

06  
778

ПРОВЕРЕНО  
1960г.

Т Р У Д Ы  
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ  
ОБСЕРВАТОРИИ  
имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 58 (120)

АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Под редакцией  
докт. физ.-мат. наук  
проф. П. Н. ТВЕРСКОГО  
и канд. физ.-мат. наук  
В. А. СОЛОВЬЕВА

БИБЛИОТЕКА  
ЛЕНИНГРАДСКОГО  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1956

## АННОТАЦИЯ

В сборнике помещены статьи по различным вопросам атмосферного электричества. Значительная часть статей относится к методическим вопросам и к изучению грозowego электричества.

Помещен также ряд статей работников местных геофизических обсерваторий, в которых освещается электрическое состояние атмосферы в некоторых пунктах Советского Союза и в целом по всей территории СССР.

Материалы, публикуемые в сборнике, являются результатами исследований, проведенных в последние 2—3 года. Статьи представляют интерес как для научных работников-геофизиков, так и практических работников гидрометслужбы.

---

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТОВ ПРОВОДИМОСТИ И ИОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В АТМОСФЕРЕ

Проведению градиентных измерений проводимости и ионной концентрации в атмосфере в основном мешает низкая точность измерений, даваемая применяемой аппаратурой. Изменения этих величин с высотой составляют на 1 м сотые доли их. Ошибка же измерений проводимости и ионного спектра оценивается примерно 10%. Таким образом, для проведения градиентных измерений необходимо либо проводить измерения на разных уровнях приборами повышенной точности, либо использовать приборы, позволяющие непосредственно измерять отношение или разность величин на заданных уровнях.

Теория приборов последнего вида излагается в этой статье.

### Измерение отношения проводимостей

Принцип действия приборов, измеряющих отношение проводимостей на двух уровнях, изложен в работе [1]. Внутри плоского конденсатора помещается изолированная перегородка, параллельная его пластинам, разделяющая два объема воздуха с проводимостями  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . К обкладкам конденсатора прикладывается некоторое напряжение  $V$ . Напряженность поля у одной из пластин конденсатора и потенциал перегородки зависят от величины потенциала  $V$ , размеров конденсатора и отношения проводимостей обоих объемов воздуха.

На рис. 1 а показано видоизменение схемы [1] для градиентных измерений проводимости воздуха и ионной концентрации. Два плоских конденсатора, образованных одинаковыми внутренними обкладками 1 и 2, выполненными в виде пластинок, и наружными обкладками 3 и 4, выполненными в виде прямоугольных параллелепипедов, размещаются на расстоянии  $H$  друг от друга и удерживаются на этом расстоянии с помощью трубы 5 из изоляционного материала. Через оба конденсатора с помощью вентиляторного насоса 8, вращаемого мотором 9, через трубы 7 может просасываться воздух. Причем в силу симметрии конструкции скорость прососа воздуха через оба конденсатора одинакова. Внутренние пластины обоих конденсаторов соединены между собой и присоединены к электрометру 6, а на наружные обкладки подано от батарей напряжение  $V$ . Для защиты прибора от внешних полей и наблюдателя от напряжения  $V$  на обкладках конденсатора служат заземленные экраны 10.

Если проводимость воздуха на уровне расположения нижнего конденсатора —  $\lambda_1$ , а проводимость воздуха на уровне расположения второго конденсатора —  $\lambda_2$ , то потенциал  $\varphi$ , отмеченный электрометром 6, как следует из [1], будет связан с отношением проводимостей уравнением

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{V - \varphi}{\varphi}, \quad (1)$$

откуда, зная потенциал, отмечаемый электрометром  $\varphi$ , можно непосредственно определить отношение проводимостей на двух уровнях на расстоянии  $H$ . Для повышения точности измерений в качестве электрометра  $6$  следует использовать динамический электрометр, позволяющий производить измерение только изменений потенциала  $\varphi$  [2]. Можно так же, как это указывалось в [1], вместо электрометра, соединенного с центральным электродом, использовать электростатический

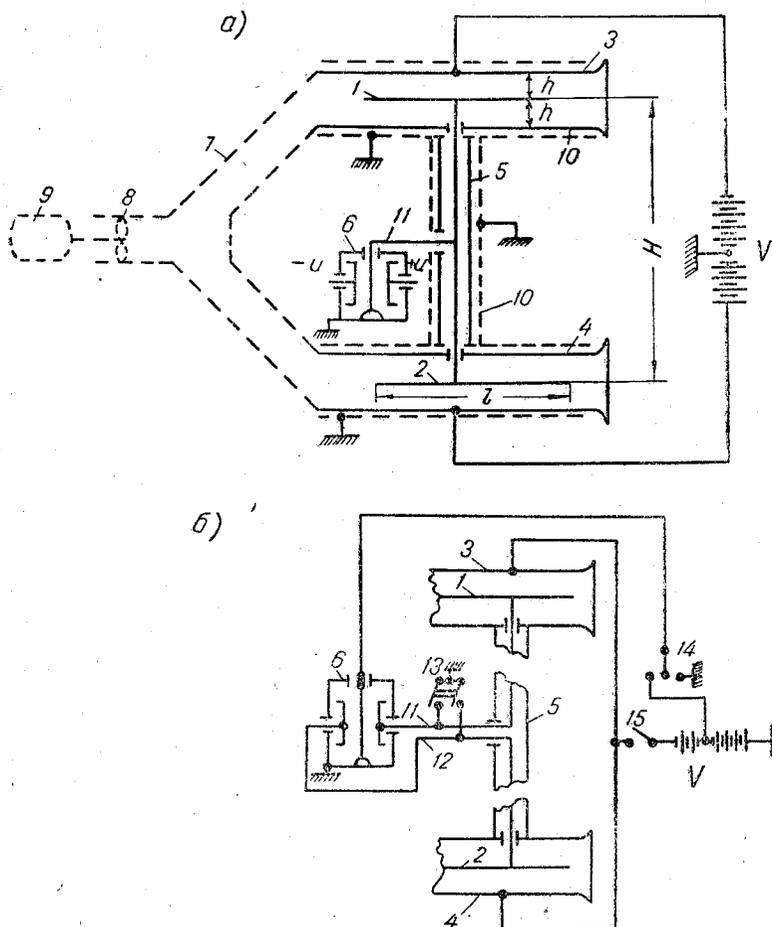


Рис. 1. Схема прибора для градиентных измерений проводимости воздуха и ионной концентрации.

флюксметр, измеряя им напряженность поля  $E$  у наружной обкладки конденсатора. В этом случае формула (1) может быть переписана в виде

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{V - Ed}{Ed}. \quad (2)$$

### Измерение градиента проводимостей

Для измерения разности проводимостей на двух высотах схема несколько видоизменяется (рис. 1 б).

Оба аспирационных конденсатора могут быть выполнены либо в виде уже описанных плоских конденсаторов, либо в виде обычных цилиндрических конденсаторов.

Провод, соединяющий внутренние электроды 1 и 2, разъединяется посередине и электроды 1 и 2 с помощью проводов 11 и 12 присоединяются к ножам одного электрометра б.

На нить электрометра с помощью переключателя 14 подается напряжение с части батареи V.

На внешние электроды 3 и 4 обеих половин дифференциального прибора подается с помощью ключа 15 напряжение от той же батареи V.

Перед измерением с помощью ключа 13 внутренние электроды 1 и 2 заземляются; затем заземление прерывается и производится измерение.

Изменение потенциала  $\Delta v$ , отмечаемое электрометром б, будет пропорционально разности напряжений  $v_1$  и  $v_2$ , возникающей на обоих ножах электрометра.

Потенциалы  $v_1$  и  $v_2$  ножей электрометра пропорциональны величине зарядов  $q_1$  и  $q_2$ , приобретенных соответственно электродами 1 и 2 за счет проводимости  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  в соответствующем конденсаторе,

$$v_1 = \frac{q_1}{c_1} \quad \text{и} \quad v_2 = \frac{q_2}{c_2}, \quad (3)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  — соответственно емкости электродов 1 и 2 и соединенных с ними проводников и ножа электрометра.

Заряды  $q_1$  и  $q_2$ , натекшие за время  $t$ , могут быть вычислены по формулам:  $q_1 = I_1 t$  и  $q_2 = I_2 t$ , где  $I_1$  и  $I_2$  — токи, текущие соответственно в первом и втором аспирационных конденсаторах.

Для рассмотренного случая плоских конденсаторов токи на электроды 1 и 2 равны произведению площади внутренних электродов  $2s$  на напряженности поля в конденсаторах  $E_1 = \frac{V-v_1}{2h}$  или  $E_2 = \frac{V-v_2}{2h}$  и проводимости  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  в соответствующем конденсаторе, т. е.

$$q_1 = \frac{s(V-v_1)}{h} \lambda_1 t \quad \text{и} \quad q_2 = \frac{s(V-v_2)}{h} \lambda_2 t,$$

или, полагая  $v_1 \ll V$ , а  $v_2 \ll V$ ,

$$q_1 = \frac{sVt}{h} \lambda_1 \quad \text{и} \quad q_2 = \frac{sVt}{h} \lambda_2. \quad (4)$$

Пользуясь уравнениями (3) и (4), можно записать

$$\Delta v = \frac{Vst}{h} \left( \frac{\lambda_1}{c_1} - \frac{\lambda_2}{c_2} \right) \alpha v_n,$$

где  $V_n$  — напряжение, подаваемое на нить электрометра б,  $\alpha$  — чувствительность электрометра<sup>1</sup>.

Полагая в силу симметрии схемы  $c_1 = c_2 = c$ , последнее уравнение можно окончательно записать в виде

$$\Delta v = \alpha V_n \frac{Vst}{ch} (\lambda_1 - \lambda_2) \quad (5)$$

или

$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{ch}{\alpha V_n \cdot V \cdot st} \Delta v. \quad (6)$$

<sup>1</sup> Под чувствительностью электрометра в этом случае понимается смещение нити электрометра, на которую подан некоторый потенциал  $V_n$ , при разности напряжений на ножах  $v_1 - v_2 = 1$ в, причем  $v_1 \ll V_n$  и  $v_2 \ll V_n$ .

Аналогичная формула может быть, очевидно, получена и для случая цилиндрических конденсаторов.

Для измерения разности проводимостей воздуха другой полярности следует изменить знак напряжения, подаваемого от батареи на электроды 3 и 4.

Градиент проводимости  $\frac{\Delta\lambda}{\Delta H}$  вычисляется из формулы

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta H} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{H}. \quad (7)$$

Для того чтобы при измерениях проводимости отсутствовал ток насыщения для ионов самой большой подвижности  $u_0$ , встречающейся в атмосфере, скорость потока  $g$  в плоском конденсаторе определяется из неравенства

$$g > \frac{u_0 l V}{2h(h-\Delta)}, \quad (8)$$

где  $l$  — длина электродов 1 и 2,  $\Delta$  — их толщина, а  $h$  — расстояние между электродами 1 и 3 или 2 и 4.

Если  $\Delta \ll h$ , то неравенство (8) может быть переписано в виде

$$g > \frac{u_0 l V}{2h^2}. \quad (8')$$

Формулы (6) [или (5)], (7) и неравенство (8) [или (8')] служат для расчета прибора.

### Измерение градиента ионной концентрации

Если проводить измерения градиента ионной концентрации по схеме рис. 1 б, то предельная подвижность ионов  $u'$ , создающих ток насыщения в обоих аспираторах, дается для плоских конденсаторов выражением

$$u' = 2 \frac{hg}{lV} (h - \Delta). \quad (9)$$

Значения входящих в формулу (9) величин приведены выше. Если  $\Delta \ll h$ , то

$$u' = \frac{2h^2}{lV} g. \quad (9')$$

Введем в формулу (9') значение объемной скорости воздуха  $W$  и емкости  $c_0$  плоского конденсатора, образованного электродами 1 и 3 или 2 и 4, тогда формула (9') может быть переписана в виде

$$u' = \frac{W}{\pi c_0 V}. \quad (10)$$

Заряды  $q_1$  и  $q_2$ , приобретаемые электродами 1 и 2 за время  $t$ , если токи  $I_{n_1}$  и  $I_{n_2}$ , текущие в обоих конденсаторах, являются токами насыщения, определяются из равенств

$$q_1 = I_{n_1} t \text{ и } q_2 = I_{n_2} t, \quad (11)$$

причем

$$I_n = Wen, \quad (12)$$

где  $e$  — заряд электрона, а  $n$  — концентрация ионов с подвижностями  $u > u'$ . Из уравнений (11) и (12) следует

$$q_1 = eWtn_1 \text{ и } q_2 = eWtn_2,$$

где  $n_1$  и  $n_2$  — концентрации ионов на высотах измерения.

Если изменение потенциала, отмечаемое электрометром, составляет  $\Delta\psi$  и  $c_1$  и  $c_2$  — емкости электродов 1 и 2 и соединенных с ними проводников, то, пока потенциалы  $\psi_1$  и  $\psi_2$  электродов 1 и 2 малы по сравнению с  $V$ , можно написать

$$n_1 - n_2 = \left( \frac{c_1 \psi_1}{e W_1 t} - \frac{c_2 \psi_2}{e W_2 t} \right) \alpha V_n$$

или, если объемные скорости в обоих аспираторах равны:  $W_1 = W_2 = W$ , а  $c_1 = c_2 = c$ , то

$$n_1 - n_2 = \frac{c \alpha V_n}{e M} \Delta\psi. \quad (13)$$

Здесь  $M$  — объем воздуха, протянутый через каждый из измерительных конденсаторов за время экспозиции  $t$ .

Градиент ионной концентрации  $\frac{\Delta n}{\Delta H}$  можно найти по формуле

$$\frac{\Delta n}{\Delta H} = \frac{n_1 - n_2}{H}. \quad (14)$$

Поправка на ток проводимости вычисляется обычным путем, по методу двух отсчетов при разных вспомогательных напряжениях.

Аналогичные формулы могут быть получены и для случая цилиндрических аспираторов.

Формулы (8), (12) и (14) служат для расчета прибора, измеряющего градиент ионной концентрации.

Как следует из формул (1), (2), (6), (7), (13) и (14), ошибка при этих измерениях, при выполнении конденсаторов одинаковыми, относится непосредственно к отношению или разности измеряемых величин. Таким образом, предлагаемые методы позволяют существенно повысить точность градиентных измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М. Новый метод измерения проводимости диэлектриков. ЖТФ, т. 20, 805, 1950.
2. Имянитов И. М. Динамические методы измерения малых токов. Труды ГГО, вып. 35 [97], 1952.

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУЦИРОВАННОГО И СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ПОВЕРХНОСТИ САМОЛЕТА

Исследования распределения индуцированного и собственного электрического зарядов на поверхности самолета преследуют две цели:

1) определить место расположения приборов и необходимые пересчетные коэффициенты при исследовании электрических полей в свободной атмосфере с помощью самолетов и для исследования заряжения последних [1];

2) выяснить условия коронирования, возникающего при воздействии внешних электрических полей и в результате образования собственного заряда самолета, для различных точек поверхности самолета с тем, чтобы правильным размещением приемных антенн и специальных разрядителей и выбором их конструкции уменьшить помехи радиосвязи, возникающие при коронировании.

Исследования проводятся для самолетов, поверхностная проводимость которых достаточно велика.

### Измерение распределения собственного заряда по поверхности самолета

Задачей исследования является определение связи между зарядом  $Q$  самолета и плотностью поверхностного заряда  $\sigma_i$  в отдельных точках  $i$  поверхности самолета

$$\sigma_i = R_i Q,$$

где  $R_i$  — коэффициент пропорциональности, зависящий только от конфигурации самолета и расположения окружающих предметов. При достаточно большом удалении от последних  $R_i$  зависит только от формы самолета.

Непосредственные измерения распределения поверхностного заряда на самолете провести затруднительно, так как в этом случае, чтобы избежать влияния земли и окружающих предметов, самолет следует размещать на расстояниях, больших нескольких десятков метров от них. Измерения поэтому ведутся на модели самолета. Для измерений модель самолета масштабом в  $\frac{1}{n}$  от натуральной величины размещается на достаточном расстоянии от окружающих предметов. Измерения с точностью в 1—2% можно провести, выбирая это расстояние равным 5—10 длинам модели в соответствующем направлении. Модель для уменьшения искажений укрепляется в выбранном положении на изоляторах, лучше всего шелковых тонких нитях. От источника постоянного напряжения с помощью тонкого провода на модель подается потенциал  $V$  (величиной несколько сот вольт).

Если емкость модели (измеренная обычными методами)  $C_m$ , то заряд на модели  $q$  очевидно равен

$$q = C_m V.$$

Касаясь различных точек модели шариком малого радиуса (обычно берется шарик радиусом 2—3 мм) и измеряя полученные этим шариком заряды, можно получить относительное распределение плотности поверхностного заряда на модели. Шарик удобнее всего подвешивать на тонкой шелковой нити, укрепленной на деревянной ручке. Следует все время следить, чтобы нить на ручке не имела собственного заряда. Заряд  $q_i$ , приобретаемый шариком при касании поверхности модели, измеряется с помощью электрометра. Следует учесть, что заряд, приносимый шариком, зависит также от величины контактной разности потенциалов  $V_k$  между шариком и моделью. Исключить влияние  $V_k$  можно, подавая на модель потенциалы  $+V$  и  $-V$  и вычисляя заряд, приносимый шариком, как среднее из двух измерений,

$$q_i = \frac{bV + aV_k + bV - aV_k}{2} = bV = k_i C_m V,$$

где  $k_i$  — коэффициент для модели, аналогичный коэффициенту  $R$  для самолета.

Для самолетных измерений необходимо, однако, знать истинные значения плотности зарядов в различных точках, а не их относительное распределение. Для этого следует определить, как связан заряд  $q_i$ , уносимый шариком при касании проводящей поверхности, с плотностью поверхностных зарядов  $\sigma_i$  в точке касания. Эту связь удобно определить, измеряя заряд  $q_n$ , уносимый плоской пластиной площадью  $s$  см<sup>2</sup> при отрыве ее от плоской заряженной поверхности, и заряд  $q_i$ , уносимый шариком при отрыве от той же поверхности. Из очевидных соображений

$$\sigma_i = \frac{q_n}{s}, \text{ а } p = \frac{\sigma_i}{q_i} = \frac{q_n}{sq_i},$$

где  $p$  — коэффициент, на который нужно умножить заряд, приносимый шариком с какой-то точки поверхности модели, чтобы вычислить плотность поверхностного заряда в этой точке.

Очевидно, что приведенные соображения остаются справедливыми, пока радиус шарика достаточно мал по сравнению с радиусом кривизны в точке измерения.

Связь между плотностью поверхностного заряда какой-то точки модели  $\sigma_{mi}$  и плотностью поверхностного заряда в соответствующей точке поверхности самолета  $\sigma_{ci}$ , если заряды модели  $q$  и самолета  $Q$  равны, дается очевидным соотношением

$$\frac{\sigma_{mi}}{\sigma_{ci}} = n^2.$$

Отсюда связь между плотностью поверхностного заряда в какой-то точке поверхности самолета и зарядом последнего выражается в виде

$$\sigma_{ci} = R_i, \quad Q = n^2 \sigma_m = n^2 k_i q,$$

т. е. коэффициенты для самолета  $R_i = n^2 k_i$ .

Связь между напряженностью поля  $E_i$  в какой-либо точке поверхности самолета и величиной заряда последнего дается уравнением

$$E_i = 4\pi R_i Q.$$

### Измерение распределения индуцированного заряда по поверхности самолета

Самолет во время полета может находиться в поле произвольного направления. Поэтому и размещение приборов, и определение пересчетных коэффициентов должны проводиться так, чтобы можно было определить составляющие электростатического поля в прямоугольной системе координат. Обычно координатные оси связывают с самолетом, располагая одну из горизонтальных осей вдоль фюзеля-

ляжа, а другую — вдоль крыльев. Задачей измерения является определение связи между соответствующей составляющей вектора напряженности поля  $E$ , которое было бы в точке измерения при отсутствии в ней самолета, и напряженностью поля  $E_i$ , возникающей в какой-то точке поверхности самолета,

$$E_i = R_{iw} E_w,$$

где  $R_{iw}$  — коэффициент пропорциональности для составляющей поля в каком-то направлении  $W$ .

Для измерения необходимо поместить самолет в поле с известной напряженностью  $E_w$  и, измерив соответствующие значения  $E_i$ , определить  $R_{iw}$ .

Измерения, очевидно, также удобнее вести на моделях самолетов, помещая их в поле плоского конденсатора. Аналогичные измерения с самими самолетами потребовали бы создания конденсаторов с площадью пластин в несколько сот или даже тысяч квадратных метров.

Размеры конденсатора должны в несколько раз превышать размеры модели. Модель подвешивается внутри конденсатора на шелковых нитях. Для уменьшения влияния заряжения модели на пластины конденсатора желательно подавать напряжения, симметричные относительно земли, а модель располагать в районе прохождения нейтральной плоскости. Методика снятия заряда пробным шариком и пересчета величины этого заряда на плотность поверхностного заряда та же, что и при измерениях заряда. Если ввести систему прямоугольных координат, связанных с самолетом, и обозначить через ось  $x$  — направление вдоль фюзеляжа самолета, через ось  $z$  — направление, перпендикулярное плоскости самолета, то измерения коэффициентов  $R_{iw}$  проводятся для составляющих напряженности поля  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ , направленных соответственно вдоль осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Таким образом, в каждой точке определяются коэффициенты  $R_{ix}$ ,  $R_{iy}$ ,  $R_{iz}$ . Для измерения составляющих поля с помощью самолета необходимо в общем случае определить 9 коэффициентов [2]. Однако, помещая приборы в местах пересечения нейтралей, т. е. в точках, где две составляющих поля одновременно равны нулю, число необходимых коэффициентов можно уменьшить до трех [2].

Расположение нейтралей при соответствующей ориентации модели самолета находится по месту, где индуцированный заряд меняет знак (причем должно быть учтено влияние контактной разности потенциалов  $V_k$ ).

Коэффициенты  $R_{ix}$ ,  $R_{iy}$  и  $R_{iz}$  для любой точки самолета равны в силу законов электростатики коэффициентам, определенным для тех же точек модели.

