл.-ст. ед./см³. В среднем (с учетом «веса» ливневых и обложных дождей) удельный заряд составляет 0,82 эл.-ст. ед./см³. Если принять эту величину удельного заряда, то количество электричества, соответствующее многолетнему среднему количеству жидких осадков, будет равно +104 к/км²год.

Годовой баланс электричества, переносимого дождем и снегом, с учетом сказанного можно оценить величиной +80 к/км²год. Эта цифра более чем в 4 раза превышает величину заряда осадков из известной сводки составляющих баланса, полученной Уормелем для Кью [11].

Обсуждение результатов

В табл. 3 на основании некоторой дополнительной обработки результатов сделано сопоставление электрических характеристик осадков, полученных в настоящей работе, с данными других авторов [4, 7, 8, 9, 10].

Рассмотрение табл. 3 и анализ материалов, использованных для ее составления, позволяет указать на следующие особенности электричества осадков в Иркутске.

1. Электрические токи и суммарные заряды снегопадов по порядку величины совпадают с аналогичными данными Симпсона [7] для Кью. Вместе с тем снегопады в Англии (при слабых полях) приносят преимущественно положительный заряд, для Иркутска же преобладающим является отрицательный заряд. Объяснение этого различия, по-видимому, нужно видеть в особенностях образования осадков: в Сибири зимой преобладает антициклоническая погода с низкими температурами и устойчивой стратификацией атмосферы, снег часто выпадает из слоистых облаков среднего и даже верхнего яруса. Случаи выпадения мокрого снега (как это имеет место, например, в Англии) редки, поэтому роль механизмов электризации, связанных с присутствием жидкой фазы, представляется незначительной.

Суммарный заряд дождя. ГМС Смоленщина, 1965 г. (время местное среднее солнечное)

№ п/п	Дата	Время (час., мин.)	Положительный заряд			Отрицательный заряд			Количество осадков (мм)	Примечание
			продолжительность (мин.)	$I_{\text{ср}} \cdot 10^{-11}$ а/м ²	Q к/км ²	продолжительность (мин.)	$I_{\text{ср}} \cdot 10^{-11}$ а/м ²	Q к/км ²		
1	12 VI	13 50—15 55	120	8,5	0,61	—	—	8,6	● 4,1—8,3—15,6°	
2	17 VI	4 20—11 05	125	3,6	0,26	28	0,8	3,6	● 4—6,7°; 7,7—11,8; ∇ 6,9—7,0; 15,7—15,8	
3	23 VI	0 20—3 00	135	11	0,89	6	12	0,5	● 0,2—4,3	
4	24 VI	3 35—8 05	—	—	—	23	30	1,6	● 2,8—9,1°	
5	8 VI	22 25—23 20	15	40	0,36	—	—	2,5	∇ 22,4—22,6°—22,7°—23,5° [К] 22,4—22,8	
6	10 VI	18 05—2 00 (11 VI)	310	19	3,54	23	10	5,3	● 19—19,3°—21,7—4,5°	
7	12 VI	4 50—10 00	180	33	3,57	8	36	6,5	● 4,6—8,3°—8,8—15,6°	
8	5 VII	6 15—12 30	110	13	0,86	—	—	3,5	● 6,2—7,5... 9,2; ∇ 12,1—12,2— 12,3 ² —12,8°	
9	6 VII	7 25—9 15	110	3,2	0,21	—	—	2,3	● 2,8—7,8°—9,4	
10	7 VII	7 55—10 35	35	4,0	0,08	7	2,4	2,7	● 22—0,5; 0,9... 3,1—6,9; 8— 8,5... 11,3° [К] 16,4—1,7 ∇ 16,2—17°	
11	7 VII	16 05—18 55	110	30	2,10	10	33	0,6	● 10,8—19; ∇ 19—19,2 [К] 19,4—20,6	
12	9 VII	12 30—13 15	45	18	0,49	—	—	1,9	∇ 17,3—18,3 [К] 16,1—17,8	
13	9 VII	16 20—19 15	160	8,2	0,94	—	—	0,0	[К] 12,4—13,1 ∇ 11,9—12,2— 12,3—13°	
14	16 VII	17 25—17 50	—	—	—	6	5	0,0		
15	20 VII	12 00—12 20	15	51	0,46	2	17	2,0		