Таким образом,

$$R_{ix} = \frac{E_i}{E_x}, \quad R_{iy} = \frac{E_i}{E_y} \quad \text{и} \quad R_{iz} = \frac{E_i}{E_z}.$$

$E_w$  ( $w = x, y$  или  $z$ ) определяется как частное от деления приложенного к обкладкам конденсатора напряжения  $V$  на расстояние  $d$  между ними. Метод определения  $E_i$  описан выше, в разделе об измерении заряда. Напряжение  $V$  ограничивается, с одной стороны, необходимостью получить достаточную точность измерения, а с другой, — необходимостью избежать возникновения коронирования во время измерений. Напряженность поля, равная примерно 10—50 в/см, оказывается вполне достаточной.

### Данные о распределении зарядов по поверхности самолета

Были проведены исследования распределения зарядов по поверхности самолета ЛИ-2. Для измерений использовалась модель в  $\frac{1}{30}$  натуральной величины. Емкость модели оказалась равной 14,5 см. Таким образом, емкость самолета составляет 435 см. Эта емкость хорошо соответствует емкости, определенной по приближенной формуле, — емкость самолета в сантиметрах составляет примерно 0,2 от размаха крыльев самолета в сантиметрах.

**а. Распределение собственного заряда по поверхности самолета.** На рис. 1 *а* даны значения коэффициентов для заряда на поверхности крыльев самолета. На рис. 1 *б* даны распределения этих же коэффициентов вдоль фюзеляжа. Как видно из рисунка, значение  $R$  меняется почти в 10 раз (от  $25 \cdot 10^{-2}$  до  $18,5 \cdot 10^{-2}$ ). Значения  $R$  возрастают на концах крыльев, киле фюзеляжа. Значение  $R$  на конце киля может превосходить значение  $R$  в центре фюзеляжа более чем в 20 раз. Причем эти значения являются преуменьшенными, так как в местах

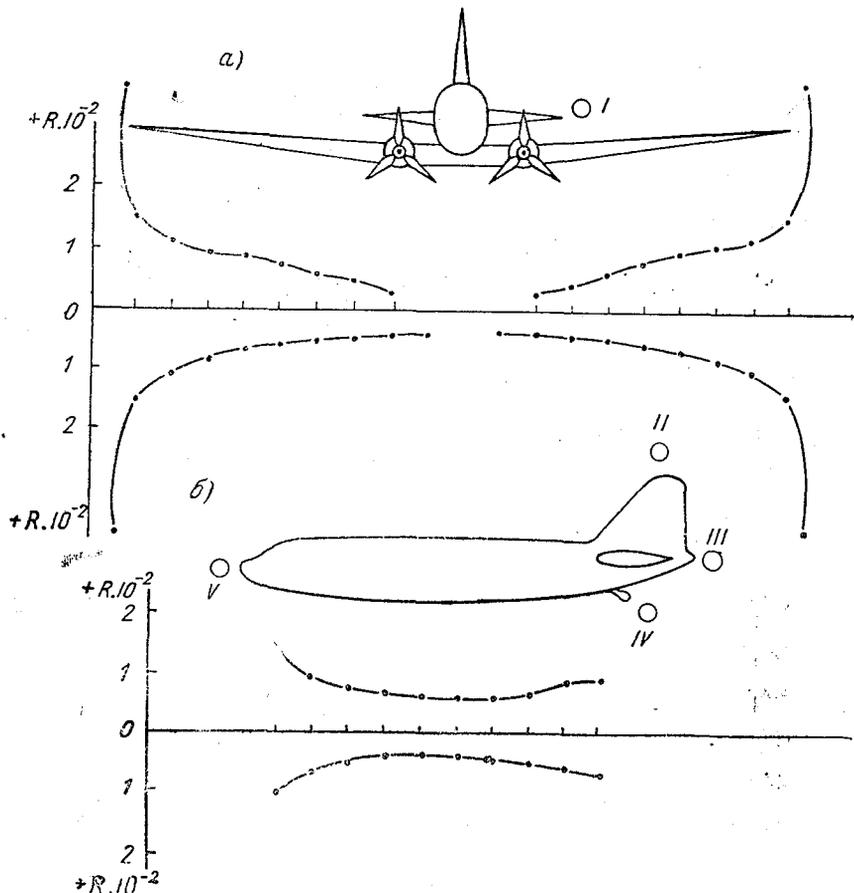


Рис. 1. Распределение собственного заряда по поверхности самолета.

У кружков показаны значения  $R$  в крайних точках.

$I - R = 3,71 \cdot 10^{-2}$ ,  $II - R = 3,2 \cdot 10^{-2}$ ,  $III - R = 2,38 \cdot 10^{-2}$ ,  $IV - R = 1,72 \cdot 10^{-2}$ ,  $V - R = 2,0 \cdot 10^{-2}$ .

с малым радиусом закругления шарик снимает меньшую долю заряда, чем на плоскости. Заряд самолета обычно составляет около  $10^5 - 2 \cdot 10^5$  э.с.е. при полетах в кучевой облачности и в ливневых осадках (как жидких, так и твердых). Это означает, что напряженность поля даже в средней части фюзеляжа может составлять около 300—600 в/см, а на острых выступающих частях самолета она будет превышать 6000—12 000 в/см, напряженности поля такой величины достаточно для возникновения коронного разряда с поверхности самолета. Этот коронный разряд препятствует дальнейшему возрастанию заряда самолета, ограничивая его приведенными значениями.

**б. Распределение индуцированного заряда на поверхности самолета, находящегося в вертикальном поле.** На рис. 2 дано распределение коэффициентов поля вдоль поверхности фюзеляжа по оси симметрии самолета: *а* — вдоль верхней части фюзеляжа, *б* — вдоль нижней части фюзеляжа. Как видно из рисунков, значения  $R$  мало зависят от места размещения приборов. На рис. 2 особо

отмечены значения  $R$  в местах размещения датчиков — приборов для измерения напряженности поля на поверхности самолета. Конструкция самолета не позволяет разместить датчики для измерения горизонтальных составляющих поля на нейтрале для вертикального поля и поэтому влияние поля сказывается на показаниях обоих приборов, измеряющих горизонтальные составляющие. На рис. 3 а дано распределение  $R$  вдоль верхней поверхности крыльев, а на рис. 3 б — вдоль нижней их поверхности. Из рисунка видно, в частности, что эти значения не равны

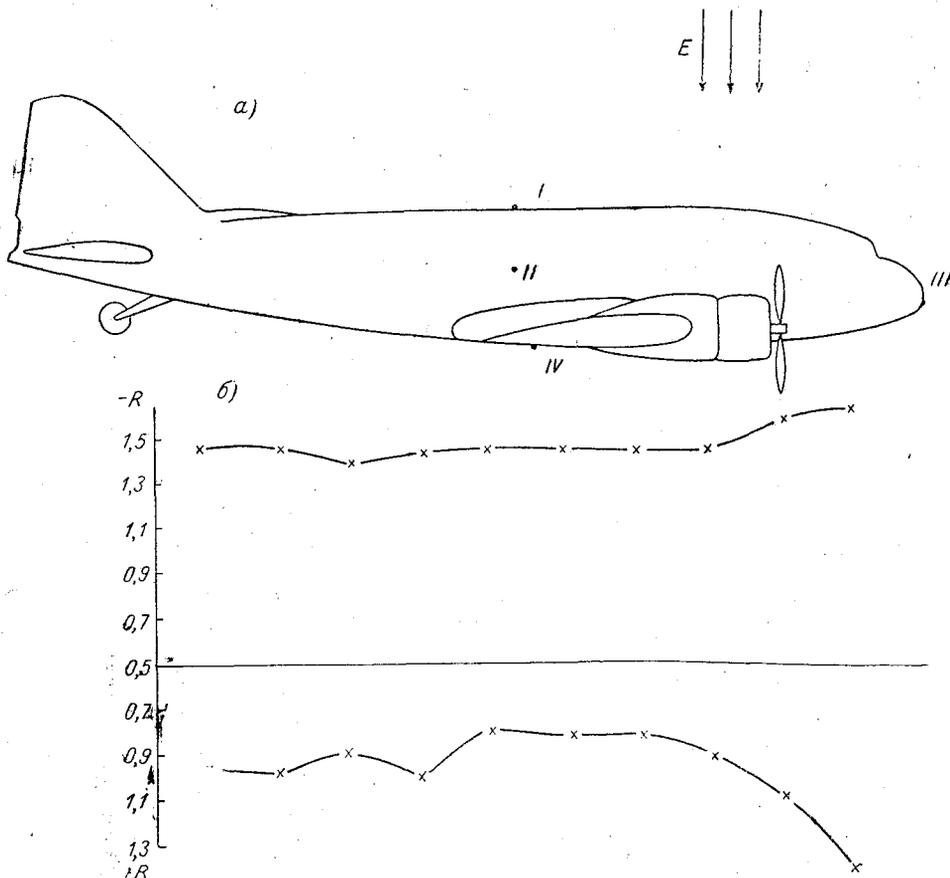


Рис. 2. Распределение индуцированного заряда по поверхности самолета, находящегося в вертикальном электрическом поле.

I — верхний датчик ( $R = 1,57$ ), II — боковой датчик ( $R = 0,46$ ), III — носовой датчик ( $R = 1,47$ ), IV — нижний датчик ( $R = 0,82$ ).

для точек, лежащих друг под другом, и весьма сильно отличаются от значений  $R = 0,5$ , принятых Гишем и Уайтом в их работе [3]. Поэтому данные, приводимые в [3], являются неверными и нуждаются в серьезном пересмотре. Наконец, на рис. 4 а и б даны значения  $R$  в отдельных точках самолета, отмеченных кружками. Как видно из рис. 4,  $R$  на костыле может достигать значений 35,4, а на вершине киля  $R = 61,2$ . Так как при полетах в ливневых осадках и вблизи грозных облаков напряженность вертикальной составляющей поля часто превышает 100 в/см, то в отмеченных точках уже может начаться коронирование, особенно если учесть, что в одной из этих точек поле от заряда самолета должно сложиться с полем от зарядов, индуцированных полем атмосферы.

**в. Распределение индуцированных зарядов на поверхности самолета, находящегося в горизонтальном поле, направленном вдоль фюзеляжа самолета.** Распределение коэффициентов вдоль плоскости симметрии самолета дано на рис. 5 а (распределение вдоль верха фюзеляжа самолета) и на рис. 5 б

(распределение внизу фюзеляжа). Пересечение кривой, дающей распределение  $R$  вдоль самолета, с осью  $x$  показывает место прохождения нейтрали и, следовательно, место размещения соответствующего датчика прибора напряженности поля. Пунктиром показано прохождение нейтрали для изучаемой горизонтальной составляющей поля. На носу самолета  $R = 14,4$ . Так как горизонтальная составляющая поля может достигать весьма значительных величин, зачастую превышающих значения вертикальной составляющей, то и поле вдоль фюзеляжа может вызвать коронирование самолета. В табл. 1 приведены значения вертикальной ( $E_{\text{верт}}$ ), горизонтальной, направленной вдоль фюзеляжа ( $E_{\text{ф}}$ ), и горизонтальной, направленной вдоль крыльев ( $E_{\text{бок}}$ ), составляющих напряженности поля, измеренных 25/X 1951 г. при полете в слоистых облаках. В первом столбце отмечена высота самолета в метрах. Нижняя граница облаков лежала на высоте 340 м. Как видно из таблицы, горизонтальные составляющие поля в атмосфере могут превышать вертикальные в десятки раз.

**г. Распределение индуцированных зарядов на поверхности самолета, находящегося в горизонтальном поле, направленном вдоль крыльев самолета.** Распределение коэффициентов вдоль верхней поверхности крыльев дано на рис. 6. На конце крыла напряженность поля возрастает по сравнению с напряженностью поля в атмосфере, направленной вдоль крыльев, в 58 раз. Даже в относительно слабых горизонтальных полях можно ожидать появление коронирования. При полетах, например, вблизи гро-

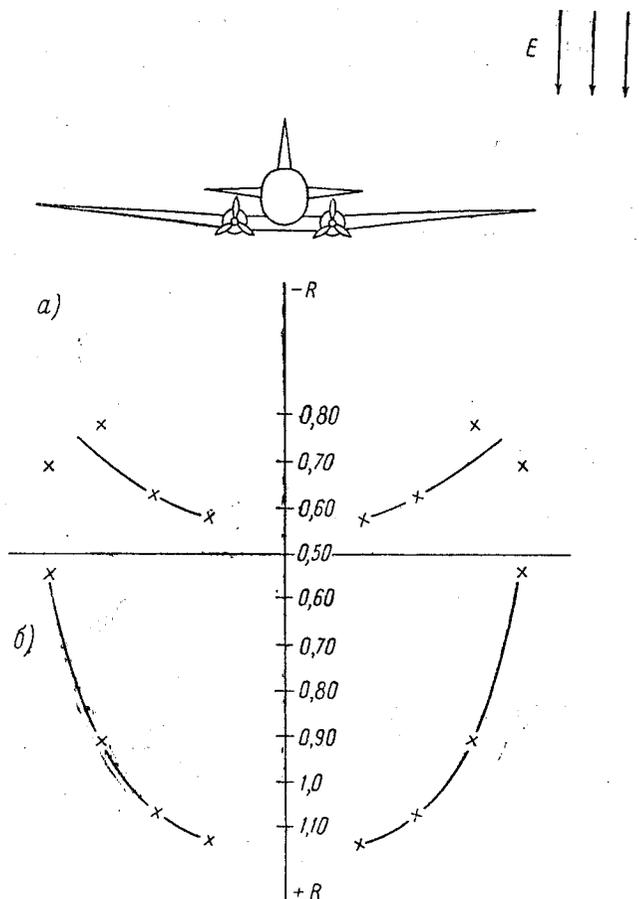


Рис. 3. Распределение индуцированного заряда по поверхности самолета, находящегося в вертикальном электрическом поле.

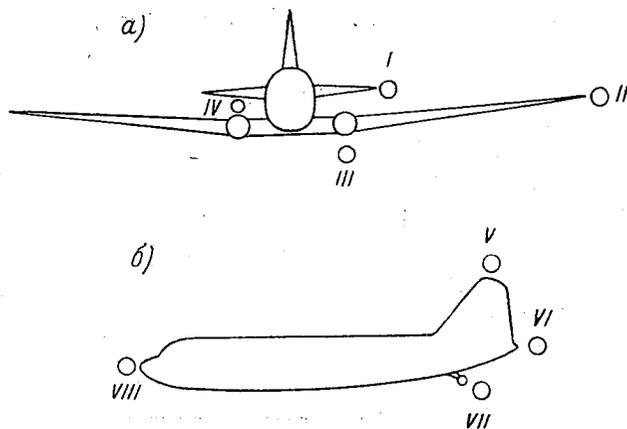


Рис. 4. Значения  $R$  для отдельных точек самолета, находящегося в вертикальном электрическом поле.

$I - R = -0,62$ ,  $II - R = 0,08$ ,  $III - R = -2,41$ ,  $IV - R = -0,54$ ,  
 $V - R = -61,2$ ,  $VI - R = 0,27$ ,  $VII - R = 35,4$ ,  $VIII - R = 1,47$ .

зовых и ливневых облаков, помехи радиоприему могут возникать, таким образом, не за счет заряжения самолета, а за счет действия электрического поля. Так как принятая методика измерения дает в заостренных точках пониженное значение

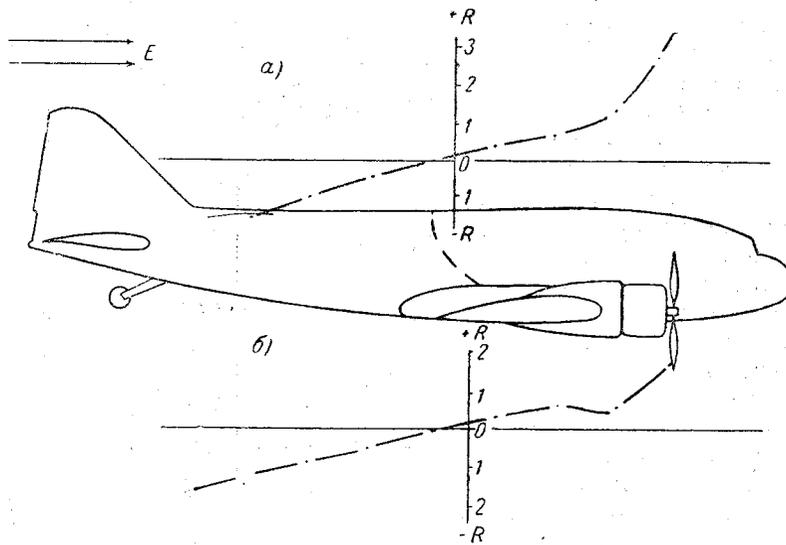


Рис. 5. Распределение индуцированных зарядов на поверхности самолета, находящегося в горизонтальном поле, направленном вдоль фюзеляжа.

Пунктиром обозначена нейтральная линия.

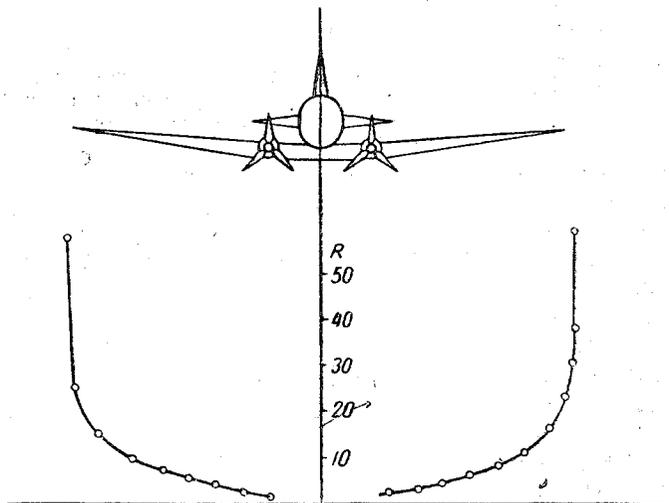


Рис. 6. Распределение индуцированных зарядов на верхней поверхности крыльев самолета, находящегося в горизонтальном поле, направленном вдоль крыльев самолета.

коэффициентов (пробный шарик при касании уменьшает кривизну поверхности в точке измерения), можно ожидать, что на самолете коэффициенты искажения в крайних точках будут еще большими.

Таблица 1

$H_m$	$E_{\text{верт}}$ в/см	$E_{\text{ф}}$ в/см	$E_{\text{бок}}$ в/см	$H_m$	$E_{\text{верт}}$ в/см	$E_{\text{ф}}$ в/см	$E_{\text{бок}}$ в/см
250	1,9	3,85	- 3,33	530	-0,82	13,57	-12,6
270	0,7	6,77	- 5,13	550	-0,82	14,6	-11,66
270	1,35	9,05	- 5,10		-0,82	13,9	-12,4
300	1,13	9,48	- 4,69		-0,14	15,6	-12,25
320	1,32	10,77	- 4,78	560	0,45	14,35	-11,23
330	1,22	10,75	- 4,84	570	0,26	—	—
340	0,32	10,4	- 5,3	580	0,78	14,0	-12,0
350	-0,03	10,51	- 5,4	590	0,4	14,23	-11,88
	0,91	8,78	- 5,06	600	0,4	12,83	-11,64
360	2,27	9,08	- 4,71	610	0,24	12,81	-13,77
370	2,08	13,79	- 4,24	630	-1,55	15,45	-13,85
380	-0,84	12,79	- 5,65	640	1,16	13,29	-12,6
390	-0,57	11,29	- 5,98	650	0,02	14,46	-10,77
400	1,04	12,16	-10,54	670	-1,77	—	—
410	2,59	12,2	- 9,3	690	-0,9	15,38	-П,39
420	2,1	11,31	-10,4	750	-2,42	—	—
430	1,21	12,55	-12,2	770	-1,64	11,16	-11,0
	0,86	12,42	-11,88	780	-1,96	12,16	-11,22
	0,56	12,33	-11,28	790	-1,26	10,92	-10,62
490	1,18	14,27	- 9,27	800	-2,59	14,79	- 7,15
	-0,14	13,5	-13,07	850	-0,59	15,88	- 6,45
500	-0,14	15,6	-12,11	870	-1,62	10,77	- 2,05
	1,21	15,35	-11,95	880	-1,59	5,4	- 0,65
	1,43	11,08	-11,48	900	-2,59	15,88	- 0,45
	1,16	12,43	-13,08	910	-2,59	4,96	- 0,69
	-0,44	14,1	-12,72				

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Точность описанных измерений зависит от целого ряда факторов: точности воспроизведения в модели конфигурации самолета, однородности искусственного поля, разброса точек, которых касаются шариком, искажения пробным телом (шариком) распределения зарядов в точке касания.

Если для мест поверхности с большим радиусом кривизны эти ошибки могут быть сделаны достаточно малыми и отсутствие резких изменений коэффициентов от точки к точке (см. рис. 1, 2, 4, 5 и 6) позволяет провести измерения с ошибкой, составляющей сотые доли от измеряемой величины, то для мест поверхности с малым радиусом кривизны, например в носовой части самолета, ошибка иногда доходит до 30%. Такая значительная ошибка может существенно сказаться на результатах измерения полей и зарядов. В этом случае рекомендуется измерения распределения зарядов на модели дополнить измерением распределения зарядов на самолете. Можно на самолете, оборудованном приборами для измерения напряженности поля, выбрать зону полета, где электрическое поле атмосферы достаточно мало и устойчиво (не превышает, скажем, 0,1 в/см). Далее, искусственно заряжая самолет, например, с помощью выпуска углекислоты из баллона под большим давлением, можно измерить отношение коэффициентов для различных датчиков. Поскольку коэффициенты для датчика, расположенного снизу фюзеляжа, определяются при модельных измерениях наиболее точно, то все остальные коэффициенты проверяются по отношению к ним.

2. Как показывают измерения, условия коронирования на самолете всецело определяются конструкцией последнего. Даже если снять с самолета антенны и другие выступающие части, то все же самолет может коронировать при полете в облаках, осадках и вблизи грозных облаков. Установка обычных применяемых разрядателей часто может не достигать цели, так как разрядатель, помогая стекать собственному заряду самолета, не препятствует коронированию под дей-

ствием внешнего поля. Борьба с электростатическими помехами на самолете может вестись только на основе детального изучения влияния формы самолета на условия коронирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Имянитов И. М. Измерение элементов атмосферного электричества. Глава из книги В. Н. Кедрованский и М. С. Стернзат — Метеорологические приборы. Гидрометеопиздат, 1953.
  2. Имянитов И. М. Измерение горизонтальной составляющей электрического поля в атмосфере. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., т. XIII, (№ 4), 320—330, 1943.
  3. Gish O. and Wait G. Thunderstorms and the Earth's General Electrification. Journal Geophys. Res. vol. 55, № 4, 473—484, 1950.
-

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИБОРА НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА ОСАДКОВ

Для изучения электрических характеристик облачности, особенно грозовой, а также электрических характеристик осадков большое значение имеет измерение заряда, приносимого осадками к земной поверхности.

Для этих целей в последнее время находят применение динамические электрометры (см., например, [1]). Нами в летний сезон 1954 г. на базе Главной геофизической обсерватории (ГГО) был использован прибор для измерения напряженности поля (ПНП), разработанный И. М. Имянитовым и В. В. Михайловской [2].

Плоская измерительная пластина  $I$  соединена через сопротивление  $R$  с землей (рис. 1 а). С помощью вращающегося заземленного экрана  $2$  пластинка  $I$  может попеременно или экспонироваться в поле  $E$ , или быть закрытой от него. По сопротивлению  $R_1$  потечет ток  $i$ , пропорциональный полю  $E$ .

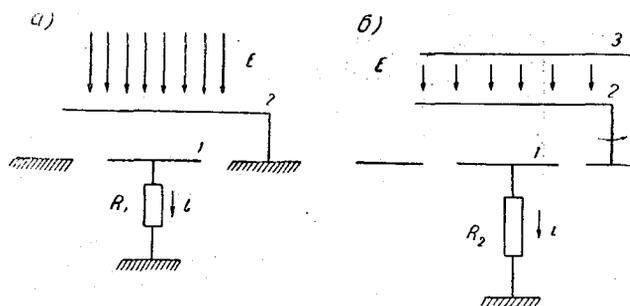


Рис. 1. Измерительная пластина, экспонируемая во внешнем поле (а), и в поле, создаваемом градуировочной пластиной (б).

Полученное на сопротивлении  $R_1$  напряжение усиливается и выпрямляется ламповой схемой, а затем измеряется.

Поле  $E$  может быть естественного происхождения, как, например, при измерении электрического поля атмосфера—земля, но может быть и искусственным, как это делается при градуировке прибора, когда дополнительно на некотором расстоянии (порядка 1—2 см) от пластины  $I$  помещается пластина  $3$ , на которую подается потенциал от батарей (рис. 1 б).

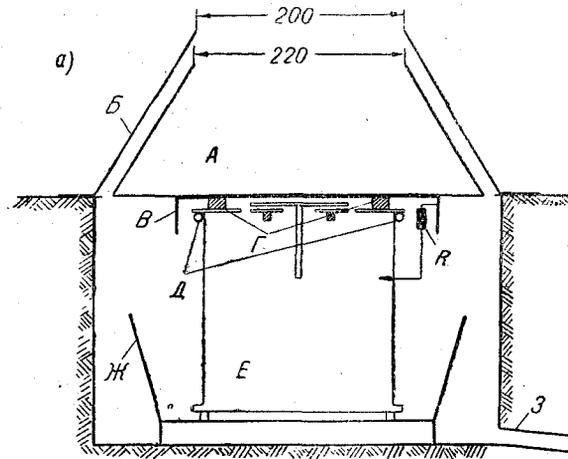
В нашем случае пластина  $3$  была соединена с землей через высокоомное сопротивление  $R_2$  порядка  $10^{11}$  ом. Заряд осадков, выпадающих на пластину  $3$ , стекая по сопротивлению  $R_2$  в землю, создавал на этом сопротивлении некоторое падение напряжения. Таким образом, пластина  $3$  находилась под потенциалом относительно пластины  $I$ , что обеспечивало наличие поля  $E$  между пластинами  $3$ — $I$ .

Конструктивно прибор состоит из следующих частей (рис. 2 а): сосуда  $A$ , служащего для улавливания дождевых капель (сосуду придана такая форма, которая предохраняет от выноса из него зарядов при разбрызгивании капель внутри сосуда); заземленного экрана  $B$ , служащего для того, чтобы предохранить улавливающий сосуд от заряжения его при разбрызгивании капель, когда они падают с внешней стороны сосуда, а также чтобы уменьшить влияние изменений внешнего поля; вспомогательной платы  $B$  с полистироловыми изоляторами  $\Gamma$ ; сопротивле-

ния  $R$ , с помощью которого на вспомогательной плате создается потенциал; обогревателя  $D$ , служащего для подсушки полистироловых изоляторов.

Внешний вид установки и ее конструкция изображены на рис. 2 б).

Датчик прибора по измерению  $E$  помещен в яму и поставлен в защитный сосуд  $Ж$  (рис. 2 а), предохраняющий установку (главным образом, изоляторы



б)

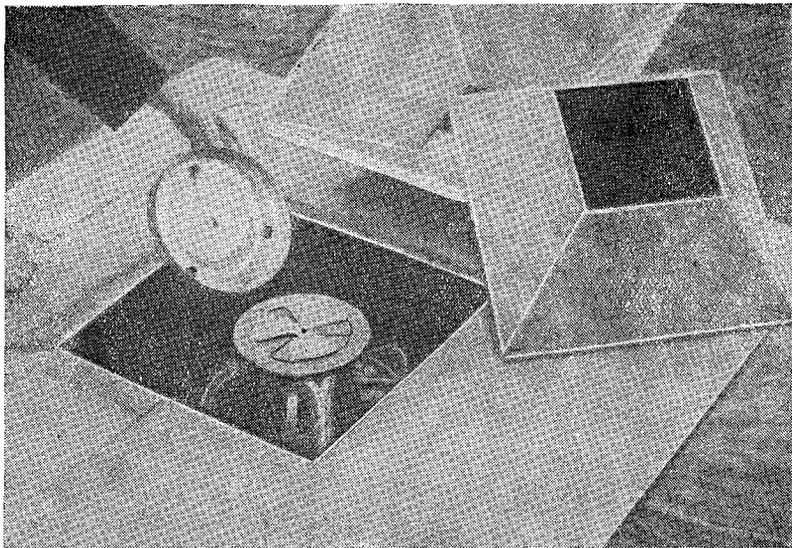


Рис. 2. Схема (а) и внешний вид (б) прибора для измерения тока осадков.

и сопротивление) от брызг, возникающих в яме во время сильного дождя. Отчасти той же цели служит и вспомогательная плата, к внутренней стороне которой прикреплены с помощью шеллака полистироловые изоляторы и припаяно сопротивление.

Вспомогательная плата (в виде неглубокой банки) ставится на датчик прибора по измерению  $E$  так, чтобы размещенные на внутренней стороне ее три изолятора опирались на охранное кольцо датчика.

Сопротивление  $R$  (в нашем случае  $R = 1,36 \cdot 10^{11}$  ом) свободным концом присоединяется к заземленному корпусу датчика с помощью штырька или клеммы.

На вспомогательную плату ставится приемный сосуд трапециевидного сечения с квадратным дном. Квадратное верхнее отверстие имеет размеры  $22 \times 22$  см<sup>2</sup>. Поверх приемного сосуда надевается экран такой же формы, как сосуд, но несколько больших размеров (и без дна). Экран опирается на борта ямы. Так как борта ямы легко осыпаются, на них укладывали предварительно лист железа с вырезом в виде квадрата по размерам ямы. Верхнее отверстие экрана  $20 \times 20$  см<sup>2</sup> является той рабочей площадью, через которую капли дождя попадают в приемный сосуд.

Вспомогательная плата может показаться на первый взгляд лишним звеном в установке. (Изоляторы и сопротивление могли быть прикреплены непосредственно к дну приемного сосуда). На самом же деле в работе вспомогательная плата оказывается необходимой и применение ее оправдало себя. Дело в том, что, помимо указанной выше роли предохранения изоляторов и сопротивления от брызг, вспомогательная плата позволяет в любой момент без затруднения снять изоляторы с установки и внести их в помещение для осмотра, промывки и просушки.

Горизонтальные размеры изоляторов в установке были:  $D = 1$  см, они обусловлены лишь шириной охранного кольца датчика. Вертикальные же размеры изоляторов желательно делать наименьшими, поскольку их высота связана (обратно) с чувствительностью прибора. (Это следует из теории прибора).

Для того чтобы изоляторы не теряли свои изоляционные свойства во время самого измерения, что при длительных дождях происходит неизбежно, в установку устроен специальный обогреватель. Обогреватель представляет собой обыкновенную спираль (для плитки), обернутую по всей длине асбестовой лентой и помещенную в таком виде в экранирующую гибкую трубку. Трубка со спиралью огибает датчик под охранным кольцом. Подводка напряжения на спираль осуществляется специальным экранированным шлангом. Напряжение на спираль регулируется посредством автотрансформатора (находящегося в помещении).

Для предварительной просушки прибора мы обычно подавали не более 80 в (спираль для плитки 220 в). При работе достаточно было держать напряжение на спирали не более 40—50 в. Во все время работы установки с обогревателем сопротивление изоляции сохранялось на высоком уровне ( $10^{15} - 10^{14}$  ом). На выходе прибора был включен самописец СГ-17.

Образцы регистраций описанным прибором токов осадков приведены на рис. 3.

Как видно из рассмотрения рисунка, этим методом можно измерять не только осредненные значения токов, которые несут осадки, но и в какой-то мере оценить вариации этих токов.

Остановимся коротко на упрощенной теории прибора.

При наличии емкости  $C$  между улавливающим сосудом (или пластиной) и землей ток, который течет по сопротивлению  $R$ , будет определяться равенством

$$i = \frac{V}{R} + C \frac{dV}{dt}. \quad (1)$$

Для простоты исследования влияния емкости системы на регистрацию тока осадков возьмем вертикальный ток косинусоидальной формы

$$i = i_0 \cos \omega t. \quad (2)$$

Тогда (1) можно переписать в виде

$$\frac{dV}{dt} + \frac{1}{RC} V = \frac{i_0}{C} \cos \omega t. \quad (3)$$

Решение этого дифференциального уравнения будет

$$V = \frac{i_0 R}{\sqrt{1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2}}} \cos(\omega t - \varphi) - \frac{i_0 R}{1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2}} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (4)$$

где  $\varphi = \arctg 2\pi RC \frac{1}{T}$ ,  $T$  — период колебаний.

Таким образом, вследствие наличия емкости  $C$  амплитуда напряжения будет уменьшаться пропорционально множителю

$$\frac{1}{\sqrt{1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2}}} \quad (5)$$

В зависимости от того, с какими по периоду вариациями мы предполагаем измерять токи осадков, следует выбирать значения  $RC$ . Нужно отметить, что в выборе  $R$  мы ограничены малыми величинами токов, которые дают осадки (порядка  $10^{-13} - 10^{-16}$  а/см<sup>2</sup>), т. е. вынуждены применять высокоомные сопро-

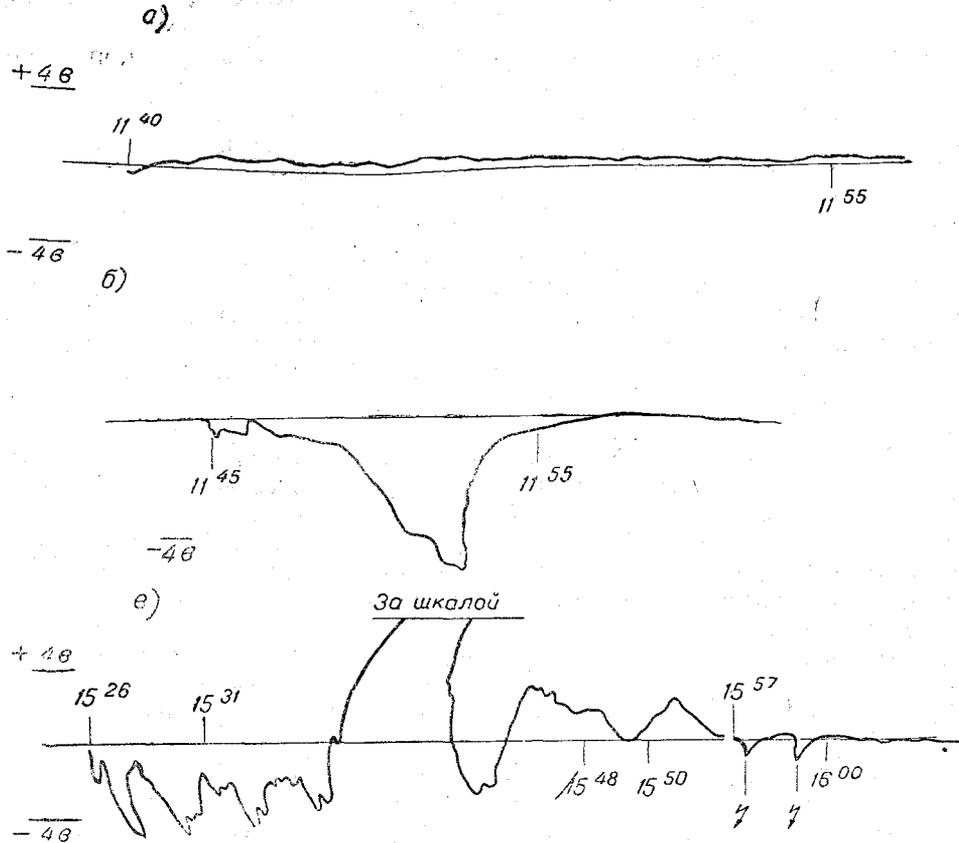


Рис. 3. Образцы записей:

*a* — слабого ливневого дождя 1/X 1954 г., *б* — сильного ливневого дождя 28/IX 1954 г., *в* — сильного ливневого дождя во время грозы 22/IX 1954 г.

тивления (порядка  $10^{10} - 10^{11}$  ом) для того, чтобы использовать прибор ПНП для этих целей.

Что касается  $C$ , то оно очевидно зависит от конфигурации улавливающего сосуда. При слишком большой емкости прибор будет неправильно записывать колебания тока осадков.

Ориентировочные значения емкости при конструировании прибора могут быть найдены из табл. 1 и 2, дающих величины

$$i_0 R (1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2})^{-\frac{1}{2}}$$

и

$$i_0 R (1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2})^{-1} \text{ в процентах от } i_0 R.$$

Методика обработки регистраций (рис. 3), т. е. определение величины зарядов, приносимых осадками за тот или иной интервал времени, состоит в следующем:

пусть за время  $dt$  к измерительной системе (улавливающий сосуд) притекает заряд  $dQ$ ; этот заряд идет частично на повышение потенциала проводящей системы  $Cdv$  ( $C$  — емкость проводящей системы,  $dv$  — изменение потенциала улавливающего сосуда), а частично стекает через сопротивление  $R$  в землю ( $\frac{v}{R} dt$ ); следовательно,

$$dQ = Cdv + \frac{v}{R} dt$$

и

$$Q = C(v_1 - v_0) + \frac{\bar{v}}{R} (t_1 - t_0).$$

Таблица 1

$$i_0 R (1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2})^{-1/2} \text{ в } \% \text{ от } i_0 R$$

RC	Период колебаний				
	1 сек.	10 сек.	1 мин.	3 мин.	10 мин.
1	15,7	84,8	100	100	100
10	1,6	15,7	69	94,4	100
50	0,32	3,2	18,7	49,7	100
100	0,17	1,7	9,0	27,6	67,2
200	0,08	0,8	4,5	14,2	41,2
500		0,3	1,9	5,7	17,8

Таблица 2

$$i_0 R (1 + 4\pi^2 R^2 C^2 T^{-2})^{-1} \text{ в } \% \text{ от } i_0 R$$

RC	Период колебаний				
	1 сек.	10 сек.	1 мин.	3 мин.	10 мин.
1	2,5	72	100	100	100
10	0,4	2,5	47,6	89	100
50	0,09	0,11	3,5	25	100
100			0,83	13,1	45,1
200				2,0	17,0
500				0,3	3,2

Таким образом, мы можем получить количество электричества, приносимого осадками за время от  $t=t_0$  до  $t=t_1$ , причем  $\bar{v}$  — средний потенциал, наблюдаемый за время от  $t=t_0$  до  $t=t_1$ .

К достоинствам описываемого прибора можно отнести то, что он устойчиво работает длительное время в различных метеорологических условиях, не предъявляет больших требований по уходу и позволяет производить непрерывную запись.

В заключение приводим результаты некоторых измерений тока осадков, произведенных нами в 1954 г. по изложенной методике (табл. 3).

Таблица 3

Число	Время (час. мин. сек.)	Продолжи- тельность дождя (мин. сек.)	Знак заряда дождя	Средний ток осадков в $10^{-15}$ а/см <sup>2</sup>	Характер дождя
1/IX	10 30	4 00	—	16	Умеренный ливневой дождь, переходящий в слабый
	34	07	+	2	
	34 07	1 00	∇	5	
	35 07	7 53	+	11	Сильный ливневой
	12 14	6 00	+	30	
	13 32	3 30	—	3	Слабый ливневой
	36	12 36	+	6	то же
	14 59	4 36	+	7	"
	15 05 24	4 42	—	22	"
	16 13 41	3 16	+	5	Морось
17	30	00	—	1	"
17 30	4 00	+	6	"	
13/IX	13 10	2 48	+	22	Слабый ливневой
	12 48	2 48	—	41	Слабая гроза
	15 15 36	4 18	+	17	то же
	15 34 40	15 40	—	5	Слабый ливневой дождь
	34 40	15 50	+	69	то же
	50 30	1 00	—	13	"
51 30	3 00	+	26	"	
16/IX	15 38	26	+	8	Ливневой дождь с градом
	38 26	32	—	27	Слабая гроза
	39	17	+	17	то же
	39 17	1 00	—	36	"
	15 40 17	6 07	+	42	"
	46 24	2 06	—	12	Слабый дождь
	48 32	1 15	+	2	то же
	49 15	1 43	—	2	"
22/IX	15 26	13 00	—	53	Ливневой дождь
	39 23	5 00	+	88	Сильная гроза
	44 23	2 28	—	34	то же
	47	10 00	+	22	"

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бовшеверов В. М. Труды геофизич. института АН СССР, № 14 (141), 1952.
2. Кедролыванский В. Н. и Стернзат М. С. Метеорологические приборы. Гидрометеоздат, 1953, стр. 403.

## КОМБИНИРОВАННЫЙ СЧЕТЧИК АТМОСФЕРНЫХ ИОНОВ

Для измерения плотности ионов в атмосфере применяется в основном аспирационный метод.

Первые аспираторы были сконструированы Гердиеном [1] и Эбертом [2].

Прибор Гердиена используется для измерения проводимости воздуха. Аспиратор Эберта является наиболее распространенным счетчиком, употреблявшимся для измерения плотности легких ионов. Им пользовались до последнего времени повсюду, в том числе и в Советском Союзе. Но эти приборы, и в особенности прибор Эберта, обладают весьма существенными недостатками:

1. Применение в них метода разряда затрудняет использование высокочувствительных электрометров.

2. Изменение объемной скорости воздушного потока в вышеупомянутых приборах неосуществимо с необходимой точностью.

3. Счетчик Эберта улавливает, как и всякий другой, вместе с легкими ионами и некоторое количество тяжелых ионов, поэтому для определения истинной плотности легких ионов  $n$  требуется применять особые методы; однако их применение, в частности метода Баранова [3], практически невозможно, так как за продолжительное время, потребное для проведения одного наблюдения, плотность ионов в атмосфере может существенно измениться (Израель [4]).

В 1914 г. Сванн [5], [6] сконструировал счетчик легких ионов типа Эберта, в котором он использовал метод зарядки внутреннего электрода. Это дает возможность применить высокочувствительные электрометры и, следовательно, заметно сократить время аспирации, однако, приводит к необходимости устранения искажающего влияния краевого эффекта, имеющего большое значение при методе зарядки внутреннего электрода; для этого Сванн сконструировал защитное приспособление, так называемую „защиту Сванна“.

Отличный от вышеупомянутого счетчик молионов сконструирован Вегером [7] в 1935 г. Здесь используется метод зарядки внешнего электрода, который соединен с электрометром, тогда как внутренний электрод соединен с источником напряжения. При этом влияние краевого эффекта почти устранено. Из недостатков этого прибора следует отметить следующие:

Измерительная система обладает большой „вредной емкостью“. Ввиду большой общей емкости и слабого потока воздуха ( $\sim 100$  см<sup>3</sup>/сек.) время аспирации, несмотря на высокую чувствительность электрометра, относительно продолжительно. Закрепление внешнего электрода на янтарных кольцах связано с возможностью появления дефектов изоляции при работе с прибором.

Наряду с этими основными типами счетчиков легких ионов были предложены другие конструкции счетчиков: Гиша [6], Фундера — Рессигера [8], Грейнахера — Клейна [9], Григера [10] и других, которые представляют собой разновидности того или иного из вышеприведенных типов.

Счетчики тяжелых ионов также были сконструированы многими авторами, начиная с Ланжевена. Некоторые из счетчиков подробно описаны М. Н. Герасимовой [11].

Наиболее распространенными были до сих пор счетчики Израеля [12]. Сконструированный Израелем [4] счетчик тяжелых ионов оставался долгое время единственным в своем роде. Существенным недостатком счетчиков тяжелых ионов является трудность устранения влияния краевого эффекта. Возникающие от этого погрешности подробно проанализированы многими исследователями: Израелем [13, 14], Ио Итивара [15], Шольцем [16] и др.

Источником погрешностей во многих приборах является также подача исследуемого воздуха в счетчик по слишком длинным и узким, а иногда даже изогнутым трубам. На этот недостаток обращали мало внимания [17].

Были построены также и комбинированные счетчики. Так называются счетчики, с помощью которых можно последовательно измерять плотность ионов от легких до ультратяжелых, используя при этом один и тот же электрометр, но заменяя один электрод в конденсаторе другим и изменяя соответственно напряжение на конденсаторе  $U$  или объемную скорость  $\Phi$  воздуха.