16	29 VII	5 05—5 35	30	23	0,41	—	—	—	0,4	● 5—8,5°—16,6
17	29 VII	7 40—16 40	195	22	2,57	53	29	4,60	6,9	
18	30 VII	17 05—17 40	35	19	0,40	—	—	—	1,5	∇ 1,2—1,3°, 16,6—18° [K] 15,4—15,6
19	30 VII	20 30—21 40	—	—	—	13	17	0,66	0,0	●° 20,4—22... 0,9
20	31 VII	18 15—18 30	30	3,2	0,06	—	—	—	0,0	∇ 18—18,1 [K] 15,8—19,2
21	1 VIII	0 45—1 10	25	7,6	0,11	—	—	—	0,1	
22	1 VIII	13 40—14 45	30	20	0,40	7	16	0,34	—	∇ 12,3—13,3 [K] 12,4—13,9 [K] 11,4—12,4
23	6 VIII	12 35—15 10	115	5,5	0,38	—	—	—	0,1	●° 12,3—15,2
24	8 VIII	12 45—16 00	40	4,0	0,10	24	12	0,86	2,3	∇ 12,7—14,5 [K] 13,4—14,1 [K] 14,1—14,2, ●° 14,5—16
25	8 VIII	20 20—1 25 (9 VIII)	160	8,8	1,00	15	1,9	0,09	6,4	20—1,3°, 3,8—14°—16°—19°
26	9 VIII	4 05—9 45	245	22	3,90	—	—	—	6,5	
27	11 VIII	7 50—14 25	240	13	1,87	9	2	0,5	4,0	●° 7,3—14,5
28	12 VIII	16 40—18 00	65	79	3,10	7	29	0,61	2,8	∇ [K] 10,6—18,5 [K] 16,9—18,2
29	13 VIII	1 30—5 30	—	—	—	48	7,6	1,10	0,1	1,3—4,7—9,7—14
30	13 VIII	10 00—11 10	75	13	0,58	—	—	—	0,0	
31	13 VIII	20 55—22 10	80	67	3,20	—	—	—	4,4	[K] 20,7—21,2 ∇ 20,7—20,9—21,5°
32	14 VIII	20 45—0 25 (15 VIII)	200	42	5,0	—	—	—	4,5	
33	15 VIII	7 30—12 30	—	—	—	15	20	0,90	—	
34	20 VIII	9 10—11 20	130	18	1,25	—	—	—	0,0	●° 8,5—11
35	22 VIII	4 05—6 30	125	11	0,83	—	—	—	15,1	● 3,8—7,8—16°

Сравнение результатов измерений суммарного тока осадков

№ п/п	Автор, пункт наблюдений	Период наблюдений	$I \cdot 10^{-11}$ а/м ²		Q к/км ²		$\frac{Q_+}{Q_-}$	$\frac{t_+}{t_-}$	q эл.-ст. ед./см ³		Примечание
			t_+	t_-	Q_+	Q_-			q_+	q_-	
1	Колоколов В. П., Семенов К. А. [2], Ленинград	1958 и 1959					1,1	1,4			Ливни
2	Шиндельхауэр [8], Потсдам	1909—1911	1—5	20—100			—	9,0	0,44	0,35	Ливни с грозой
3	Чалмерс и Литтл [4], Дургам	XI 1938— VIII 1939	1,5	1,0	228	156	1,5	—	1,5	3,2	33 обложных дождя 60 грозовых дождей 57 случаев снегопада
4	Симпсон [7], Сим-ла	IV—IX 1908 1909	—	—	74,3	4,6	1,6	—	—	—	Все виды осадков Обложные дожди
5	Симпсон [7], Кью	X 1942— III 1946	220	500	70,2	20,7	3,2	2,4	0,38	0,29	Все дожди
			51	59	41,0	47,8	0,9	2,0	2,2	6,8	50 снегопадов, E=20 в/см
			13	1,0	0,64	0,38	1,7	1,9	1,3	2,6	12 дождей, E=20 в/см
			5,0	3,7	3,14	0,64	5,0	4,1	0,18	0,03	47 снегопадов, E=20 в/см
6	Шонланд [9], Южная Африка	I—II 1927	230		3,9	0,13	3,0	23,0	0,20	0,08	63 дождя, E=20 в/см
7	Сиварамакришнан [10], Пуна		128	63	4,2	0,2	21,0	3,2	—	—	7 гроз над пунктом наблюдения
8	Иркутск	XI 1964— II 1965 VI—IX 1965	22,6	—	—	—	—	—	1,22	0,86	Случай при коронировании
			—	0,51	0,24	4,24	0,62	0,05	0,49	—	Без коронирования
			43,5	24,0	15,0	2,3	6,6	3,8	—	0,4	42 случая снегопада
			13,5	12,6	31,6	12,4	2,5	3,7	1,87	0,61	8 ливневых дождей 37 обложных дождей