Все известные автору комбинированные счетчики, в том числе и спроектированный в Советском Союзе и описанный Герасимовой [11], обладают недостатками, которые не позволяют при исследованиях ионного спектра достаточно быстро переходить от измерений плотности ультратяжелых ионов к измерению плотности наиболее быстрых ионов ( $k \geq 1,0$  см<sup>2</sup>/сек. в).

Ниже описывается счетчик легких и тяжелых ионов, построенный нами и используемый для исследования ионизационного состояния атмосферы.

На рис. 1 приведена схема счетчика легких ионов.

Внутренний электрод 4 конденсатора изолирован от заземленного корпуса (электростатической защиты) с помощью двух

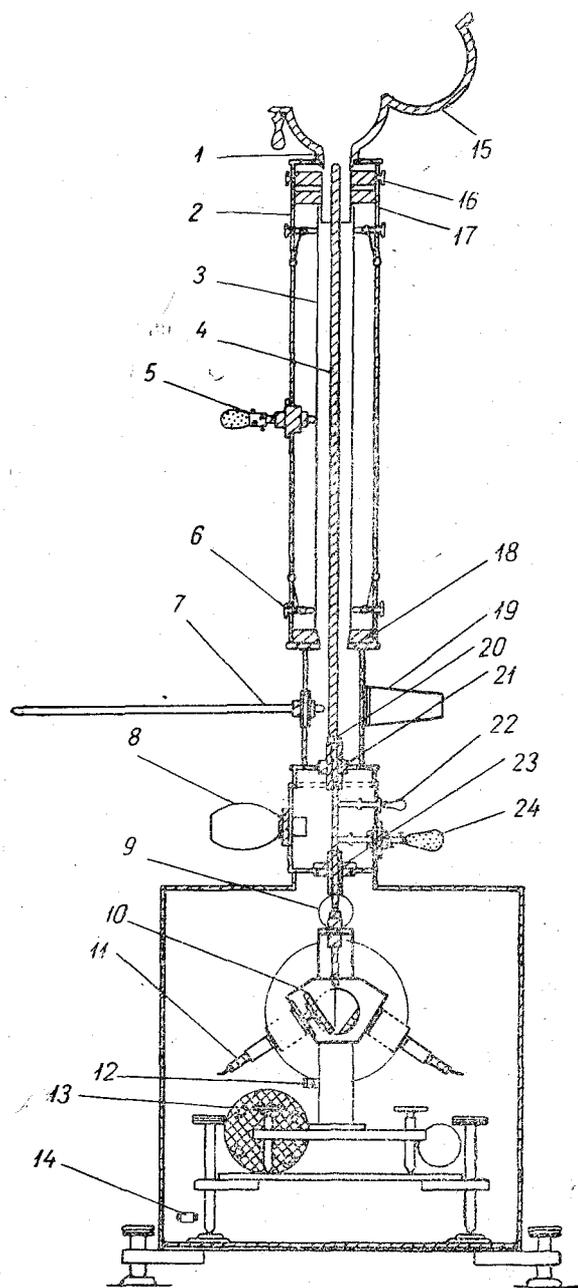


Рис. 1. Схема счетчика легких ионов.

янтарных изоляторов 21 и 23, окруженных в свою очередь кольцами из эбонита. Напряжение на внешний электрод 3 подается через пружинный контакт 15. Пружинный контакт проходит сквозь янтарный изолятор, помещенный в эбонитовое кольцо, которое прикреплено винтами к заземленному корпусу.

При использовании метода зарядки внешнего электрода (по Вегеру) последний должен быть тщательно изолирован. В описываемом аппарате внешний электрод, центрированный шестью янтарными цилиндрами 6, лишь касается их в шести точках.

При желании производить измерения с помощью описываемого счетчика по методу разрядки снимается с внутреннего электрода предохранитель Сванна 2.

В своей работе мы применяли счетчик, сконструированный, как счетчик Сванна. Необходимый для этого высокочувствительный электрометр был также спроектирован автором и изготовлен вместе со счетчиком в учебно-опытной мастерской Тартуского государственного университета (ТГУ).

Между камерой электрометра и цилиндрическим конденсатором находятся две камеры. Из боковой пластинки верхней камеры выходит металлическая выводная труба в виде усеченного конуса 19, на которую натягивается резиновая трубка, ведущая в ротаметр. Сквозь противоположную пластинку проходит термометр 7, показывающий температуру просасываемого воздуха в счетчике. Температура воздуха имеет важное значение при определении числа Рейнольдса.

К камере электрометра прикреплена другая камера в виде куба из латунных пластинок. Через одну из боковых граней куба можно заземлять (соединить с заземленной электростатической защитой) электрод при помощи штифта 22. Через ту же грань можно при помощи изолированного от корпуса контакта 24 сообщать внутреннему электроду напряжение от потенциометрически включенного аккумулятора ( $\pm 2$  в). Это дает возможность проверить чувствительность электрометра до и после каждого измерения.

К камере электрометра и укрепленному на ней кубу, к которому прикреплены главные изоляторы внутреннего электрода, можно присоединить стеклянный сосуд 8, в котором помещается гигроскопическое вещество.

Для предотвращения образования вихрей поток воздуха направляется в предохранитель Сванна 2 сквозь трубку 1, имеющую обтекаемую форму осевого разреза.

При сотрясениях аппарата верхнее эбонитовое кольцо 16 защищает предохранитель Сванна от соприкосновения с находящимся под напряжением внешним электродом. Другое, находящееся выше первого эбонитовое кольцо 17, внутреннее отверстие которого окружено расположенными четырехугольником янтарными полуцилиндрами, защищает тот же предохранитель при сотрясениях от соприкосновения с вышеупомянутой трубкой, присоединенной к заземленному корпусу.

Чтобы быть уверенным, что в самом узком месте [ $R = (1,254 \pm 0,003)$  см,  $r = (0,296 \pm 0,001)$  см,  $\Phi = (667 \pm 10)$  см<sup>3</sup>/сек.], которое является критическим местом для ламинарного течения воздуха в счетчике, не возникает вихрей [13, 18 и 19], для проходящего сквозь него потока воздуха определено число Рейнольдса ( $Re$ ). Оно оказалось малым, что обеспечивает ламинарность потока.

В других частях счетчика  $R$  больше и  $Re$  там заметно уменьшается.

Размеры действующей части конденсатора (от нижнего края предохранителя Сванна до нижнего эбонитового диска) для счета легких ионов таковы:  $l = (37,2 \pm 0,1)$  см,  $R = (1,71 \pm 0,005)$  см и  $r = (0,296 \pm 0,001)$  см.

Тогда в случае, если объемная скорость  $\Phi = 667$  см<sup>3</sup>/сек., счетчик легких ионов при разности потенциалов на конденсаторе  $U_1 = \pm 5$  в и  $U_2 = \pm 50$  в может уловить все легкие ионы с подвижностью  $k_1 \geq 1,0$  см<sup>2</sup>/сек. в и  $k_2 \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в.

К счетчику легких ионов (рис. 1) с помощью скобы держателя 15 на его входном отверстии можно за несколько десятков секунд присоединить горизонтально расположенный цилиндрический конденсатор, опирающийся центром тяжести на металлическую ножку и предназначенный для измерений тяжелых и ультратяжелых ионов.

Внешний электрод большого конденсатора для счета тяжелых ионов [ $l = (113,0 \pm 0,1)$  см и  $R = (1,70 \pm 0,005)$  см] опирается концами на эбонитовые диски, помещенные в герметическую электростатическую защиту (рис. 2). Внутренний электрод [ $r = (1,27 \pm 0,005)$  см] опирается на изоляторы, помещенные на его

концах. Изоляторы состоят из двух эбонитовых дисков, отделенных друг от друга янтарным цилиндром. На внешний диск опираются три центрирующих винта, проходящих сквозь заземленный корпус (электростатическую защиту). Центрирование внутреннего электрода относительно внешнего производится при помощи соответствующих центрирующих секторов.

Перед большим конденсатором находится добавочный конденсатор, который улавливает из потока воздуха легкие ионы.

Внешний электрод добавочного конденсатора опирается на диски из фарфора и эбонита (фарфоровый диск помещен вблизи электроподогревателя изоляторов). Внутренний электрод заземлен посредством центрирующих винтов.

Перед добавочным конденсатором помещается в фарфоровой оболочке электроподогреватель, используемый для пропускания теплого воздуха через счетчик с целью просушки изоляторов. Просушка изоляторов производилась редко, так как изоляция счетчика служила безукоризненно.

При подсчете тяжелых ионов внутренний электрод большого конденсатора с помощью соответствующего приспособления соединяется с электрометром посредством внутреннего электрода счетчика легких ионов.

При измерении плотности тяжелых ионов необходимо заземлить внешний электрод счетчика легких ионов для предотвращения появления искажающих электрических полей.

Когда установка не работает, большой конденсатор помещается на счетчике легких ионов и наружное отверстие закрывается, чтобы внутрь аппарата не попадала пыль. Устранение последней оттуда производится усиленным просасыванием воздуха.

При указанных размерах конденсатора для счета тяжелых ионов,

разности потенциалов 282 в, объемной скорости  $\Phi = 684 \text{ см}^3/\text{сек.}$  и напряжении 21,7 в на добавочном конденсаторе в нем улавливаются ионы с подвижностью  $0,1 > k \geq 0,001$ ; а при той же разности потенциалов 282 в,  $\Phi = 171 \text{ см}^3/\text{сек.}$  и напряжении на добавочном конденсаторе 5,4 в — ионы с подвижностью  $0,1 > k \geq 0,00025$ .

Емкость измерительной системы счетчика тяжелых и легких ионов определялась двумя способами:

1) по принципу распределения заряда при помощи конденсатора Гердиена и 2) универсальным мостиком. Первый метод нецелесообразен, так как механические толчки, вызываемые присоединением внутреннего электрода к конденсатору Гердиена, обуславливают ошибочные показания электрометра.

Среднее значение из 170 отдельных измерений емкости прибора оказалось следующим:

при подсчете тяжелых ионов  $c = (236,2 \pm 0,8) \text{ см,}$   
 при подсчете легких ионов  $c = (38,7 \pm 0,2) \text{ см.}$

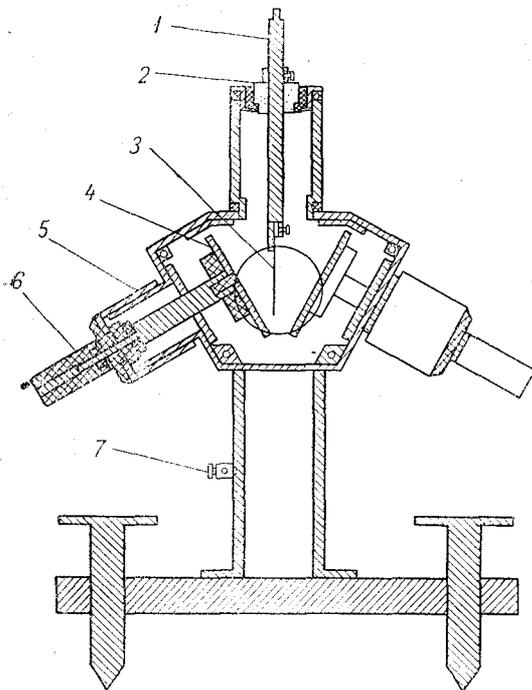


Рис. 3. Схема электрометра для счетчика ионов. 1 — держатель листочка электрометра (соединенный с внутренним электродом счетчика), 2 — изоляторы электрометра (янтарь), 3 — листок электрометра, 4 — пластинка с добавочным напряжением, 5 — микрометрические винты для регулировки положения пластинок добавочного напряжения, 6 — гнездо для включения добавочного напряжения, 7 — клемма заземления корпуса электрометра.

Электрометр для счетчика ионов был изготовлен в учебной мастерской ТГУ и оказался более пригодным, чем другие, имеющиеся сейчас в продаже. По существу он более всего похож на электрометр Бумстеда [20—22], от которого отличается способом изменения чувствительности и конструкцией. Его устройство видно на рис. 3 и не нуждается в дополнительном описании.

Отсчетный микроскоп („Мир-1“) может передвигаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях при помощи микрометрических винтов.

Для листков электрометра употреблялась золотая, алюминиевая или серебряная фольга. Для облегчения отсчета к концу листочка прикрепляется волосок стеклянной ваты, промытый в растворе хлористого кальция.

Электрометр становится еще чувствительнее, если фольгу заменить тонкой кварцевой нитью ( $\sim 10 \mu$ ), платинированной катодным распылением. Такую проводящую кварцевую нить прикрепляют ко внутреннему электроду сплавом Вуда.

Чувствительность электрометра можно изменять от нескольких делений до тысячи делений на вольт. Но слишком высокая чувствительность предъявляет большие требования к постоянству напряжения на пластинках электрометра (смещение нулевой точки) и напряжения конденсатора.

При измерении плотности ионов чувствительность 50—100 дел/вольт уже вполне достаточна, если время аспирации при отдельном измерении равно 3 мин.

Одним из основных преимуществ спроектированного электрометра является то, что в случае неправильного изменения напряжения конденсатора (без заземления внутреннего электрода) не надо опасаться разрушения нити электрометра от сильного индуцированного заряда.

Характеристическая кривая электрометра (дел/вольт) является достаточно линейной. Сообщаемое пластинкам напряжение ( $\pm 75$  в) достаточно низко.

Для измерения объемной скорости потока воздуха употреблялся ротаметр, изготовленный из конической стеклянной трубки, в которой в потоке воздуха может вертикально подниматься и опускаться конус, выточенный из легкого, но прочного материала (дюралюминий).

Таблица 1

Время наблюдения: 21/V 1951 г. от 19 час. 50 мин. до 20 час. 36 мин. Лист № 1852

Группа ионов	Подвижность (см <sup>2</sup> /сек. в)	Напряжение на конденсаторах (вольты)		Скорость потока воздуха (см <sup>3</sup> /сек.)	начальная нулевая точка	Отклонение листка электрометра			Изменение потенциала внутреннего электрода (Δφ) (милливольты)	Время начала отдельного наблюдения (час. мин.)	
		добавочный конденсатор	измерительный конденсатор			отсчет в конце минуты					конечная нулевая точка
						1-й	2-й	3-й			
$N_1^-$	$0,1 > k \geq 0,001$	-21,7	-282	$648 \pm 10$	0	5,2	10,4	15,6	-0,3	160	19 50
$N_2^-$	$0,1 > k \geq 0,00025$	-5,42	-282	$171 \pm 4$	0	1,3	2,6	3,9	0,0	44	19 55
$N_1^+$	$0,1 > k \geq 0,001$	21,7	282	$648 \pm 10$	0	4,5	8,2	11,4	+0,2	164	20 03
$N_2^+$	$0,1 > k \geq 0,00025$	5,42	282	$171 \pm 4$	0	2,4	4,0	6,8	+0,1	90	20 07
$n_2^-$	$k \geq 0,1$		-50	$667 \pm 6$	0	2,0	4,0	6,0	-0,2	66	20 14
$n_1^-$	$k \geq 1,0$		-5,0	$667 \pm 6$	0	1,0	2,0	3,1	+0,1	34	20 20
$n_2^+$	$k \geq 0,1$		50	$667 \pm 6$	0	2,2	4,0	6,1	0,0	82	20 27
$n_1^+$	$k \geq 1,0$		5,0	$667 \pm 6$	0,1	1,2	2,0	3,0	0,0	38	20 33

При помощи описанного комбинированного счетчика автор совместно с Х. З. Марраном производили измерения плотности ионов в Тарту (ЭССР). Измерения проводились с 1/VII 1950 г. по 1/I 1952 г. За это время было произведено более 25 000

отдельных визуальных измерений, некоторые предварительные выводы из которых и приводятся ниже.

Для этих измерений приборы были установлены около окна одной из лабораторий кафедры физики ТГУ.

Для измерения плотности полутяжелых и тяжелых ионов воздух всасывается извне в счетчик через индикатор тяжелых ионов, входное отверстие которого выходило из помещения на расстоянии около 0,5 м от южной стены здания внутри широкого канала длиной 1,5 м. При измерениях плотности легких ионов воздух всасывался в конденсатор прямо из этого канала.

При каждой серии наблюдений определялась плотность ионов обоого знака в следующих диапазонах подвижности: легкие с предельной подвижностью  $k \geq 1$  и  $k \geq 0,1$ , тяжелые  $0,1 > k \geq 0,001$ ,  $0,1 > k \geq 0,00025$ .

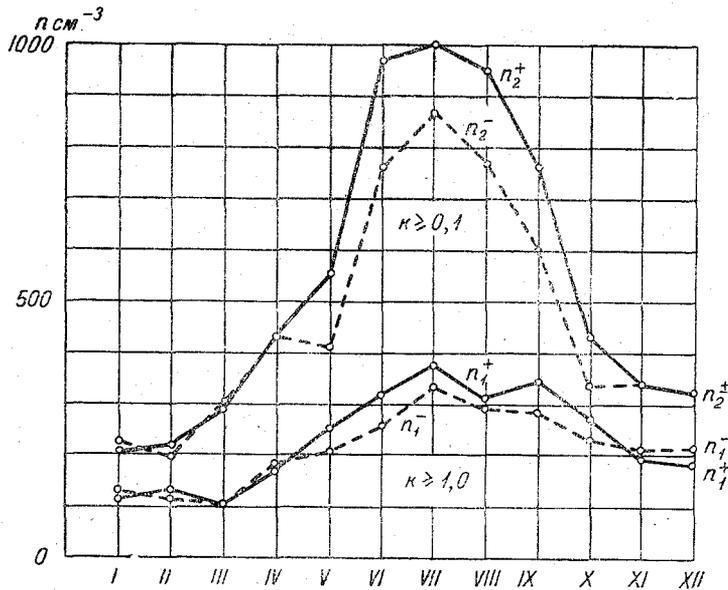


Рис. 4. Годовой ход плотности легких ионов в г. Тарту.

В табл. 1 приведена в качестве образца одна из записей такого наблюдения. Продолжительность просасывания воздуха при каждом определении  $n_{\pm}$  и  $N_{\pm}$  составила 3 мин.

С помощью формул 
$$N_{1,2}^{\pm} = (13,3 \pm 0,5) \Delta u \text{ 1/cm}^3$$

и

$$n_{1,2}^{\pm} = (2,27 \pm 0,05) \Delta u \text{ 1/cm}^3$$

можно вычислить плотности ионов, соответствующие приведенным в табл. 1 результатам наблюдений:

$$N_1^- = (13,3 \pm 0,5) (160 \pm 2) = 2150 \text{ 1/cm}^3$$

$$N_2^- = (13,3 \pm 0,5) (176 \pm 8) = 2350 \text{ „}$$

$$N_1^+ = (13,3 \pm 0,5) (164 \pm 2) = 2200 \text{ „}$$

$$N_2^+ = (13,3 \pm 0,5) (360 \pm 8) = 4800 \text{ „}$$

$$n_2^- = (2,27 \pm 0,05) (66 \pm 2) = 150 \text{ „}$$

$$n_1^- = (2,27 \pm 0,05) (34 \pm 2) = 75 \text{ „}$$

$$n_2^+ = (2,27 \pm 0,05) (82 \pm 2) = 185 \text{ „}$$

$$n_1^+ = (2,27 \pm 0,05) (38 \pm 2) = 85 \text{ „}$$

Годовой ход плотностей отдельных групп атмосферных ионов [соответственно указанным выше пределам подвижностей ( $k$ )] приведен на рис. 4 и 5.

Из представленного графика видно, что измеренные в Тарту плотности легких ионов  $n_1^\pm$  ( $k \geq 1,0$ ) и  $n_2^\pm$  ( $k \geq 0,1$ ) резко различаются в летние месяцы, когда наблюдается значительное число легких ионов с  $k \geq 0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в; это различие

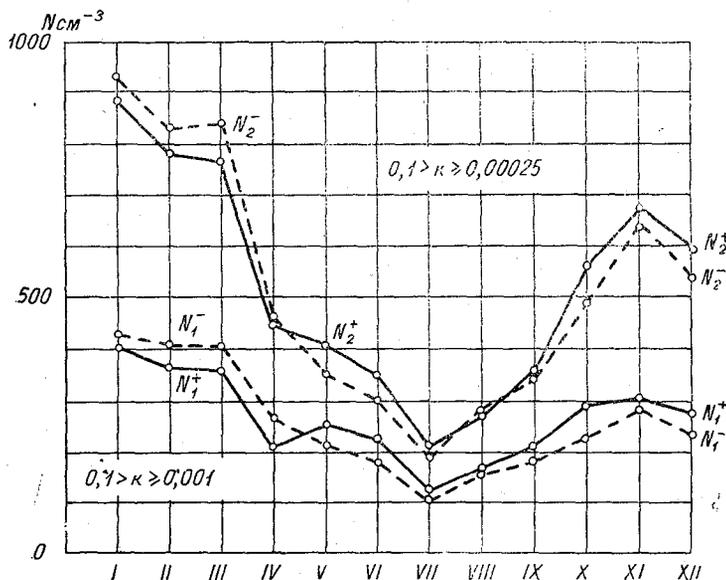


Рис. 5. Годовой ход плотности тяжелых ионов в г. Тарту.

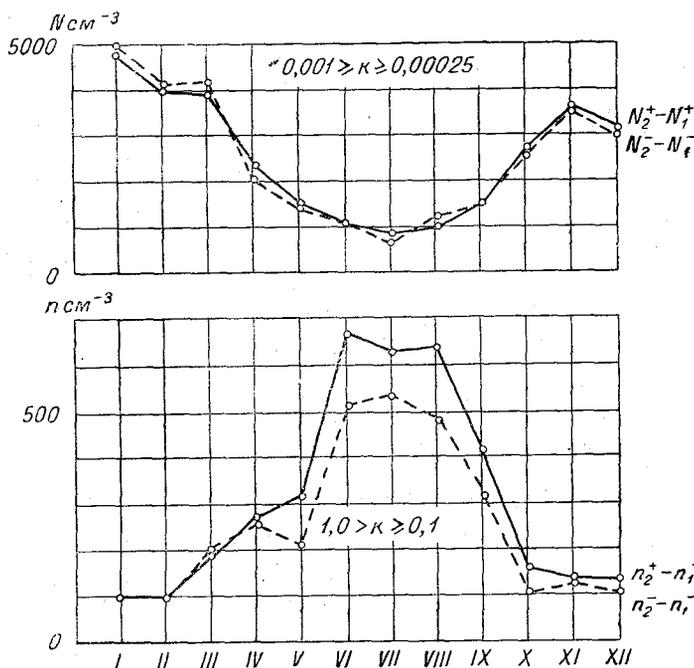


Рис. 6. Годовой ход плотности легких и тяжелых ионов с подвижностью, заключенной в ограниченных интервалах.