Для объяснения полученного нами факта преобладания на частицах снега отрицательного заряда интересно привлечь результаты исследования электричества слоистых облаков, изложенные в книге И. М. Имянитова и Е. В. Чубариной [1]. Авторы указывают, что объемный заряд в осадках в среднем положителен для «теплых» и смешанных облаков как положительной, так и отрицательной поляризации. Облака, дающие снег, имеют в осадках отрицательный заряд при отрицательной поляризации облака. При положительной поляризации облаков, дающих снег, объемный заряд в осадках почти равен нулю [1]. Поэтому возможно, что преобладание отрицательного заряда, приносимого снегом в условиях Иркутска, свидетельствует о преимущественной отрицательной поляризации облаков.

Величина удельного заряда снега ($0,4$ эл.-ст. ед./см³), указанная в табл. 3, представляется завышенной. Как отмечалось, удельный заряд определялся по данным осадкомера ГМО о количестве осадков. Приемный сосуд для регистрации тока снега был расположен на уровне земли посередине П-образной части двухэтажного здания. Такая установка прибора должна сводить к минимуму ветровые погрешности в определении количества осадков. Если принять по Л. Р. Струзеру [3], что фактическое количество снега на 64% выше измеренного осадкомером, то удельный заряд будет равен $0,2$ эл.-ст. ед./см³.

2. Электрические характеристики ливневых дождей по порядку величины согласуются с данными других авторов [7, 9, 10]. Высокие значения отношений Q_+/Q_- и t_+/t_- в известной мере можно объяснить малым числом измерений (8 ливневых дождей с грозами).

Величины токов обложных дождей, как это видно из табл. 2 и 3, оказываются по крайней мере в 3—5 раз выше, чем, например, в Англии [7, 4]. По сравнению с плотностью тока осадков, рассчитанной И. М. Имянитовым и Е. В. Чубариной [1] на основании данных о полях и объемных зарядах в облаках смешанного состава ($1,2 \cdot 10^{-11}$ а/м²), измеренные нами токи завышены примерно в 10 раз.

Вместе с тем наблюдения в Индии [10] дают для среднего тока осадков из слоисто-дождевых облаков значения 10^{-9} а/м², что на порядок превышает величины, полученные в настоящей работе. Сильная зависимость электрических характеристик осадков от физико-географических условий, а также сравнительно небольшое число пунктов наблюдений делают проводимое в табл. 3 сопоставление затруднительным. Представляется все-таки, что полученные нами токи обложных дождей завышены, так как нет оснований полагать, что условия заряжения слоисто-дождевых облаков в Восточной Сибири существенно отличаются от таковых для Европы [1].

В заключение укажем, что небольшой объем полученного материала и отсутствие данных о других атмосферно-электрических элементах не позволяют считать полученные величины токов обложного дождя установленными окончательно.

Однако высокие значения токов осадков согласуются с идеями И. М. Имянитова и Е. В. Чубариной [1] о значительной роли негрозовой облачности в формировании электрического поля атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М., Чубарина Е. В. Электричество свободной атмосферы. Гидрометеоздат, Л., 1965.
2. Колоколов В. П., Семенов К. А. Об электрической структуре облаков, дающих ливневые осадки. Тр. ГГО, вып. 110, 1960.

3. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н. Методика корректировки многолетних норм осадков. *Метеорология и гидрология*, № 11, 1965.
4. Chalmers A., Little E. Currents of atmospheric electricity. *Terr. Magn. and Atm. Electr.* Vol. 52, No 2, 1947.
5. Chalmers A. The electricity of precipitation *Brit. Y. Appl. Phys.* 12, No 8, 1961.
6. Herath F. Die Messung der Niederschlagselektrizität durch das Gálvanometer. *Phys. Zeitschr.* XV, Nr 3, 1914.
7. Simpson G. Atmospheric electricity during disturbed weather. *Met. Off. Geophys. Mem.* Vol. 10, No 84, London, 1949.
8. Schindelchauer F. Über die Elektrizität der Niederschläge. *Abhand. Preuss. Meteor. Inst.* Nr 263. Berlin, 1913.
9. Schonland M. A. The interchange of electricity between thunderclouds and the Earth. *Proc. Roy. Soc. A.* Vol. 118, 779, 1928.
10. Sivaramakrishnan M. V. The origin of electric charge carried by thunderstorm rain in the tropics. *Ind. Y. Met Geophys.* 12, № 3, 1961.
11. Wormell T. Vertical currents below thunderstorms and showers. *Proc. Roy. Soc. A.* Vol. 127, 567, 1930.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТОК ПРОВОДИМОСТИ В АТМОСФЕРЕ

По материалам наблюдений на 57 станциях, расположенных в разных широтах, рассчитан суммарный ток проводимости на поверхность земли. Рассмотрены годовые и суточные изменения суммарного тока.

При решении основной проблемы атмосферного электричества — исследовании причин, формирующих электрическое поле в атмосфере, — вертикальному току проводимости отводится важное место. В соответствии с гипотезой Вильсона генератором атмосферно-электрического поля является грозовая деятельность. Вопрос о величине суммарного тока проводимости как тока «утечки» сферического конденсатора, образованного земной поверхностью и верхними слоями атмосферы, имеет в этой гипотезе принципиальное значение.

Пространственно-временные изменения тока проводимости и его связь с метеорологическими элементами исследованы в ряде работ [1, 2, 3]. Общий ток на поверхность земного шара оценивается ориентировочно в 1400—1800 а.

Целью настоящей статьи является попытка уточнения этой величины на основе учета широтного эффекта, а также получение суточных и годовых изменений суммарного тока. В статье использованы материалы, сведенные в [2], наблюдения [4, 5, 6] и материалы периода МГГ — МГС, имеющиеся в Мировом центре данных (Москва) и архиве ГГО.

Для нахождения среднегодовой величины суммарного тока использованы материалы 57 станций. При получении годового и суточного хода тока использованы материалы соответственно 33 и 20 станций.

На подавляющем большинстве станций ток определялся косвенным путем (умножением электропроводности воздуха на напряженность поля). Период наблюдений, как правило, был больше одного года.

Величины тока над океанами, его широтное распределение, годовой и суточный ход взяты по измерениям Маучли [7].

Методика и результаты обработки

Методика обработки состояла в следующем. Поверхность земного шара разбивалась на широтные пояса по 10° и для каждого пояса находились площади суши и океана. Арктическая и антарктическая области выделены в отдельные группы, для которых разделение на сушу и океан не производилось. Затем по имеющимся материалам для каждого пояса находились средние величины плотности тока отдельно на поверхность суши и океана.

Таблица 1

Расчет суммарного тока проводимости на земную поверхность

Широта (град.)	$S \cdot 10^6$ км		Число пунктов	$i \cdot 10^{-12}$ а/м ²		I а		I а
	суша	океан		суша	океан	суша	океан	
Арктическая область	15,2		5	4,2		64,0		64,0
70—60 С	13,2	5,7	5	2,7	3,1	35,7	17,7	53,4
60—50	14,4	11,1	14	2,5	3,1	36,0	34,4	70,4
50—40	16,3	15,2	18	2,2	3,1	36,0	47,1	83,1
40—30	15,4	21,1	5	2,1	3,1	32,4	65,4	97,8
30—20	14,6	25,7	3	2,3	3,3	33,6	85,0	118,6
20—10	10,8	32,1	2	2,4	3,1	26,0	100,0	126,0
10—0	10,0	34,4	—	2,4	3,0	24,0	103,0	127,0
0—10 Ю	10,3	34,1			3,1	23,7	106,0	129,7
10—20	9,4	33,5			3,3	21,6	111,0	132,6
20—30	9,3	31,0	5	2,3	3,4	21,4	105,0	126,4
30—40	4,0	32,5			3,5	9,2	114,0	123,2
40—50	0,9	30,6			3,6	2,1	110,0	112,1
50—60	0,1	25,4			3,6	0,2	91,5	91,7
Антарктическая область	34,1			3,6		123,0		123,0
Сумма . . .			57					1579,0

Умножив эти средние величины плотности тока i на площади суши и океана S и сложив полученные произведения, найдем суммарный ток проводимости пояса. Суммирование по всем поясам дает общий ток I на всю земную поверхность.

Для южного полушария из-за малого числа пунктов наблюдений деление на пояса не производилось. Общий ток на поверхность южного полушария определялся как сумма произведений площадей суши и океана и соответствующих плотностей тока. Схема расчета среднегодовой величины тока на поверхность земли приведена в табл. 1.

При получении суточного хода суммарного тока проводимости описанная методика применялась к среднечасовым величинам по гринвичскому времени. Для получения годового хода вся схема расчета применялась к каждому месяцу. Результаты вычислений представлены на рис. 1 и 2.

Обсуждение результатов

Вычисления, сведенные в табл. 1, показывают, что величина суммарного тока на всю земную поверхность составляет около 1600 а. Основной вклад в это значение вносят океаны, ток на сушу северного и южного полушарий составляет соответственно 14 и 5% полного тока.

Существенное значение имеет также плотность тока, принятая для Антарктики. В табл. 1 для Антарктики нами использовано значение плотности тока $3,6 \cdot 10^{-12}$ а/м², т. е. такое же, как для океана в высоких широтах южного полушария. Если принять значение плотности тока в Антарк-

тике (о. Петра) равным $7 \cdot 10^{-12}$ а/м² [8], то величина полного тока будет близкой к 1700 а.

Малое число пунктов наблюдений в южном полушарии сказывается на величине суммарного тока незначительно благодаря тому, что площадь суши в южном полушарии невелика. Изменение плотности тока над сушей южного полушария, например, на 100% приведет к изменению общего тока на землю лишь на 5%.

Рассмотрим суточные и годовые изменения суммарного тока проводимости на земную поверхность (рис. 1 и 2). Сопоставление всех кривых показывает хорошую корреляцию суммарного тока с числом гроз, вычисленным Уипплом в 1929 г. (коэффициент корреляции равен 0,97). Амплитуда суточного хода суммарного тока составляет 29%.

Годовые изменения суммарного тока проводимости, в отличие от суточных, противоположны грозовой активности (рис. 2). Корреляция кривой тока с найденной Парамоновым годовой унитарной вариацией градиента потенциала невелика — коэффициент корреляции равен 0,20. В известной мере такую слабую корреляцию можно объяснить тем, что годовая унитарная вариация градиента потенциала электрического поля получена Парамоновым осреднением значительно большего материала,

чем использовано нами для расчета годового хода суммарного тока. Сглаженная кривая тока, возможно, будет лучше коррелировать с кривой унитарной вариации.

Значительно труднее объяснить противоположность хода кривых суммарного тока и числа гроз на земном шаре. В работе [9] противоположный характер годовых изменений унитарной вариации поля и грозовой активности объясняется особенностями широтного распределения гроз. Считается, что в летние месяцы северного полушария, несмотря на большое число гроз, их электрическая активность невелика, так как возникают они в это время в средних широтах.

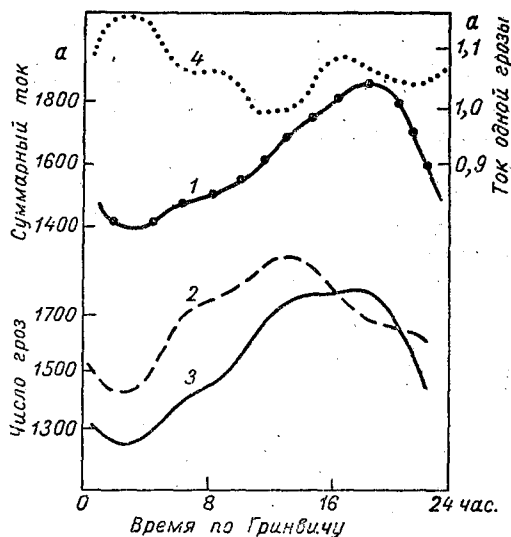


Рис. 1. Суточный ход суммарного тока проводимости на поверхность земли.