нельзя приписать в основном только ионам, подвижность которых  $k$  меньше  $0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в (рис. 6).

Возможно, что в теплое время года в атмосфере преобладают ионы, подвижность которых ограничивается промежутком  $1,0-0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в, несмотря на утвер-

ждения некоторых авторов, что в этом интервале подвижностей не существует заметного количества ионов [23].

Для того чтобы выяснить, имеются ли особые группы ионов в пределах подвижности  $1,0-0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в также и в холодное время года, когда влияние тяжелых ионов  $N_2$  чрезвычайно велико, а различие плотностей легких ионов  $N_2$  и молионов  $n_1$  мало, нужно было исследовать характеристики ионных спектров зимнего периода [24]. При исследовании характеристик обнаружилось, что и в холодное время года в спектре атмосферных ионов имеются группы ионов различной подвижности в пределах  $1,0-0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в.

Сравнивая характеристики ионов, снятых в один и тот же день через два часа одна после другой, можно было подметить, что, несмотря на заметное изменение состояния ионизации, в характеристике сохраняется характерная точка перегиба при подвижности  $0,5$  см<sup>2</sup>/сек. в.

На основании представленной характеристики следует отметить факт, что при возрастании плотности легких ионов их подвижность увеличивается.

При исследовании характеристик в интервале подвижностей  $1,0-0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в выяснилось, что получаемые при помощи счетчика Эберта большие плотности молионов зависят в основном от тех групп ионов, которые по своей подвижности приближаются к молионам, причем поправки, обусловленные омическим током тяжелых ионов ( $N_2$ ), незначительны.

Учитывая то обстоятельство, что в атмосфере имеются в интервале подвижностей  $1,0-0,1$  см<sup>2</sup>/сек. в различные группы ионов, нельзя пользоваться формулой Баранова [3] при определении действительной плотности молионов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gerdien H. Demonstration eines Apparates zur absoluten Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Luft. Phys. Zeitschr., 6, 600, 1905.
2. Ebert H. Aspirationsapparat zur Bestimmung des Ionengehaltes der Atmosphäre. Phys. Zeitschr., 2, 662, 1901.
3. Baranov W. J. und Stschepotjeva E. S. Über die Anwendung des Ebertschen Ionenzählers zur Bestimmung der Zahl und Beweglichkeit der kleinen Ionen in der Atmosphäre. Phys. Zeitschr., 21, 741, 1928.
4. Israel H. Ein transportables Messgerät für schwere Ionen. Zeitschr. für Geophysik, 5, 342, 1929.
5. Swann W. F. Terr. Magn. v. 19, p. 171, 1914.
6. Gish O. H. Systematic errors in measurements of ionic content and the conductivity of the air. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 35, 1, 1932.
7. Israel H., Köhler H. Der Wegersche Kleinionen-Aspirator als selbstständiges Messgerät. Phys. Zeitschr., 36, 15, 1935.
8. Funder L. Die Luftelektrizität, eine vernachlässigte Grössa in den Grubenwetter. Glückauf, 76, 237, 1940.
9. Greinacher H. und Klein W. Über einen Apparat zur Dauerregistrierung der spezifischen Ionenzahl der Atmosphäre. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 51, 298, 1937.
10. Greiger H. Ein neuer Apparat zur Messung des Ionenspektrums. Zeitschr. für Instr.-kunde, 55, 116, 1935.
11. Герасимова М. Н. К методике измерения содержания ионов в атмосфере и о новом счетчике ионов. Труды ГГО, вып. 30, 1939.
12. Israel H. Untersuchungen über schwere Ionen in der Atmosphäre. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 23, 144, 1929.
13. Israel H. Zur Theorie und Methodik der Grössenbestimmung von Luftionen. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 31, 173, 1931.
14. Israel H. Zum Problem der Randstörungen bei Ionenmessungen. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 35, 341, 1932.
15. Itiwara Y. Zur Methodik der Ionenzählung in der freien Atmosphäre. Phys. Zeitschr., 32, 97, 1931.
16. Scholz J. Gegenfelduntersuchungen und Beweglichkeitsmessungen kleiner Ionen. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 29, 226, 1931.
17. Scholz J. Über die Messmethoden der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre. Phys. Zeitschr., 3, 130, 1931.
18. Graziadei H. Th. Zur Turbulenz bei Ionenzählern. Phys. Zeitschr., 36, 181, 1935.
19. Gish O. H. Studie über die Methodik der Ionenzählung. Phys. Zeitschr., 34, 712, 1933.
20. Wien W. und Harms F. Handbuch der Experimentalphysik. Band, 10, S. 68-69. Leipzig, 1930.
21. Read H. C. A theory for the Bumstead electroscope. Physical Review, 21, 368, 1923.
22. Clark H. A new type of Bumstead electrometer and assessor apparatus. Physical Review, 19, 539, 1922.
23. Тверской П. Н. Атмосферное электричество. Гидрометеоздат. 1949.
24. Siks pa R. Arkiv för Geofysik, Band 1, Häfte 5-6, 483, 1953.

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЙ ЗАРЯДОВ И РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ТУМАНОВ

### Введение

По вопросу электризации облаков и туманов имеется ряд работ как теоретического, так и экспериментального характера. Однако эти работы без подтверждения их фактическими данными о зарядах облачных частиц и туманов не являются достаточно убедительными. Фактических же данных еще очень мало. По зарядам облачных частиц имеются единичные наблюдения Ганна [1], а по зарядам капель естественных туманов — Виганда [2] и Франкенбергера [3], произведенные всего лишь в девяти различных туманах. Опубликованные данные этих наблюдений являются средними статистическими характеристиками и получены методикой, дающей большие погрешности, поэтому они не могут быть использованы при изучении механизма электризации. Эти материалы не являются также достаточными и для выяснения роли электрических зарядов в устойчивости туманов.

Стояла задача разработать методику и аппаратуру для измерения зарядов и размеров отдельных облачных частиц и капель тумана.

Ниже описывается прибор и методика измерений размеров и зарядов капель тумана. Методика основывается на работах опубликованных В. К. Варсановичем [4], М. Д. Кициным, [5], П. В. Уэльсом и Р. Г. Герке [6], Н. А. Фуксом и И. В. Петряновым [7], И. В. Петряновым, Н. В. Лисовским и Г. Л. Натансоном [8] и другими, а конструкция прибора была разработана М. Д. Кициным, Е. Ф. Глазовой и сотрудниками конструкторского отдела Ленинградского института экспериментальной метеорологии (ЛИЭМ). Первоначально образец прибора был изготовлен мастерами Главной геофизической обсерватории еще в 1948 г., но выяснилась необходимость внесения в него некоторых изменений, что и было осуществлено нами в 1954 г.

### Устройство прибора

В основу прибора положен следующий принцип — свободно падающая заряженная капелька тумана в меняющемся по направлению, но постоянном по величине электрическом поле будет двигаться по зигзагообразному пути. По длине зигзага, его амплитуде и периоду можно найти вертикальную и горизонтальную составляющие скорости движения капли. По величине вертикальной составляющей скорости движения капли, вызываемой действием силы тяжести, можно найти радиус капли, а по величине горизонтальной составляющей скорости — ее заряд.

Прибор устроен по схеме, изображенной на рис. 1, и представляет собою автоматически действующий ультрамикроскоп с фиксированием на фотопленку движений капелек, попадающих в кювету прибора. Внешний вид прибора приведен на рис. 2.

Основной узел прибора — ультрамикроскоп. Он состоит (рис. 1 и 2) из осветителя 1, конденсора 2, кюветы 3 и 4, микроскопа 5 и фотокамеры 6.

Осветитель — электрическая лампа, тип ПЖ-26, мощностью 340 вт, напряжением 24 в, яркость нити лампы около 3000 сб. Лампа охлаждается потоком воздуха, создаваемым вентилятором 7, который приводится в движение электромотором мощностью 35 вт.

Конденсор состоит из 3 линз, светового фильтра и диафрагмы. Диаметр линз около 25 мм. Две из них с относительным отверстием 0,5 и одна 1,23. Светофильтр — стеклянный, поглощающий тепловые лучи. Диафрагма с острыми ножевидными краями имеет круглое отверстие 0,5 мм в диаметре.

Кювета представляет собой латунный баллон (размерами 40×40×45 мм) с массивными стенками для обеспечения равномерной температуры внутри кюветы, что необходимо для устранения в ней конвективных движений воздуха. Внутри

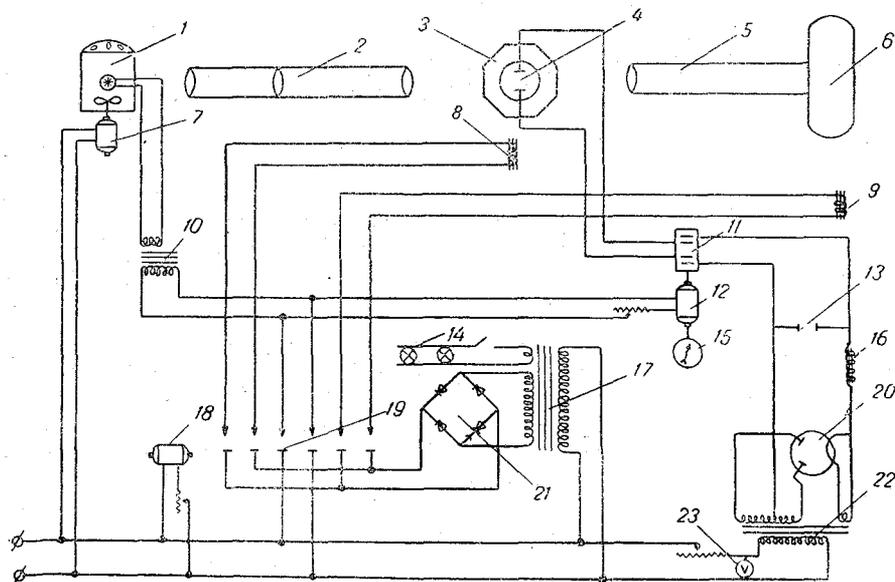


Рис. 1. Схема прибора для измерения зарядов и размеров капель тумана.

кювета имеет цилиндрическую полость, ось которой расположена горизонтально. Полость кюветы имеет шесть окошечек. Два из них, расположенные по вертикальной оси, служат для всасывания тумана в кювету. Другие два необходимы для пропускания светового пучка, и еще два окошечка, расположенные под углом 120° по отношению к оси пучка проходящего света, необходимы для рассматривания капелек в боковом освещении. Такое расположение этих двух пар окошечек обеспечивает лучшее освещение капелек, так как интенсивность света, рассеиваемого каплей в направлении 120°, в десятки раз больше, чем в перпендикулярном направлении к световому пучку. В кювете размещены две круглые хорошо отполированные пластины, которые служат для создания равномерного электрического поля. Пластины расположены строго параллельно одна другой и образуют плоский конденсатор. Диаметр пластин 14 мм, расстояние между пластинами может изменяться от 0,2 до 1,0 см.

Для рассматривания и фотографирования траекторий движения капелек служит оптическая система с фотокамерой. Эта оптическая система состоит из объектива, отражающего стекла, призмы и окуляра. Объектив светосилой 1:4,5 имеет фокусное расстояние 30 мм, фокальная плоскость его проходит через центр кюветы. По оси объектива, на расстоянии 158 мм от центра кюветы, расположено под углом 45° плоскопараллельное стекло, которое служит для того, чтобы часть лучей, идущих от рассматриваемого изображения, отражалась и направлялась к призме 24, а затем в окуляр 25. Большая часть лучей проходит сквозь стекло и попадает на фотопленку, находящуюся в фотокамере 6.

Увеличение оптической системы для изображения на фотопленке равно  $8\times$ , а при рассматривании через окуляр —  $56\times$ .

Особенностью фотокамеры является то, что входное отверстие ее делится на две части. В одну половину отверстия входит пучок света, идущий из кюветы, во вторую половину, отделенную от первой, проектируется изображение измери-

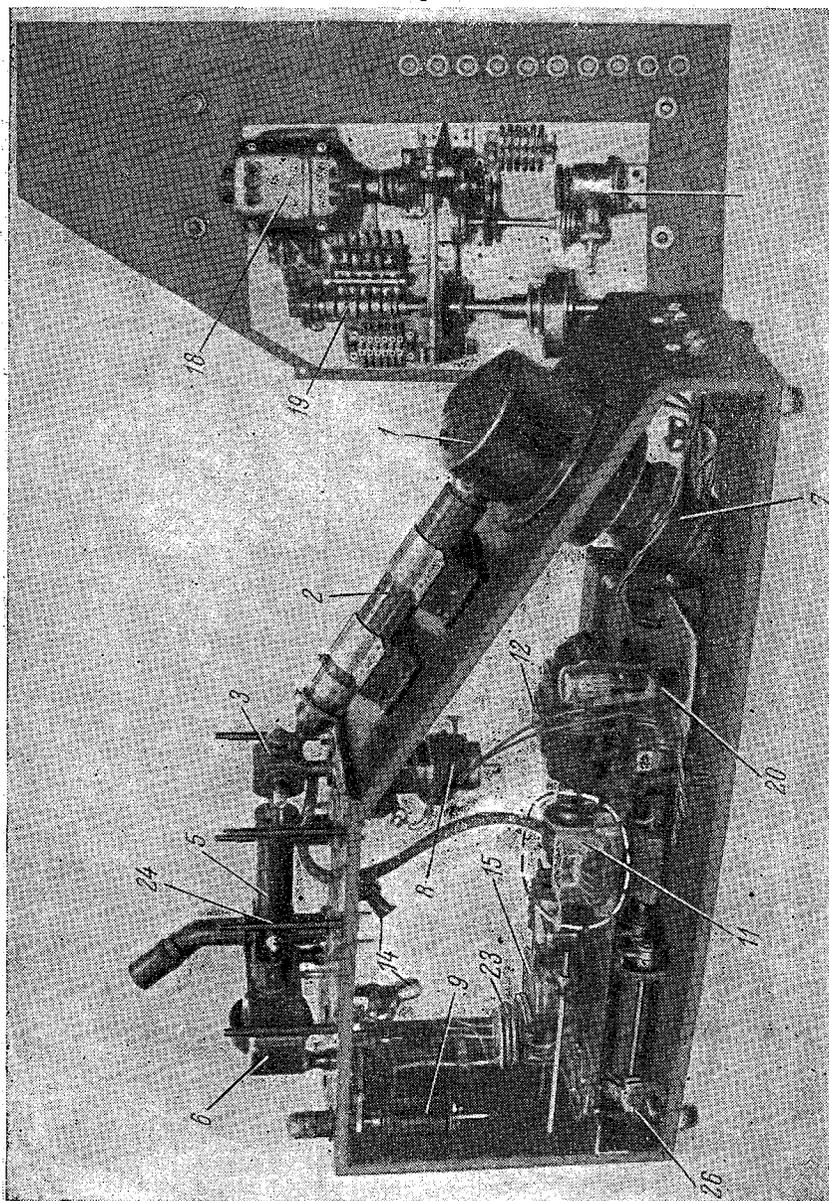


Рис. 2. Внешний вид прибора для измерения зарядов и размеров капель тумана.

тельных приборов (тахометра и вольтметра), показания которых фотографируются одновременно с траекторией капель.

Автоматическое действие ультрамикроскопа заключается в непрерывной смене операций: установка кадра, т. е. протяжка фотопленки необходимой длины, забор капелек путем прососа тумана через кювету, освещение тумана в кювете и фотографирование следов капелек. Полный цикл смены операций может быть установлен равным 20 или 30 сек. При цикле продолжительностью 30 сек. на установку

кадра затрачивается 18 сек. Просос тумана — 4 сек. Коммутация электрического поля длится 16 сек., а освещение капель и фотографирование их следов — 11 сек.

Число циклов (или, что то же самое, число снимков) зависит от длины пленки, заряжаемой в кассету фотокамеры. Применяется пленка 35 мм ширины и в кассету ее помещается около 2 м, что обеспечивает получение 70—75 кадров в продолжение 30—35 мин. непрерывного действия прибора.

Прибор приводится в действие от сети переменного тока напряжением 127 в. Все преобразователи электропитания размещаются в одном корпусе с ультрамикроскопом, только трансформатор для питания осветителя сделан отдельным блоком.

Напряжение на конденсаторе в кювете получается от двухполупериодного кенотронного выпрямителя. Так как ток, снимаемый с данного выпрямителя, весьма мал, то напряжение на конденсаторе близко к амплитудному, возникающему во вторичной обмотке трансформатора, и равно около 1400 в. Величина напряжения регулируется реостатом 26, включенным в первичную цепь трансформатора. В первичную обмотку трансформатора включен вольтметр 23, проградуированный на величину напряжения, получаемого на конденсаторе в кювете.

Перемена направлений поля на конденсаторе в кювете осуществляется контактным переключателем 11. Вращение переключателя производится мотором 12, тип МШ 120 в, мощностью 48 вт. С осью этого мотора связан тахометр 15, по которому определяется частота переключений поля на пластинах конденсатора в кювете. Число перемен поля в данном приборе может меняться от 50 до 3000 и более в минуту.

Для обеспечения последовательности в цикле при автоматической работе прибора имеется коммутатор 19, который приводится во вращение таким же мотором 18, как и переключатель направлений поля. Через этот коммутатор идет также управление электромагнитом 8, открывающим и закрывающим доступ туману в кювету, подачей напряжения на пластины конденсатора в кювете, освещением туманных капелек в кювете и, наконец, открыванием и закрыванием затвора фотоаппарата с помощью электромагнита 9.

Электромагниты 8 и 9 питаются выпрямленным током, напряжением в 24 в от селенового выпрямителя, собранного по мостовой схеме с применением отдельного трансформатора. Этот же трансформатор обеспечивает питание двух электролампочек 14, употребляемых для освещения шкал приборов.

Управление работой прибора в основном сводится к регулировке скорости вращения контактного переключателя, производящего перемену направлений поля на конденсаторе в кювете. Для этого имеются две ручки на передней стенке прибора. Включение и выключение прибора производится тумблером, который также расположен на передней стенке его.

### Методика измерений размеров и зарядов капель тумана

Положенный в основу прибора принцип приводит к следующим расчетным формулам.

Размеры капелек находятся по формуле

$$r = 91,7 \cdot 10^{-5} \sqrt{\frac{l f}{k}}, \quad (1)$$

где  $r$  — радиус капель в сантиметрах,  $l$  — длина зигзага следа капли в сантиметрах,  $f$  — частота перемен электрического поля на конденсаторе в кювете и  $k$  — фотоувеличение следа капли.

Заряды капелек вычисляются по формуле

$$q = \frac{2,75 \cdot 10^{-3} A \sqrt{\frac{l}{k} f^3}}{E \cdot k}, \quad (2)$$

где  $A$  — амплитуда отклонения следа капли от прямолинейного пути в сантиметрах,  $E$  — напряженность электрического поля, выраженная в вольтах на сантиметр.

В данном приборе изменение направлений электрического поля на конденсаторе в кювете имеет вид ступенчатой кривой, а траектории движения заряженных капель получаются в виде зигзагов (рис. 3).

Знак заряда капелек определяется по виду траектории капелек на фотопленке или отпечатке с нее. При прямом изображении приборов на них, если вершины зигзагов обращены вправо, то это соответствует отрицательному заряду капли, если влево, то положительному.

Произведя фотографирование следов капель тумана и соответствующих показаний вольтметра и тахометра, по фотопленке или ее отпечатку можно определить необходимые для расчета величины. С помощью циркуля и масштабной линейки измеряются для каждого следа капель длина зигзага  $l$  и амплитуда  $A$ . По показаниям тахометра отсчитывается частота переключений электрического поля  $f$ , а по вольтметру — напряжение на конденсаторе в кювете. Зная расстояние между пластинами конденсатора, находим напряженность электрического поля  $E$ . После чего по вышеприведенным формулам рассчитывается радиус и заряд капель. В качестве примера расчета размеров и зарядов капель возьмем траекторию  $l$  на фотографии рис. 4а. Этот фотоснимок произведен при частоте перемен электрического поля, равной 50 раз в секунду. Величина напряженности электрического поля  $E = 1700$  м/см. Длина зигзага траектории равна 44,6 мм, а амплитуды — 9,8 мм. Учитывая, что увеличение на фотоснимке равно 30, действительные величины зигзага и амплитуды будут соответственно 1,5 и 0,3 мм.

Подставляя в формулы (1) и (2) полученные значения, найдем, что радиус капель равен  $2,5 \cdot 10^{-3}$  см, т. е. 25  $\mu$ , а заряд ее  $7,0 \cdot 10^{-6}$  э. с. е. Знак заряда капель отрицательный, так как вершины зигзагов обращены вправо.

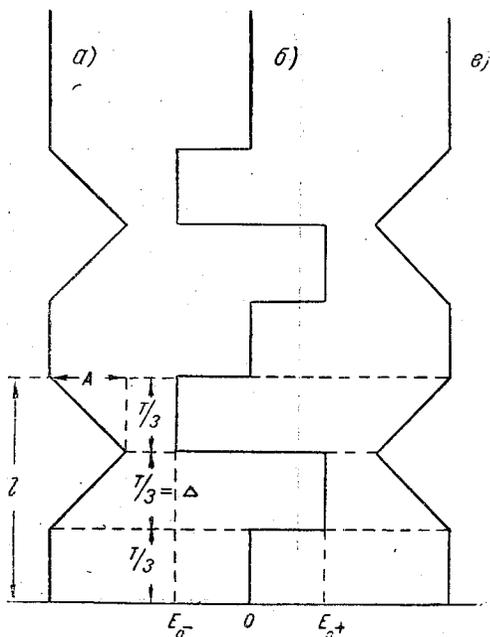


Рис. 3. Вид траектории отрицательно заряженной капели (а) и положительно заряженной капели (б) при форме коммутации электрического поля (в).