1 — суммарный ток, 2 — число гроз по Крумму, 3 — число гроз по Уипплу, 4 — средний ток одной грозы.

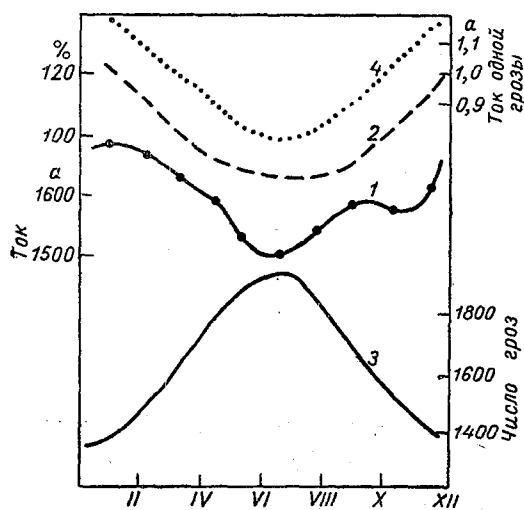


Рис. 2. Годовой ход суммарного тока проводимости (1), унитарной вариации (2), числа гроз (3) и среднего тока одной грозы (4).

Зимой сравнительно небольшое число экваториальных гроз генерирует значительно больше электричества.

Такое предположение формально подтверждается кривой 4 (рис. 2), которая показывает изменение в течение года «эффективного» тока одной грозы, вычисленного нами аналогично предыдущему. Видно, что ток, генерируемый одной грозой, уменьшается от зимы к лету примерно на 40%, следуя в фазе с унитарной вариацией.

Для исследования факторов, определяющих годовой ход тока проводимости, нами рассмотрена корреляция тока с некоторыми электрическими характеристиками атмосферы. Результаты вычислений можно свести к следующему.

1. Корреляция суммарного тока проводимости и годовой унитарной вариации (по Парамонову) невелика — коэффициент корреляции равен 0,20.

2. Отсутствует корреляция в годовом ходе суммарного тока проводимости и тока над отдельными континентальными пунктами. Коэффициенты корреляции между ними, например, для Воейково, Свердловска, Иркутска, Ташкента и Южно-Сахалинска составляют 0,36; 0,24; 0,02; 0,51; 0,42 соответственно.

3. По результатам самолетных наблюдений в Ленинграде и Ташкенте [10], а также по данным радиозондирования в Мёрчинсон-Бей и Пайерне [5] не обнаруживается связь между потенциалом на уровне 6 км и током проводимости у земли (табл. 2).

Таблица 2

Годовой ход плотности тока проводимости $i \cdot 10^{-12}$ а/м² у земли и потенциала V кв на высоте 6000 м

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее за год
Ленинград													
V	197	206	148	83	119	153	233	289	267	204	127	118	178
$i \cdot 10^{-12}$	1,9	2,8	3,4	2,9	3,2	2,4	2,7	2,3	2,7	2,0	2,4	2,9	2,6
Ташкент													
V	409	454	427	253	192	281	274	164	224	379	504	463	335
$i \cdot 10^{-12}$	1,5	2,1	2,4	2,5	2,2	2,7	3,1	3,5	3,4	3,1	2,2	1,8	2,6
Мёрчинсон-Бей													
V	165	140	—	140	75	117	192	239	—	235	143	244	172
$i \cdot 10^{-12}$	12,1	10,5	11,4	8,7	7,3	7,1	9,2	10,1	6,5	7,4	7,9	8,5	8,9
Пайерн													
V	327	321	300	270	210	349	463	252	308	363	—	241	309
$i \cdot 10^{-12}$	4,0	4,1	4,0	3,2	2,8	3,1	2,9	4,0	3,9	3,5	3,1	4,1	3,6

Коэффициент корреляции годовых изменений потенциала V на уровне 6 км и плотности тока проводимости i на разных уровнях несколько увеличивается с высотой. Так, по наблюдениям тока проводимости в Пайерне на уровнях 0,15 и 3,5 км коэффициенты корреляции с потенциалом уровня 6 км соответственно равны 0,15; 0,45 и 0,42.

4. Ток проводимости у земли для Воейково хорошо коррелирует с годовыми изменениями избыточного заряда атмосферы Q в слое

Таблица 3

Плотность тока проводимости $i \cdot 10^{-12}$ а/м² и заряд Q эл.-ст. ед./м² в слое 500—3500 м

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднее за год
Ленинград													
Q	1,3	2,0	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,4
$i \cdot 10^{-12}$	1,9	2,8	3,4	2,9	3,2	2,4	2,7	2,3	2,7	2,0	2,4	2,9	2,6
Ташкент													
Q	1,0	0,5	0,1	1,2	2,2	2,0	1,8	1,4	1,5	1,5	0,9	0,7	1,2
$i \cdot 10^{-12}$	1,5	2,1	2,4	2,5	2,2	2,7	3,1	3,5	3,4	3,1	2,2	1,8	2,6

500—3500 м (коэффициент корреляции 1,00). Однако по наблюдениям над Ташкентом аналогичный коэффициент корреляции составляет лишь 0,42 (табл. 3).

Эти сопоставления тока проводимости с другими характеристиками позволяют заключить, что процесс обмена электричеством между атмосферой и землей значительно сложнее определяемого схемой шарового конденсатора. Отсутствие подобия между годовым ходом тока проводимости и унитарной вариацией подтверждает мысль о различных генераторах электричества, формирующих годовые изменения этих элементов [10]. Недостаточное количество наблюдений вертикального распределения тока проводимости и других атмосферно-электрических характеристик не позволяет сейчас сделать окончательные выводы о механизмах, поддерживающих электрическое поле в атмосфере. Однако такие факты, как слабая корреляция годового хода тока проводимости с унитарной вариацией, отсутствие связи между потенциалом верхней тропосферы и током проводимости для отдельных пунктов, а также высокая корреляция тока проводимости с изменениями избыточного заряда позволяют признать возможным существование генераторов электричества в атмосфере в областях хорошей погоды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парамонов Н. А. К вопросу выделения унитарных изменений элементов атмосферного электричества. Тр. ГГО, вып. 110, 1960.
2. Israëli. Der luftelektrische Vertikalstrom. Ann. Geophys., 10; 2; 1954.
3. Kraakevik I. Electrical conduction and convection currents in troposphere. Recent Advances in Atmosphere Electricity. Pergamon Press, London, 1959.
4. Герасименко В. И. Измерение элементов атмосферного электричества на мысе Челюскин. Тр. Арктического ин-та, 97, 1937.
5. Lugeon I., Ionod A., Wasserfallen P., Picker I. Mesures des parasites atmosphériques, d'électricité atmosphérique et de radioactive de l'aire a Murchison Bay (Spitzberg). Payenne et Zürich, Zurich, 1960.
6. Norinder H., Israëli H., Siksna R. Das luftelektrische Potentialgefälle und der Vertikalstrom in Uppsala. Archiv for Geofys., Bd 2, Nr 6, 1954.
7. Mauchly S. I. Atmospheric-electric results obtained aboard the Carnegie 1915—1921. Res. Dep. Terr. Magn. Vol. V, Washington, 1926.
8. Israëli H. Atmosphärische Elektrizität. Teil II, Leipzig, 1961.
9. Парамонов Н. А. Исследование связи унитарного вертикального тока проводимости с грозовой деятельностью для всей поверхности земли. Тр. ГГО, вып. 157, 1964.
10. Имянитов И. М., Чубарина Е. В. Годовой ход электрического потенциала атмосферы на высоте 6 км и заряда столба атмосферы в слое 0—6 км. Тр. ГГО, вып. 157, 1964.

ПОПРАВКА К СТАТЬЕ
Я. М. ШВАРЦА, С. И. АНДРЕЕВОЙ
„ЕЩЕ РАЗ О СВЯЗИ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА
С ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ“,

помещенной в Трудах ГГО, вып. 188, стр. 51, 1966 г.