### Испытания прибора

Испытания прибора проводились как в лабораторных условиях, так и в естественных туманах.

В лабораторных условиях испытания проводились в туманах, получающихся при разбрызгивании воды пульверизатором и в туманах парения. В последнем случае туманы создавались в большой камере туманов ГГО.

При разбрызгивании воды пульверизатором капельки получаются довольно крупные (порядка 20—35  $\mu$ ). Заряд на них также иногда был весьма велик, составлял несколько сотен тысяч элементарных зарядов. На фотографии рис. 4а изображены следы капель, получавшиеся при разбрызгивании воды пульверизатором. При разбрызгивании воды пульверизатором оказалось, что 70% капелек не заряжены. Положительно и отрицательно заряженных капелек оказалось примерно одинаковое число. При разбрызгивании капелек пульверизатором, соединенным с электрической батареей, в случае положительного потенциала на нем, равного 150 в, получалось 45% заряженных и 55% незаряженных капель. При этом заря-



Рис. 4а. Следы капель, получившиеся при разбрызгивании воды пульверизатором.

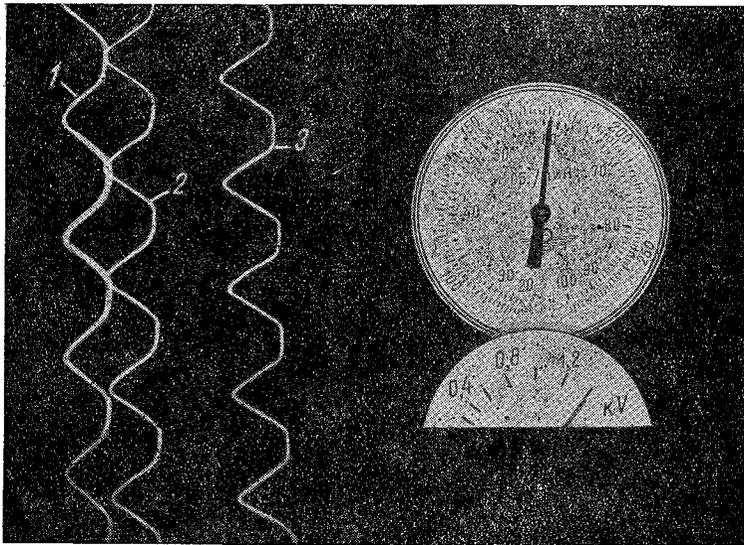


Рис. 4б. Следы от крупных капель естественного тумана, искусственно электризованных.

женных положительно было 40%, а капель с отрицательным зарядом только 5%, т. е. коэффициент униполярности равен 8.

При подаче на пульверизатор отрицательного потенциала в 150 в из 1177 капель заряженных было 48%, незаряженных 52%, отрицательно заряженных 45% и положительно 3%. Коэффициент униполярности в этом случае составляет 15. При испытании прибора в тумане парения (в камере объемом свыше 100 м<sup>3</sup>), где влажность была 100%, а туман быстро осаждался на стенках камеры и на приборе, интенсивно смачивая их, оказалось, что и в этих условиях прибор может работать вполне удовлетворительно.

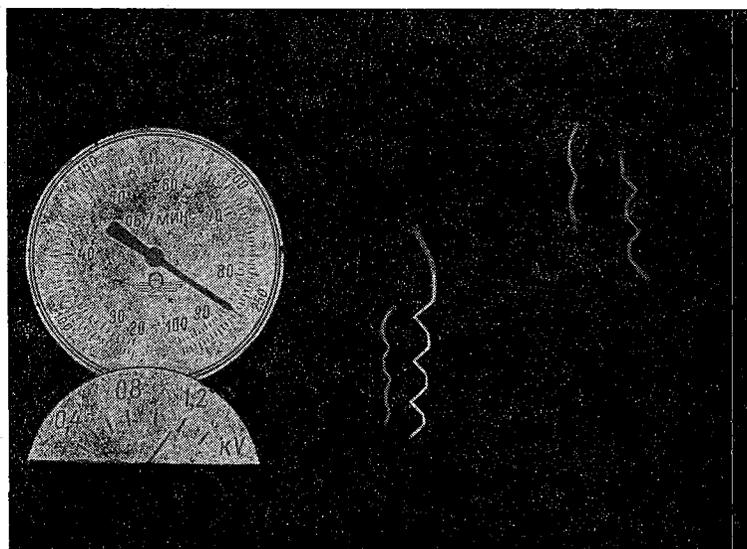


Рис. 4в. Следы от капель естественного тумана с естественными зарядами.

Проведенные наблюдения в искусственно созданных туманах парения показали, что эти туманы не заряжены. Если искусственно заряжать капельки тумана, то можно определить их размеры. Исследования одного из туманов, произведенные таким путем, привели к результатам, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Номер капли	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Радиус капли (микроны)	10	10	7	6	7	12	12	7	9	7	6	10	9	8	7	5	7	10	12	11
Число элементарных зарядов на капле	400	100	300	100	300	400	1200	300	700	50	70	200	400	30	100	60	800	400	500	300

В приведенных наблюдениях средний радиус капель тумана парения оказался равным 9 м, что согласуется с измерениями, произведенными в тех же условиях над туманом в камере с помощью микрофотографии М. А. Химач и Н. С. Шишкиным [9].

Испытания прибора в естественных туманах также показали его пригодность для использования в полевых условиях. Высокая влажность в туманах не нарушает нормального действия прибора. При работе в туманах радиационного и адвектив-

ного происхождения, видимость в которых была от 50 до 150 м, на каждом снимке получалось по несколько следов капель.

Используя стандартную фотопленку чувствительностью 130—180 ед. ГОСТ, удается фиксировать следы капель с радиусом от 2  $\mu$  и выше, несущих от 10 элементарных зарядов и более.

На рис. 4б и 4в представлены фотографии следов капель естественного тумана. На фотографии рис. 4б изображены следы радиационного тумана, наблюдавшегося 9/VIII 1955 г. в Воейково. Туман этот был крупнокапельный, средний радиус капель 14  $\mu$ . Крупные капли этого тумана были незаряжены, а мелкие несли на себе небольшие заряды разных знаков. На фотографии рис. 4б представлены следы от крупных капель, искусственно электризованных. Траектория 1 получилась от капли радиусом 12  $\mu$ , с зарядом  $1,1 \cdot 10^{-6}$  э. с. е. Следы (2) и (3) относятся к каплям с радиусом 13  $\mu$ , с зарядами  $1,1 \cdot 10^{-6}$  и  $1,2 \cdot 10^{-6}$  э. с. е. На фотографии рис. 4в изображены следы капель тумана с естественными зарядами.

В табл. 2 представлены данные о размерах и зарядах капель естественного радиационного тумана, наблюдавшегося в Воейково 28/IX—1955 г.

Таблица 2

Номер кадра и капли на пленке	Радиус (микроны)	Заряд капли в элементарных зарядах	Номер кадра и капли на пленке	Радиус (микроны)	Заряд капли в элементарных зарядах		
V	1	2,7	— 50	XIX	43	4,0	—300
	2	2,5	— 20	XX	44	4,5	+110
VI	3	3,3	+ 90		45	4,9	— 50
	4	3,2	— 50		46	4,6	— 60
VII	5	2,9	+ 20		47	4,1	+ 20
	6	3,3	— 50	XXI	48	3,9	— 10
	7	3,5	+ 20		49	4,2	+ 40
	8	3,3	+ 40		50	4,0	+ 50
VIII	9	3,3	— 40	XXII	51	4,2	— 20
	10	3,5	+ 20		52	3,9	— 60
	11	3,3	— 30	XXIII	53	4,0	—150
	12	3,7	— 30		54	3,8	—170
	13	3,2	+ 30	XXIV	55	4,4	— 50
IX	14	3,6	— 20		56	4,0	+ 40
	15	4,0	— 80		57	4,3	+100
	16	4,0	— 30		58	4,3	— 30
	17	3,8	—120		59	3,8	+ 60
X	18	4,0	+ 20		60	3,4	+ 30
	19	4,2	—180	XXV	61	4,6	—170
	20	3,5	+ 40		62	4,8	—330
XI	21	4,3	—170	XXVI	63	4,0	— 60
XII	22	4,3	—110		64	3,4	+ 70
	23	4,2	+ 10		65	4,3	— 60
XIII	24	3,9	—100		66	2,9	+ 30
	25	4,6	+110	XXVII	67	4,8	+ 80
	26	4,6	— 20		68	4,0	+ 20
	27	4,4	+ 20	XXVIII	69	4,5	+ 30
XIV	28	4,7	— 90		70	4,5	+ 20
	29	4,5	— 40	XXIX	71	3,5	— 50
XV	30	4,3	— 20		72	4,4	+ 20
	31	4,4	— 60		73	3,9	+ 70
	32	5,0	+ 90	XXX	74	5,1	—100
XVI	33	4,5	+ 20		75	5,0	— 50
	34	4,5	— 10		76	4,3	— 40
	35	4,4	— 90		77	4,7	—260
XVII	36	4,3	+ 50	XXXII	78	4,3	— 20
	37	4,0	+ 40		79	4,5	+ 50
XVIII	38	4,4	+ 90	XXXIII	80	4,4	+ 30
	39	4,4	— 80		81	4,2	— 80
	40	4,4	—120		82	4,5	+ 70
	41	4,1	— 70		83	4,0	+ 30
XIX	42	4,3	—140		84	4,5	+200

## Погрешности метода и точность измерений

Погрешностью метода является та неточность, которая связана с применением формул (1) и (2). Строго говоря, формулы эти справедливы для установившегося движения. При обработке можно, правда, не принимать во внимание частицы, движения которых не являются установившимися, или, на что обратила наше внимание В. В. Михайловская, оценить погрешности, связанные с искажением формы траектории.

Рассмотрим движение капли с момента, когда она поступила в кювету вместе с потоком воздуха, засасываемым воздуходувкой. Некоторое время капля будет падать с изменяющейся скоростью, которую можно найти из следующей зависимости:<sup>1</sup>

$$v = \left( v_0 - \frac{g}{\alpha} \right) e^{-\alpha t} + \frac{g}{\alpha}, \quad (3)$$

где  $v_0$  — начальная скорость капли, равная скорости воздушного потока,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $t$  — время,  $\alpha = \frac{6\pi\eta r}{m}$ . В последнем равенстве  $\eta$  — коэффициент вязкости воздуха,  $r$  — радиус капли, а  $m$  — масса капли.

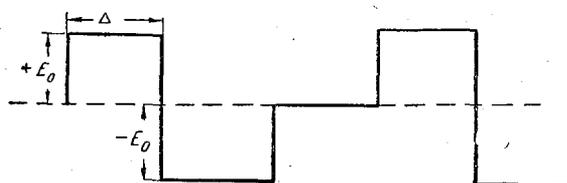


Рис. 5. Форма изменения  $E$  в приборе.

Пользуясь уравнением (3), можно определить время, в течение которого капля будет иметь скорость, отличающуюся от установившейся, например, на 5%. Для различных капель это время будет различным. Так, для капель радиусом  $2 \mu$  при начальной скорости  $v_0 = 100$  см/сек. это время будет равно  $5,2 \cdot 10^{-4}$  сек., а для капель радиусом  $50 \mu$  составляет 0,12 сек.

Так как освещение и фотографирование капель в кювете начинается не сразу после забора их в кювету (например, при цикле в 30 сек. только через 1 сек.), то движение каплей после этого вполне можно считать установившимся и для подсчета радиуса капель от  $2$  до  $50 \mu$  применять формулу (1).

Движение капель в электрическом поле при неустановившемся режиме с начальной скоростью, равной нулю, описывается уравнением, полученным аналогично (3):

$$v = \frac{q}{m} e^{-\alpha t} \int_0^t E e^{\alpha \tau} d\tau. \quad (4)$$

В приборе  $E$  задано ступенчатой кривой (рис. 5), где  $\Delta$  — продолжительность  $\frac{1}{3}$  цикла,  $\pm E_0$  — величина постоянного напряжения поля.

Обозначим  $E = E_0 \gamma(t)$ . В этом равенстве  $\gamma(t)$  — указанная выше ступенчатая функция с отклонением  $\pm 1$ , поэтому уравнение (4) можно переписать так:

$$v = \frac{qE_0}{m} \left[ e^{-\alpha t} \int_0^t \gamma(t) e^{\alpha \tau} d\tau \right]. \quad (5)$$

<sup>1</sup> Считая, что скорость движения капли в воздухе определяется силой тяжести и силой трения, можно написать для изменения скорости уравнение  $\frac{dv}{dt} = g - \frac{6\pi\eta r v}{m}$  или, обозначая через  $\alpha = \frac{6\pi\eta r}{m}$ ,  $\frac{dv}{dt} + \alpha v - g = 0$ . Интегрирование этого уравнения приведет к выражению (3).

Л. Г. Махоткиным были вычислены соответствующие интегралы для различных значений  $\alpha\Delta$  и построены траектории капель (рис. 6). Из этих графиков видно, насколько отличаются рассчитанные пути капель, различных по размеру, с учетом и без учета их инерции. Для крупных капель с радиусом больше  $15 \mu$  поправки к вычисленным значениям заряда при обработке наблюдений по формуле (2) составляют:

Когда в кадр укладывается один зигзаг

$r$ . . . . .	$< 30$	$< 25$	$< 21$	$< 17$
Поправка (%) . . .	$< +150$	$< +54$	$< +18$	$< +5$

Когда в кадре помещается два зигзага

$r$ . . . . .	$< 25$	$< 21$	$< 18$	$< 12$
Поправка (%) . . .	$+150$	$+54$	$+18$	$+5$

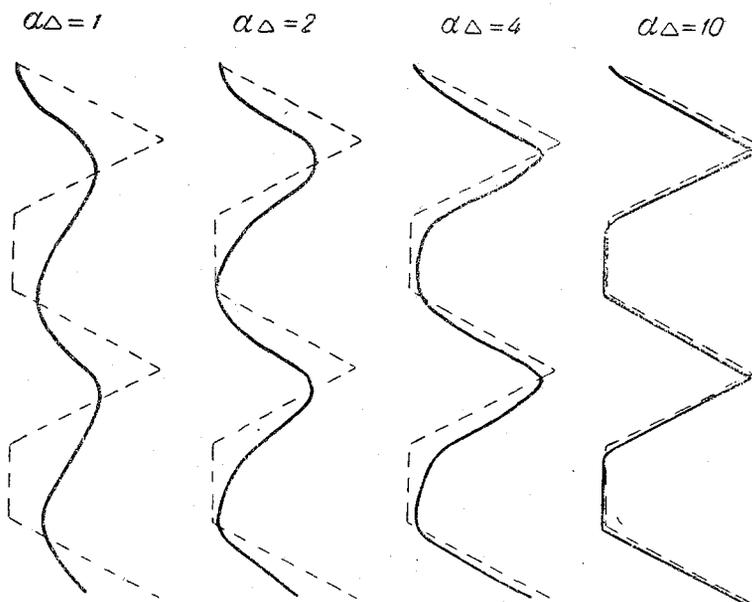


Рис. 6. Вычисленные траектории капель.

Таким образом, погрешности метода при использовании расчетной формулы (2) не превышают  $5\%$  для капель размерами меньше  $15 \mu$ .

Ошибки, связанные с измерением параметров, необходимых для определения размеров и зарядов капелек при применении данного прибора, оцениваются следующими величинами.

Ошибки при измерениях длины зигзага и амплитуды не превышают  $5\%$  при соответствующем режиме работы прибора (частота переключений, величина электрического поля). Ошибки при определении числа переключений и напряженности электрического поля в данном приборе составляют тоже по  $5\%$ .

Проверка точности измерений размеров частиц с помощью прибора была осуществлена на частицах ликоподия. Измерив под микроскопом около 200 частиц ликоподия, нашли, что средний радиус частиц составляет  $13,5 \mu$ , при крайних размерах  $10$  и  $15 \mu$ . Измерения радиуса 135 частиц с помощью данного прибора показали, что средний радиус частиц ликоподия составляет  $12,7 \mu$ . Расхождения, как видим, составляют  $6\%$ .

Таким образом, с помощью данного прибора радиус капелек может быть определен с погрешностью  $\pm 5$ ,  $\pm 10\%$ , а заряд их  $\pm 15$ ,  $\pm 20\%$ . В методике, предложенной Ю. Г. Борисовым [10], точность измерений не выше.

Из изложенного следует, что описанный прибор позволяет измерять заряды и размеры отдельных капель тумана и с большей точностью, чем это делалось до сих пор [2]. Это создает реальные возможности для исследования электрических свойств туманов и, в частности, для выяснения механизма электризации туманов и облаков. Этому будут посвящены наши работы в дальнейшем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gunn R. Journ. of Geophysical Research, v. 55 (2), p. 171—178, 1950.
2. Wigand A. Phys. Zeitschr., 27, p. 803, 1926.
3. Wigand A. und Franckenberger E. Physik Zeitschr., 30, 1930.
4. Варсанович В. К. Методика определения размеров и электрических зарядов пылевых частиц. Журн. „Гигиена труда и техника безопасности“, № 6, 50, 1936.
5. Кицин М. Д. Прибор для определения электрических зарядов капель по видеоизмененному методу Уэльса и Герке. Метеорология и гидрология, № 6, 1941.
6. Wells P. V. and Gerke R. H. Journ. Amer. Chem. Soc. 41, 312—329, 1919.
7. Фукс Н. А. и Петрянов И. В. Определение размера и заряда частиц в туманах. Журн. Физ. химии, т. IV, вып. 5, 1933.
8. Петрянов И. В., Лисовский Н. В. и Натансон Г. Л. Прибор для измерения размера и заряда частиц в туманах фотографическим осцилляционным методом. Журн. Зав. лаборатория. № 10, 1948.
9. Химач М. А. и Шишкин Н. С. Определение коэффициента эффективности соударения водяных капель. Труды ГГО, вып. 31 (93) 1951.
10. Борисов Ю. Г. Поточный метод определения размеров и зарядов капель атмосферных туманов. Труды Автодорожного института. М. 1955.

## УЗКОСЕКТОРНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ АТМОСФЕРИКОВ

Узкосекторная регистрация атмосфериков является одним из видов инструментальных наблюдений над очагами атмосфериков. Узкосекторный пеленгатор атмосфериков, установленный в пос. Воейкова (под Ленинградом), не является новым прибором как по конструкции, так и по принципу работы. Использование наблюдений над атмосфериками в синоптической практике также не является новым предложением [1]. Однако до сих пор в службе прогнозов не было должного использования этих данных.

Узкосекторный пеленгатор атмосфериков, работающий в пос. Воейково в продолжение ряда лет, настроен на длину волны 16 000 м. Сектор приема сигналов 15—20°. За сутки производится 96 оборотов рамок и, таким образом, столько же азимутальных обзоров очагов атмосфериков. На лентах записи атмосфериков легко выделяются очаги атмосфериков, также не трудно определить начало и конец развития очага его и активность. Зону, с которой удовлетворительно воспринимаются атмосфериками пеленгатором, можно представить в виде пояса с радиусами 400 и 2000 км. На площади в радиусе до 400 км от местоположения пеленгатора запись атмосфериков мало эффективна по той причине, что близкие атмосфериками создают автоматическое сжатие ширины сектора приема до 1—2°. За пределами же 2000—2500 км амплитуды приходящих импульсов атмосфериков ослабляются и чувствительность пеленгатора становится недостаточной. Оба отмеченных обстоятельства приводят к уменьшению процента принимаемых атмосфериков из этих зон и к пропускам малоактивных очагов. Даже в зоне удовлетворительной регистрации пеленгатор воспринимает только около 3% атмосфериков, приходящих в пункт приема, так как запись ведется из узкого сектора (15—20°).

Для упрощения подсчета количества зарегистрированных атмосфериков бралось восемь сроков (03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 и 24 час.). Для каждого срока подсчет производился за предыдущий час. Таким образом, были получены данные о распределении активности атмосфериков по месяцам, представленные в первой строчке табл. 1.

Таблица 1  
Распределение активности в зоне регистрации атмосфериков по месяцам за 1953 г.

	V	VI	VII	VIII	IX	Сумма
Количество атмосфериков в тыс. . . . . .	23	39	79	66	48	255
Количество очагов атмосфериков . . . . .	192	262	254	200	105	1 013
Количество атмосфериков на один очаг в тыс. .	12	15	31	33	46	

По этим данным можно оценить количество атмосфериков, действительно имевшихся в зоне эффективной регистрации. При этом следует учесть, что записи-

вается только 3% атмосфериков и, кроме того, подсчетом охвачено лишь 1/3 атмосфериков, имевшихся на лентах. Таким образом, получается коэффициент пересчета, равный 100. Например, в июле 1953 г. в зоне регистрации имелось не менее  $8 \cdot 10^6$  атмосфериков.

Вторая и третья строчки табл. 1 дают представление о минимальном количестве очагов атмосфериков, выделенных из лент пеленгатора, и о средних значениях атмосфериков, приходящихся на один очаг. С мая по сентябрь имелось увеличение числа атмосфериков на один очаг. Дополнительная обработка записей показала, что это увеличение идет, главным образом, за счет роста активности — количества атмосфериков за час и продолжительности очагов юго-западных азимутов.

Суточный ход атмосфериков с мая по сентябрь 1953 г. представлен среднечасовыми данными по восьми срокам в табл. 2. Как и следовало ожидать, максимум приходится на июль. Можно отметить различие в суточном ходе атмосфериков июля и сентября.

На рис. 1 представлены суточные значения числа атмосфериков по 8 срокам. Эти данные показывают особенности развития и затухания атмосфериков и связанной с ними разрядной деятельности. Из графика видно, что максимум развития приходится между 25/VII и 3/VIII. Имеются частные максимумы 20/V и 7/VI.

Была сделана попытка увязать суточные изменения числа атмосфериков с условными синоптическими периодами долгосрочных прогнозов. Эти периоды отмечены на графике заштрихованными столбиками. Внутри

этих периодов наблюдаются различные изменения в активности. Это разнообразие, очевидно, связано с тем, какие процессы преобладали в тот или другой период.

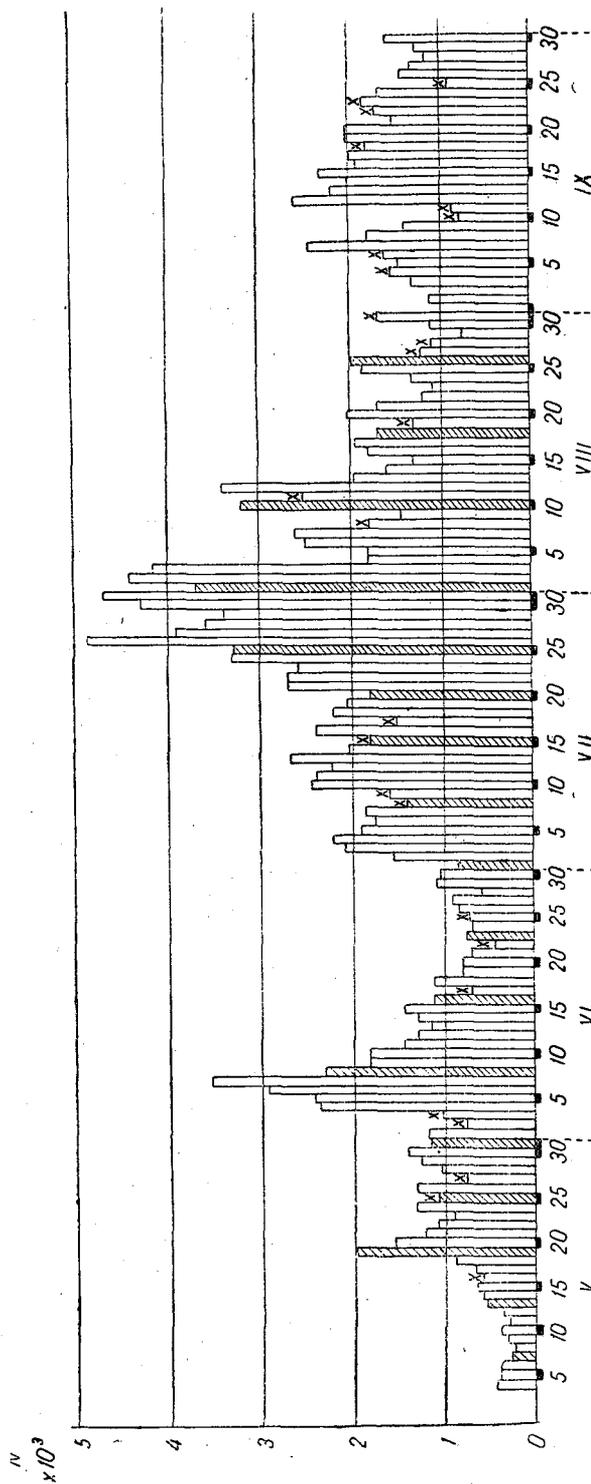


Рис. 1. Относительная активность по числу атмосфериков, принятых узкосекторным пеленгатором за сутки (1953 г.). X — в записи имелись пропуски, штриховкой показано условное начало синоптического периода.

Значительный интерес представляет азимутальное распределение атмосфериков. Это распределение представлено на рис. 2. Из кривых видно, что наиболее интенсивные очаги атмосфериков и грозоактивные районы находились в 1953 г. на востоке (азимут 50—90°) и на западе от Ленинграда (азимут 190—250°).

Таблица 2

Суточный ход атмосфериков в зоне регистрации по месяцам

Месяц	Срок							
	02—03	05—06	08—09	11—12	14—15	17—18	20—21	23—24
V	92	78	44	96	167	159	100	94
VI	99	91	86	182	317	282	195	121
VII	192	193	186	353	553	514	374	253
VIII	188	214	156	219	369	397	261	212
IX	273	241	131	102	144	208	228	282

Из этих кривых также можно видеть, что в мае разрядная деятельность низкая как на востоке, так и на западе и примерно одинакова по активности, затем в июне она несколько усилилась. В июле имеется общий максимум и преобладание восточного направления, а в августе при общем затухании активность восточных направлений была значительно больше, чем западных. В сентябре отмечается незначительная активность атмосфериков восточных направлений и максимум активности — западных направлений. Распределение атмосфериков в октябре имело такое же, как в сентябре.

Сравнивая азимутальное распределение за 1953 г. с другими годами, можно подметить различие в данных. Преобладание атмосфериков, приходящих из азимутов 80—100°, очевидно, связано с особенностями обмена воздушных масс. Так, по данным 1946 г., максимум активности атмосфериков находится в азимутах 140—200°. В 1949 г. наблюдалось некоторое преобладание атмосфериков, приходящих из азимутов 170—240° (VI, VII и VIII). Для сентября 1946 г., 1947 г., 1949 гг. имелись небольшие изменения в азимутах 150—260° и отличия в уровнях активности.

Азимутальное распределение атмосфериков, естественно, связано с географическим положением очагов. На основе приближенной локализации из одной точки можно оценить удаленность восточных очагов атмосфериков, находящихся на расстоянии 1000—1500 км.

Рассмотрение кривых рис. 2 а показывает, что на общем фоне юго-восточное направление (140—155°) не выделяется, несмотря на то, что грозы Кавказа принимаются из этого направления. Можно предположить, что, несмотря на высокую повторяемость и активность гроз в районе Кавказа, их средняя энергия заметно меньше, чем энергия атмосфериков, возникающих в равнинных районах. Поэтому они могут не восприниматься узкосекторным пеленгатором.

Для графиков рис. 2 а использованы данные среднесуточного азимутального распределения для данного месяца, а на рис. 2 б и в — только для ночи (02—03 час.) и только для дня (14—15 час.).

Из представленных кривых азимутального распределения видно, что в ночное время хорошо выявляется активность очагов атмосфериков западного направления. В дневное время преобладают атмосферики восточного направления (VI, VII и VIII) и южного (IX). Для июля, когда общий уровень активности высок, заметна активность также и западного направления. Следовательно, дополнительное рассмотрение азимутального распределения показывает, что наличие двух максимумов на общей кривой поля связано с дневной активностью на востоке и ночной — на западе. Для сентября это смещение не такое большое, но все же имеется. Очаги атмосфериков восточных районов для этого месяца становятся незначительной активности.

Представляет также значительный интерес перемещение очагов. Характеристика перемещений очагов атмосфериков в сторону уменьшения и увеличения азимутов дается в табл. 3.

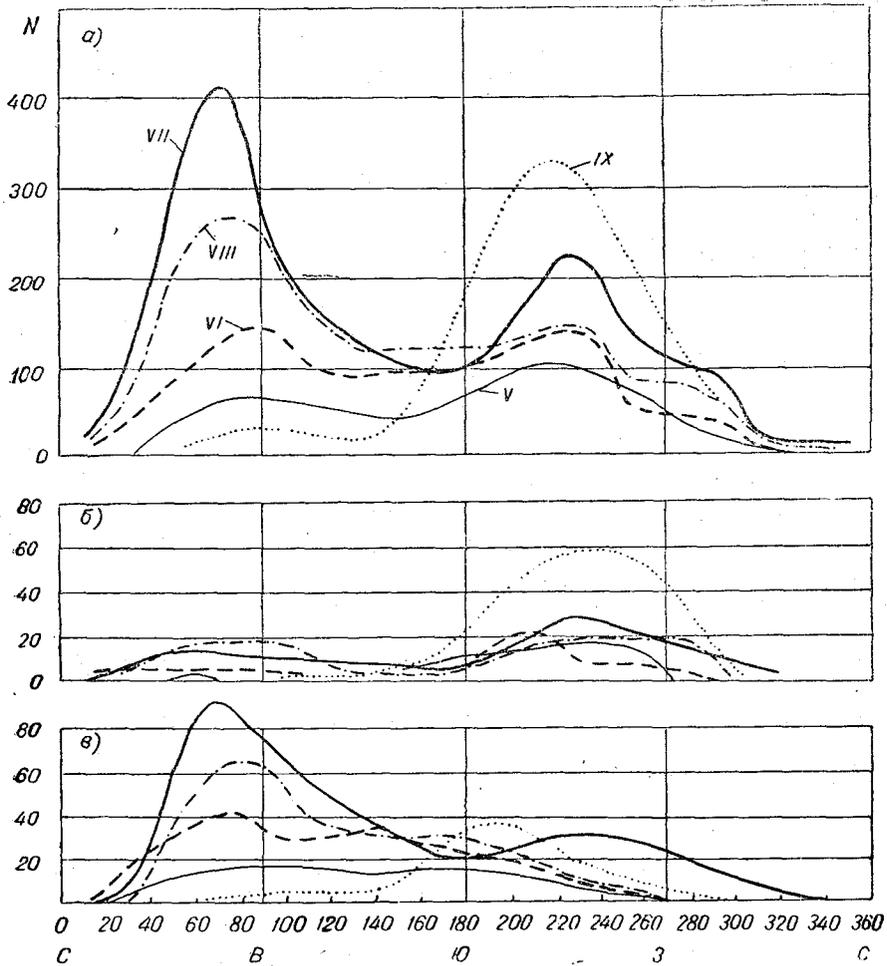


Рис. 2. Азимутальное распределение числа атмосфериков с мая по сентябрь 1953 г.

*a* — общее азимутальное распределение, *б* — для ночи (02—03 часа), *в* — для дня (14—15 час.).

Таблица 3

Месяцы	Диапазон										
	Уменьшение азимута					Увеличение азимута					
	61—90	31—60	16—30	6—15	1—5	0	1—5	6—15	16—30	31—60	61—90
V	0	8	9	37	37	41	30	17	8	2	2
VI	2	6	17	45	42	54	46	31	12	5	1
VII	2	14	23	52	38	44	30	30	10	5	3
VIII	3	27	25	24	32	43	18	16	9	0	0
IX	1	0	9	15	19	30	18	12	1	0	0
	8	55	83	173	168	212	142	106	40	12	6

Величина углового перемещения дается относительно Ленинграда (пос. Воейково) для пяти градаций по началу и концу очага. Из табл. 3 видно, что преобладает перемещение в сторону уменьшения азимутов 487 случаев (48%).

Перемещение в стороны увеличения азимута наблюдалось в 314 случаях, т. е. 31%.

Очагов, не меняющих азимута, было за сезон 214 случаев (21%).

Интересной также является продолжительность существования очага атмосфериков. Повторяемость по продолжительности для каждого месяца и сезона в целом представлена в табл. 4.

Таблица 4

Месяц	Продолжительность															≥75		
	1-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24	25-28	29-32	33-36		37-40	41-75
V	2	10	33	15	23	18	18	17	14	13	11	5	1	2	4	1	4	1
VI	3	21	34	28	40	23	19	17	24	16	7	9	5	3	2	4	6	1
VII	2	13	21	30	29	30	18	21	12	7	11	10	7	3	6	6	21	7
VIII	0	6	17	16	22	26	16	10	24	6	6	16	2	9	4	6	13	2
IX	0	10	5	5	13	12	5	9	13	3	8	2	2	2	3	3	9	4
Σ	7	60	110	94	127	109	76	74	87	45	43	42	17	19	19	20	53	15
Среднее	1	12	22	19	25	22	15	15	17	9	8	8	3	4	4	5	10	3

Из данных таблицы видно, что средняя повторяемость очагов с продолжительностью в 1—2 часа незначительна и составляет доли процента для сезона.

Значительное количество случаев имеется с продолжительностью очагов более 75 час. Следует, однако, заметить, что при этом не исключено наложение записей заканчивающегося очага на возникающий.

Максимум повторяемости и продолжительности приходится на промежуток 6—12 час.

В заключение необходимо отметить, что инструментальные наблюдения с помощью узкосекторных пеленгаторов как в Воейкове, так и в особенности в восточных районах территории СССР несомненно дали бы материалы для выяснения распределения очагов атмосфериков на территории СССР и за ее пределами. Первичная обработка записей узкосекторного пеленгатора за 1953 г. была проведена сотрудниками пункта регистрации атмосфериков Воейково.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леушин Н. И. К вопросу о важности исследования атмосфериков и наблюдений над ними для службы погоды. Гидрометеиздат, Л. 1938.

## ОПЫТНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЧИСЛОМ ГРОЗОВЫХ РАЗРЯДОВ

В 1951 г. был проведен первый опыт регистрации грозových разрядов с помощью макета грозорегистратора [1]. На основе этого опыта к началу грозового сезона 1952 г. удалось изготовить пять грозорегистраторов улучшенной конструкции.

Испытание грозорегистраторов производилось на ряде станций Северо-Западного УГМС и в Воейково. Ниже сообщаются основные данные прибора и результаты наблюдений за числом грозových разрядов, полученные в 1952 г.

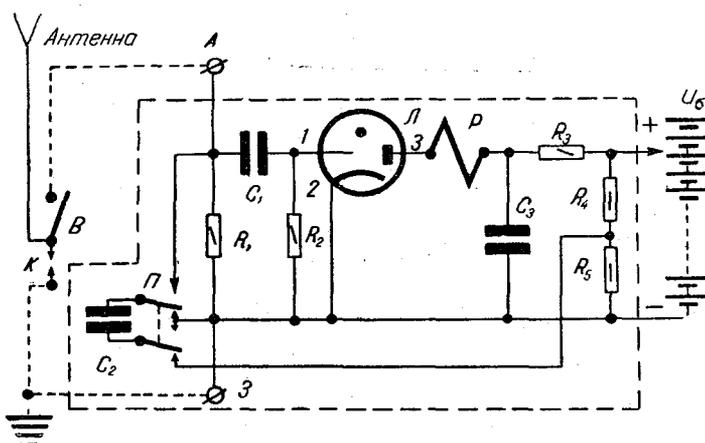


Рис. 1. Электрическая схема грозорегистратора.

Грозорегистраторы улучшенной конструкции были изготовлены по электрической схеме, представленной на рис. 1. Эта электрическая схема более совершенна, чем в макете грозорегистратора, испытывавшемся в 1951 году. В основу ее построения взят, как и ранее, тиратрон с холодным катодом (тип РТ-6 или ТХ-1). Напряжение между анодом 3 и катодом 2 устанавливается таким, чтобы оно было на 3—5 в ниже потенциала зажигания. Эта разность между потенциалом зажигания и напряжением батареи названа напряжением занижения.

Зажигание тиратрона осуществляется от импульсного напряжения, создаваемого грозovým разрядом в антенне грозорегистратора. Напряжение антенны через разделительный конденсатор  $C_1$  подводится к управляющему электроду 1. По величине оно должно быть больше напряжения занижения и отрицательного знака. После зажигания тиратрона конденсатор  $C_3$  быстро разряжается через цепь электромагнита и тиратрон. Снижение напряжения на конденсаторе  $C_3$  происходит до 70—80 в, т. е. до напряжения, при котором разряд в тиратроне не может происходить. Разрядный ток достигает 20—30 ма с продолжительностью 0,03—

0,04 сек. Этого импульса тока вполне достаточно, чтобы вызвать уверенное срабатывание пишущего электромагнитного механизма. Каждая вспышка тиратрона и связанное с ним срабатывание электромагнита сопровождается поворотом храповичка на один зубец и соответствующим ходом перьев.

После погасания тиратрона конденсатор накопления  $C_3$  подзаряжается до напряжения батареи через сопротивление  $R_3$ . Время подзаряда выбрано около 1,3 сек. В период подзаряда грозорегистратор теряет чувствительность. Время подзаряда определяет разрешающую способность прибора. Грозорегистратор может обеспечить запись до 3000 разрядов в час.

После полного подзаряда конденсатора  $C_3$  батарея остается только нагруженной током 0,04 ма. Величина постоянной токовой нагрузки, определяемая общим сопротивлением цепи  $R_4$  и  $R_5$ , как видим, является незначительной. Эта токовая нагрузка обеспечивает высокую экономичность по расходу энергии батареи. Расход батареи на запись же импульсов много меньше, чем постоянная токовая нагрузка. Так, за 6 месяцев эксплуатации прибора, например, с записью 100 000 разрядов будет израсходовано около 0,25 а-ч.

Контроль чувствительности и вообще исправности прибора осуществляется при помощи кнопки П. При нажиме на кнопку заряженный конденсатор  $C_2$  разряжается через входное сопротивление  $R_1$ . При помощи делителя напряжения, состоящего из сопротивлений  $R_4$  и  $R_5$ , устанавливается необходимое напряжение. Оно определяется свойствами тиратрона. Величина напряжения контрольного импульса обычно не более 10—12 в. При занижении в 3—4 в обеспечивается уверенное реагирование на контрольный импульс, а при занижении в 5—6 в зажигания тиратрона не происходит.

Переключатель антенны В служит, главным образом, для отключения антенны от приемника при регулировках и смене лент в период грозы.

Обычный вид грозорегистратора изображен на рис. 2. Запись числа разрядов производится на барабан 1 с суточным ходом при помощи двух перьев 2 и 3. Этим достигается расширение диапазона по числу разрядов. Нижнее перо позволяет записать 250—300 разрядов в час, а верхнее перо легко обеспечивает запись 3000 разрядов в час.

Общая чувствительность грозорегистратора к импульсам грозовых разрядов определяется свойствами приемника и параметрами антенны. Чувствительность изготовленных приемников грозорегистраторов была примерно одинаковой. Она зависит, главным образом, от свойств тиратрона и от режима питания. Здесь под режимом понимается установление соответствующего занижения.

Потенциал зажигания тиратрона должен быть таким, чтобы он не уменьшался более чем на 2 в от первой к последующим вспышкам. Важно также, чтобы реагирование на импульсное напряжение простиралось в область наиболее коротких продолжительностей ( $10^{-3}$ — $10^{-4}$  сек.). Антенны грозорегистраторов, установленных на станциях Северо-Западного УГМС, были Г-образного типа. Длина горизонтальной части антенны 30—35 м, а высота подвески 10—12 м. Заземлением прибора служила железная труба диаметром 50 мм, вбитая в грунт на глубину 1,5—2 м.

При эксплуатации грозорегистратора важно знать его радиус действия. От радиуса действия грозорегистратора будет зависеть общее число принятых разрядов, продолжительность записи, число дней с записью и некоторые другие особенности. Действительно, чем ближе центр очага разрядов от места установки грозорегистратора, тем выше средний уровень напряжений в антенне, создаваемых импульсами разрядов, и, следовательно, больше процент воспринимаемых разрядов. Принимая за 100% то число разрядов, которое воспринимается прибором, когда гроза находится над пунктом наблюдения, можно получить характеристику числа разрядов с удалением очага.

Грозорегистратор можно условно характеризовать максимальным и эффективным радиусом действия. Под максимальным радиусом действия понимаем предельное расстояние, из которого возможно восприятие около 1% числа разрядов грозы над пунктом. В этом случае средний уровень импульсного напряжения,

подводимог из антенны к управляющему электроду, недостаточен для зажигания тиратрона. И только незначительная часть их будет воспринята прибором. При этом очень слабые по активности грозы могут пропускаться.

Под эффективным радиусом действия понимается такое расстояние, когда обеспечивается восприятие около 10% от числа разрядов, записываемых для грозы над пунктом.

Максимальный радиус действия грозорегистратора можно оценить, пользуясь визуальными наблюдениями сети метеостанций. По этим данным строятся карты

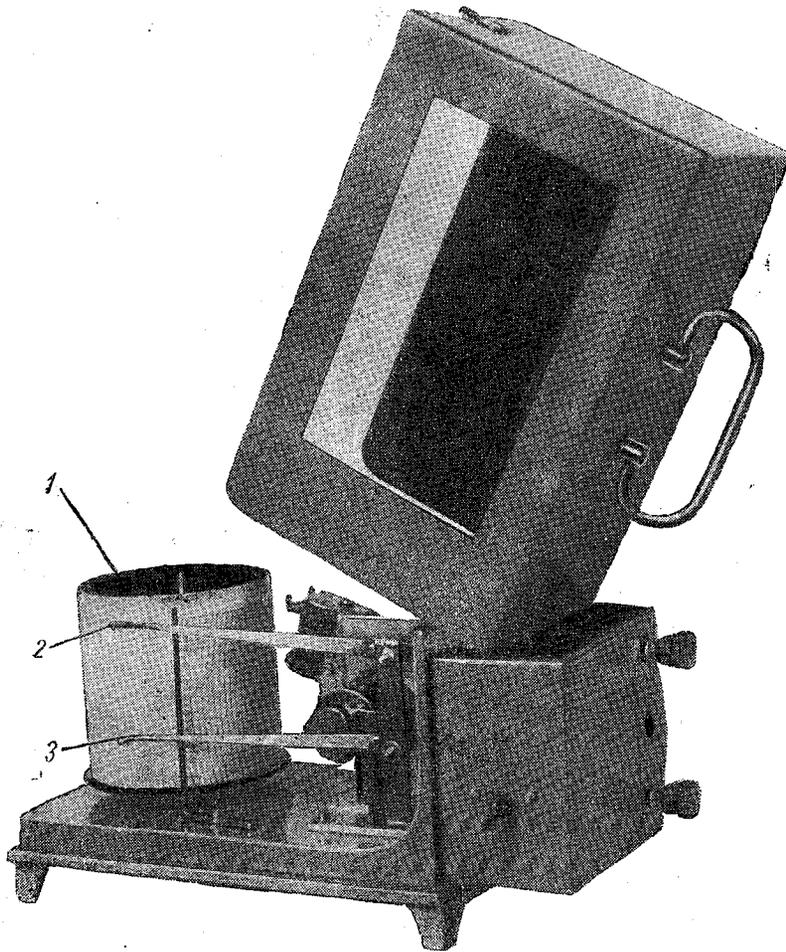


Рис. 2. Внешний вид грозорегистратора.

изохрон начала и конца грозы. Путем измерений расстояний до изохрон для часа начала или конца записи можно определить радиус действия каждого грозорегистратора и средний для всей группы из 5 грозорегистраторов. Среднее значение максимального радиуса действия оказалось 125 км. Для пункта Воейково он был выше среднего примерно на 30% за счет местоположения.

Эффективный и максимальный радиусы действия грозорегистраторов также можно оценить путем анализа записей и определения средней скорости перемещения очагов.