Помещенный в статье рис. 1 недостаточно рельефно иллюстрирует различие вариаций суточного хода площади, занятой грозами, полученных методами Уиппла и Крумму. К тому же, по недосмотру авторов

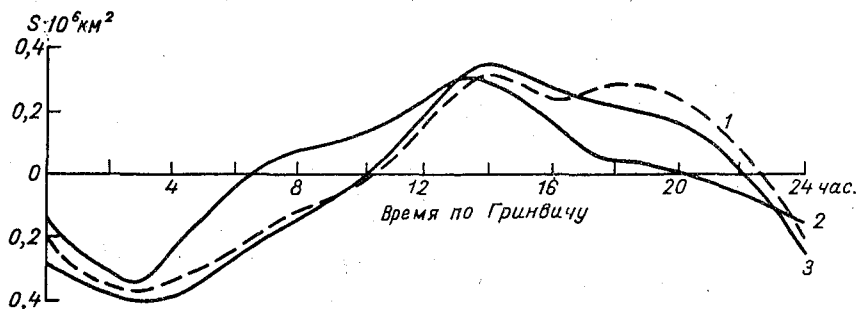


Рис. 1. Вариация суточного хода площади, занятой грозами.
1 — по Уипплу, 2 — по Крумму, 3 — по Уипплу с использованием первичных данных Крумму. S — величина вариации площади, занятой грозами.

в нем содержатся некоторые неточности. Поэтому авторы сочли необходимым исправить допущенную оплошность и опубликовать рисунок, иллюстрирующий вариации суточного хода площади, занятой грозами.

Я. М. Шварц
С. И. Андреева

СОДЕРЖАНИЕ

И. М. Имянитов, Я. М. Шварц, С. И. Андреева, Б. Ф. Евтеев, И. И. Камалдина, Ю. Н. Малашенко. Электрические токи над грозowymi облаками	3
Я. М. Шварц, С. И. Андреева, В. Г. Бородулина. Возможности и опыт создания электростатического флюксметра вибрационного типа	18
Г. Ф. Павлюченков. Радиозондовый емкостный динамический преобразователь	28
И. М. Имянитов, С. Г. Попов. О возможности применения свободно висящего в струе воздуха шара как датчика, измеряющего электропроводность воздуха	32
В. В. Михайловская. К расчету приборов для измерения зарядов частиц индукционным методом	39
В. В. Михайловская, М. А. Загробян. Экспериментальное исследование датчиков приборов для измерения зарядов частиц, основанных на индукционном методе	44
В. П. Колоколов, К. Н. Баркалова. Число грозowych разрядов и продолжительность гроз	56
В. П. Колоколов, В. А. Кутявин. Карта числа грозowych разрядов на Европейской территории СССР за 1965 г.	60
В. А. Камышанова. Грозовая деятельность по данным грозорегистраторов в отдельных пунктах	63
К. А. Семенов. Соотношение между числом внутриоблачных разрядов и разрядов на землю	68
В. А. Соловьев. Грозовая активность в среднеазиатских республиках СССР и в сопредельных с ними странах	70
С. Е. Огурьев. Об оценке числа атмосфериков на пороговых уровнях от 6 до 100 мв/м	82
Т. В. Лободин, П. С. Лыдзар, Н. А. Титов, В. И. Унуков. Экспериментальная проверка работы пеленгатора близких гроз	84
✓ В. И. Созин. Грозовая активность в Кировской области по данным инструментальных наблюдений в 1965 г.	92
В. И. Созин. Об оценке удаленности гроз по амплитудам атмосфериков	96
А. Х. Филиппов. Измерение суммарного заряда осадков в Иркутске	100
А. Х. Филиппов. Вертикальный ток проводимости в атмосфере	109

Труды ГГО, вып. 204
Атмосферное электричество

Редактор *Л. К. Сурыгина*
Технич. редактор *Г. С. Николаева*
Корректоры: *Е. И. Бородина, Б. А. Минц*

Сдано в набор 25/X 1966 г. Подписано к печати 15/V 1967 г. Бумага
типогр. № 1 70×108^{1/16}, Бум. л. 3,625 Прив. печ. л. 10,15. Уч.-изд. л. 8,64.
М- 22149 Индекс МЛ-132. Тираж 660 экз. Заказ № 169. Цена 60 коп.
Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, В-53, 2-я линия, 23.

Сортавальская книжная типография Управления по печати
при Совете Министров КАССР
г. Сортавала, Карельская, 42