Из карт изохрон можно получить среднюю скорость перемещения очагов гроз. По наблюдениям 1952 г. эта скорость равна 33 км/час. Из лент с записью грозовых разрядов можно получить данные о процентном убывании (или нараста-

нии) числа разрядов для удаляющегося (или приближающегося) очага. Удобным оказалось рассматривать эту связь для часовых промежутков времени. На основе имеющихся данных было определено, что эффективный радиус действия можно представить поясом 50–80 км. По этим же данным среднее значение максимального радиуса действия составляет 130 км. Имеется также возможность оценить радиус действия грозорегистраторов из совместных наблюдений с радиолокатором.

Одновременные наблюдения по всем пунктам, где были размещены грозорегистраторы, начались 10/VII 1952 г. и продолжались до 20/IX. За три неполных месяца зарегистрировано следующее число разрядов по каждому пункту: Воейково — 1823, Николаевское — 1802, Струги Красные — 1102, Волосово — 774 и Кингисепп — 585. При одинаковом радиусе действия грозорегистраторов эти цифры характеризуют относительную активность разрядной деятельности для каждого из пунктов.

На копии ленты грозорегистратора за 9/VIII 1952 г., представленной на рис. 3, можно видеть образец записи числа разрядов и изменение их во времени. Первое срабатывание прибора появилось около 16 час. Это срабатывание видно по скачку нижнего пера вниз. В следующий час имелось пять срабатываний. Между 17 и 18 час. перо сделало 21 скачок, а между 18 и 19 час. отмечено 286 разрядов. Далее число записанных разрядов уменьшилось. Визуальные наблюдения за грозой на станции начались между 17 и 18 час. и продолжались до 24 час. После 19 час. активность грозы была небольшой. Вообще же 9/VIII является одним из наиболее активных дней сезона. Действительно, в этот день разряды отмечались всеми грозорегистраторами и визуально большинством метеостанций. Число разрядов, принятых в каждом пункте за час и сутки, представлено в табл. 1. С 00 до 04 час. запись относится к грозам, перемещающимся на восток. В вечерние часы (16–24 час.) грозовые очаги также смещались на восток и северо-восток. Из карт изохрон, построенных для этого периода, можно подметить, что значительная продолжительность визуальных наблюдений для пунктов Струги Красные и Николаевское

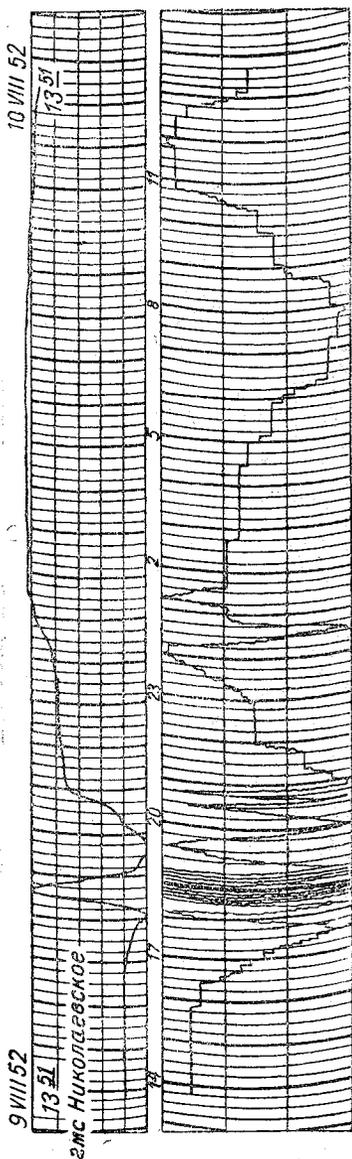


Рис. 3. Образцы записей грозорегистратора.

обусловлена как небольшой скоростью перемещения отдельных грозовых ячеек, так и повторным прохождением других грозовых ячеек, но менее активных.

Из табл. 1 видно, что запись на грозорегистраторе предшествовала визуальным наблюдениям на 2–5 час. При удалении грозы также наблюдается постепенное уменьшение числа разрядов. Это уменьшение может продолжаться несколько часов. Из наблюдений в Кингисеппе видно, что визуально гроза не отмечалась, а запись продолжалась 7 час. Следовательно, разряды были внутри радиуса действия, но за пределами визуальных наблюдений.

Вообще же необходимо отметить, что наличие значительного радиуса действия

грозорегистратора позволяет получить характеристику повторяемости гроз не для пункта, как это делается обычно в климатологии, а для района, охватываемого радиусом действия грозорегистратора. Так, из сопоставления числа дней с грозой, наблюдаемых визуально, с числом дней с записью грозорегистратором можно отметить, что число дней с записью в 2—3 раза больше.

Таблица 1

Пункт	Время																							Сумма	
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23		23-24
Струги Красные . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	20	23 <sup>2</sup>	158	3	10	1	220
Николаевское . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Волосово . . .	5	6 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Кингисепп . . .	1	1 <sup>1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Воейково . . .	22	6	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Суточное распределение числа разрядов за июль и август 1952 г.

Пункт	Месяцы	Время																							
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Струги Красные . . .	VII	0	0	2	0	2	1	3	0	2	2	2	3	10	11	33	45	24	3	6	13	7	4	0	1
	VIII	3	2	5	2	0	4	4	25	14	35	23	15	11	50	48	31	71	34	23	95	176	17	131	3
Николаевское . . .	VII	7	6	4	7	4	5	6	1	3	3	6	17	36	61	147	131	81	83	58	14	20	8	5	2
	VIII	32	15	3	0	5	3	8	27	59	56	44	59	88	66	44	37	37	31	299	91	84	30	13	22
Кингисепп . . .	VII	1	1	0	0	2	3	19	6	9	8	6	6	30	24	14	11	12	23	20	8	2	0	0	1
	VIII	8	4	1	2	3	1	5	4	6	5	11	16	17	7	10	6	3	5	8	36	71	38	40	8
Волосово . . .	VII	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	7	30	69	23	32	2	1	1	6	0	0	0	1
	VIII	20	16	31	8	7	6	2	24	7	38	72	64	30	21	3	14	2	15	46	45	126	47	11	—
Воейково . . .	VII	8	5	11	8	6	3	5	4	10	31	31	63	67	73	84	118	327	13	3	24	13	10	6	3
	VIII	49	83	74	6	5	5	5	42	14	24	42	137	137	58	14	17	6	19	14	22	52	62	80	100
Среднее		13	15	14	3	3	3	3	11	14	17	20	39	47	40	48	42	60	21	45	35	48	30	31	15

По ежечасным данным записей числа разрядов нетрудно получить суточный ход разрядной деятельности. Данные суточного хода по двум месяцам 1952 г. представлены в табл. 2. Минимум суточного хода приходится на 3—7 час., а максимум — между 12 и 21 час. Между 17 и 18 час. наблюдается частный минимум. Анализ суточного хода пока не делается из-за небольшого количества наблюдений.

<sup>1</sup> Конец записи разрядов грозы, начавшейся 8/VIII 1952 г.

<sup>2</sup> Жирные цифры относятся к периоду визуальных наблюдений.

В заключение можно отметить, что грозорегистратор достаточно прост по электрической схеме и конструкции, экономичен по расходу батареи питания и не вызывает затруднений при эксплуатации. Значительный радиус действия позволяет иметь сведения о начале разрядной деятельности на 2—3 часа раньше, чем из визуальных наблюдений в данном пункте. Непрерывная работа грозорегистратора позволяет получить документацию о разрядной деятельности, а данные записей использовать для информации. Все это говорит о том, что грозорегистратор должен найти широкое применение.

#### ЛИТЕРАТУРА

Лоч Б. Ф. Приборные наблюдения за числом разрядов близких гроз. Труды ГГО, вып. 35 (97), 1952.

---

## О ВОЗМОЖНЫХ МЕХАНИЗМАХ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ГИДРОМЕТЕОРОВ В КУЧЕВО-ДОЖДЕВЫХ ОБЛАКАХ

### 1. Электризация при соударении шаров и крупинок

Ряд авторов придает большое значение процессу электризации при соударениях снежных агрегатов между собой, вызываемых турбулентностью. Действительно, как показывают измерения, частицы снега имеют значительные заряды. Однако наличие заряженных частиц в облаках само по себе еще является недостаточным для возникновения напряженностей электрического поля, вызывающих грозовые разряды. Необходимо разделение зарядов и образование областей с разноименными зарядами.

Так как скорость падения снежных частиц мала, то и скорость разделения зарядов должна быть невелика. Поэтому образование областей с разноименными зарядами будет весьма длительным процессом.

Иного следует ожидать при соударении ледяной крупы или града со снежинками; как величины зарядов, так и скорость их разделения должна быть больше, чем при соударении снежинок.

Как известно, в грозовых облаках часто встречаются ледяная крупа и град, поэтому вопрос об электризации при соударении градин и снежинок представляет интерес. В связи с этим нами были проведены исследования электризации при соударении шаров с крупинками порошков; шары являлись моделью градин, а крупинки порошка — моделью снежинок.

Установка для исследования электризации при соударении шаров и крупинок порошка состояла из стеклянной трубы *a* диаметром 6 см и высотой 11,5 см (рис. 1). На ее верхнюю часть была одета труба из картона *b* длиной около 50 см. В нижней части стеклянной трубы находился конус *c* из жести с горлом диаметром около 3 см и расширением, в которое входило сопло центробежного вентилятора *d*. Под трубой находился металлический приемник *e* в виде небольшого цилиндра, укрепленный на изоляторе и соединенный со струнным электрометром. При опытах со стальными шарами над трубой помещался электромагнит, а при работе с шаром из сахара — раздвижная диафрагма. Электромагнит, жестяная часть трубы и корпус вентилятора были заземлены.

Поток воздуха, создаваемый вентилятором, выбирался таким, чтобы крупинки порошка, засыпанного в трубу через ее верхнюю часть, поддерживались струей.

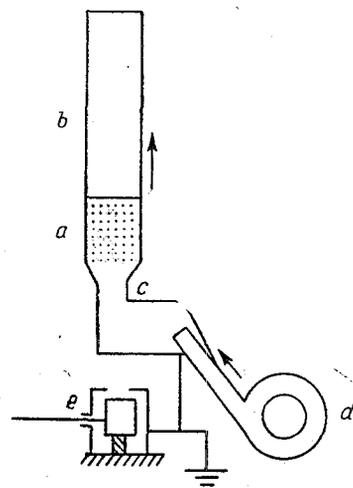


Рис. 1. Схема установки для исследования электризации при соударении шаров и крупинок.

В этом случае порошок располагался несколько выше конусной части трубы, но в пределах стеклянной части ее. Благодаря резкому перепаду скорости потока при выходе из горла в трубу, в последней создавалась значительная турбулентность. Поэтому крупинки порошка находились в весьма интенсивном движении, непрерывно соударяясь со стенками трубы и между собой. Почти немедленно после высыпания порошка в трубу освобождался шар, который, пролетая через трубу, соударялся с крупинками порошка и попадал в приемник. Заряд шара измерялся электрометром.

Для получения более или менее однородных крупинок порошок дважды просеивался через сита. Измерения размеров крупинок производились компаратором. Размер крупинки определялся как среднее из двух измерений в направлениях наибольшего и наименьшего размеров. Для каждого вещества производилось измерение размеров 20 крупинок.

Таблица 1  
Размеры крупинок серы, поваренной соли и сахара

Вещество	Средний размер (мм)	Максимальный размер (мм)	Минимальный размер (мм)
Сера . . . . .	1,11	1,34	0,91
Соль . . . . .	0,79	1,04	0,48
Сахар . . . . .	0,88	1,55	0,49

Измерение зарядов крупинок порошков показало, что сера и сахар заряжаются отрицательно, а соль — положительно (табл. 2).

Таблица 2  
Электризация шаров при пролете через порошок

Материал шара	Размер шаров (мм)	Навеска 0,5 г.		Навеска 1 г.		Навеска 2 г.		Порошок	Знак зарядов крупинок	Примечание
		количество наблюденый	средний заряд (э. с. е.)	количество наблюденый	средний заряд (э. с. е.)	количество наблюденый	Средний заряд (э. с. е.)			
Сталь	8	5	$+1,05 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	—	Сера	—	Труба изнутри покрыта сахаром
	11	5	$+1,95$	10	$+3,97 \cdot 10^{-2}$	10	$+5,9 \cdot 10^{-2}$	"	—	
	14	10	$+2,15$	10	$+6,07$	10	$+19,7$	"	—	
" "	14			10	$-1,11$	10	$-2,47$	Соль	+	
	14			10	$+4,60$	10	$+5,60$	Сахар	—	
	17			10	$+5,70$	10	$+7,30$	"	—	
Сахар	17			13	$+6,90$	11	$+6,50$	"	—	

Во всех случаях при соударениях стальных шаров с крупинками серы и сахара первые получали заряд, противоположный знаку зарядов крупинок, т. е. положительный. Это означает, что стальные шары не получают свой заряд непосредственно от заряженных крупинок. Для подтверждения полученного эффекта исследовалась электризация шаров при их падении через порошок соли. И в этом случае заряд стальных шаров оказался противоположным заряду крупинок, т. е. отрицательным.

Так как во всех опытах со стальными шарами соударение происходило между различными веществами: сталь — сера, сталь — соль и сталь — сахар, а в облаках

происходит соударение между крупными льдинками (градинами) и мелкими ледяными частичками (снежинки), поэтому было решено исследовать электризацию шара из сахара при его соударениях с крупинками сахара. Как это видно из данных строки 6 табл. 2, и в этом случае шар из сахара приобретал положительный заряд, т. е. противоположный по знаку зарядам крупинок сахара.

Так как во всех опытах крупинки при турбулентном перемешивании в трубе соударялись не только друг с другом, но и со стенками из жести и стекла, то это могло в какой-то степени сказаться на результатах измерений. Для того чтобы выяснить этот вопрос труба изнутри была покрыта слоем клея, поверх которого был насыпан сахар. Тем самым была создана поверхность из сахара и крупинки сахара соударялись с этой поверхностью. И в этом случае, как это следует из табл. 2, крупинки приобретали отрицательные заряды, а шар из сахара — положительный.

Большая часть опытов производилась со стальными шарами диаметром в 14 мм. Для того чтобы установить влияние размеров шаров на электризацию, производились также опыты с шарами диаметром в 8 и 11 мм. Как видно из табл. 2, с увеличением диаметра шаров увеличивается их электризация.

Была также исследована зависимость электризации шаров от количества крупинок в трубе, т. е. от объемной плотности порошка в трубе. Как это следует из табл. 2, при увеличении навески порошка происходит увеличение электризации шаров. Однако определенной зависимости электризации от изменения диаметров шаров или от объемной плотности порошка в трубе не удалось выявить, хотя и было выполнено около 150 отдельных измерений.

Из проделанных опытов можно сделать вывод, что во всех случаях соударения шаров с крупинками шары получают заряды противоположного знака зарядам крупинок. Переноса полученные результаты на случай соударения градин со снегом, можно предполагать, что и градины приобретут заряды противоположного знака заряду снежинок. Благодаря большой скорости падения градин, следует ожидать быстрого разделения зарядов в облаках. Из опытов Н. А. Гезехуса и других [1, 3] известно, что крупные частицы снега при соударении со сплошным льдом заряжаются отрицательно, следовательно, при соударении градин с частицами снега первые будут заряжаться положительно, а вторые — отрицательно.

Возможно, что этим эффектом частично объясняется отрицательный заряд облачной массы при грозах, а также значительные электрические поля, которые наблюдаются при падении ледяной крупы из кучево-дождевых облаков в переходное время года.

## 2. Электризация при отрывании капель от тающего куска льда в электрическом поле

Так как в грозовых облаках всегда имеются значительные электрические поля, то на каплях, отрывающихся от градин, должны появляться заряды, зависящие от напряженности поля. То, что при этих условиях на каплях должны появляться заряды, было обнаружено нами еще в 1946—1947 гг. рядом предварительных опытов [2].

В 1951 г. были поставлены исследования с целью определить зависимость электризации от напряженности поля. Для этого была смонтирована установка, схема которой показана на рис. 2. Между двумя горизонтальными дисками диаметром 150 см подвешивался кусок льда  $c$  на нити, укрепленной на изоляторе  $d$ . Расстояние между дисками было равно 57 см. Струя воздуха, создаваемая вентилятором  $f$ , срывала капли с куска льда, и они падали на нижний диск  $b$ , служащий приемником и соединенный со струнным электрометром.

Поле создавалось между верхним диском  $a$ , заряжаемым электрофорной машиной, и сеткой  $k$ . Для стабилизации поля к верхнему диску присоединился ряд больших емкостей  $g$ . Потенциал диска определялся стрелочным электрометром. Нижний диск во избежание порчи струнного электрометра при случайном

разряде был покрыт заземленной металлической сеткой  $k$ . Сторона ячейки сетки была примерно равна 10 см, а толщина проволочек 0,1 мм, поэтому вероятность соударения капель с проволокой сетки была мала и в основном они падали на диск, не соприкасаясь с сеткой.

Емкость системы: приемный сосуд — соединительные провода — электрометр оказалась равной  $350 \pm 23$  см. Напряженность поля определялась из потенциала верхнего диска и расстояния между ним и заземленной сеткой, которое составляло 23 см. Так как ячейки сетки были большими, то поле частично могло проникать вглубь через них под сетку. Поэтому в действительности напряженность поля в этих опытах должна была быть несколько меньше значений, полученных указанным выше способом.

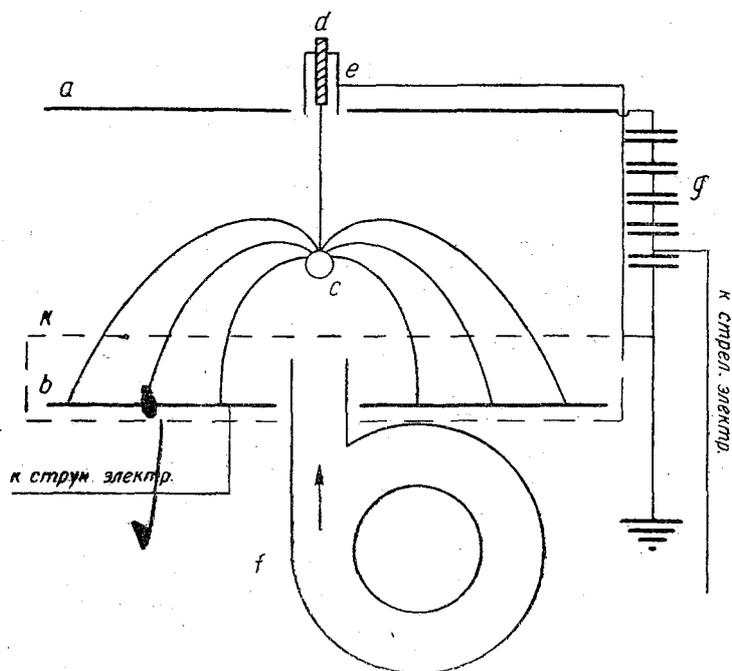


Рис. 2. Схема установки для исследования электризации при отрывании капель от куска тающего льда в электрическом поле.

Ширина струи, создаваемая вентилятором, была порядка 4—5 см, и поэтому кусок льда, подвешенный на нити, довольно сильно раскачивался, пересекая каждый раз струю. Скорость струи была достаточной для того, чтобы капли срывались со льда и разбрасывались по нижнему диску на площади диаметром 80—100 см. Очевидно, что условия срывания капель в наших опытах должны были в какой-то степени отличаться от условий отрывания капель с падающей градины, а именно тем, что градины не претерпевают при своем падении таких резких изменений скорости воздушного потока, какие испытывал кусок льда в струе вентилятора.

Были измерены заряды 991 капли, из которых 431 имела положительные заряды, а 560 — отрицательные. Появление зарядов того или иного знака обусловливалось рядом причин, учесть которые не было возможности: неоднобразие в раскачивании куска льда на нити, неопределенность момента и места отрывания капли и т. п. Вообще от куска льда отрывалась обычно одна крупная капля, чаще всего диаметром 0,4—0,5 см, и ряд маленьких капелек. Все это вместе взятое приводило к заметному разбросу данных отдельных измерений зарядов капель, к необходимости произвести большое число измерений и пользо-

ваться только средними значениями для установления зависимости от напряженности поля. Всего было поставлено 9 отдельных опытов при напряжениях поля от 250 до 550 в/см. Каждый опыт производился при определенной напряженности поля и неизменном его направлении (верхний диск имел положительный потенциал) и продолжался до тех пор, пока не оставалась примерно половина начального куска льда. Данные о средних и максимальных зарядах из этих опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Величина зарядов капель при различной напряженности поля

№ опыта	Напряженность поля (в/см)	Количество капель	Средний заряд капли (э. с. е.)	Максимальный заряд капли (э. с. е.)	Примечание
1	410	47	0,35	0,75	Бесформенный кусок
2	400	63	0,37	1,30	Шар
3	370	138	0,24	1,00	Бесформенный кусок
4	450	98	0,30	0,85	То же
5	430	145	0,32	1,20	
6	550	102	0,50	1,85	Шар
7	410	119	0,32	0,75	Бесформенный кусок
8	390	238	0,32	0,95	То же
9	260	41	0,17	0,55	Шар

Как видно из табл. 3, при одной и той же напряженности поля (опыты № 1, 2, 7 и 8) электризация капель, срывающихся с бесформенного куска льда и ледяного шара, примерно одинаковая. Кроме того, из таблицы следует, что с увеличением напряженности поля происходит увеличение как средних зарядов капель, так и максимальных.

Если учесть, что в грозовых облаках существуют весьма большие поля, то следует ожидать, что при таянии градин и отрывании от них капель должны образоваться большие заряды, значительно большие, чем те, которые могут образоваться без электрического поля. Так как скорость падения градин велика, то тем самым обеспечивается достаточная скорость разделения зарядов. Следовательно, электризация при отрывании капель от тающих градин в поле грозовых облаков может играть значительную роль в процессах образования и разделения зарядов в грозовых облаках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гезехус Н. А. Атмосферное электричество и влияние на него пыли. Метеорологический Вестник, 12, 424, 1902.
2. Мучник В. М. Исследование электризации капель при разрушении в электрическом поле. Метеорология и гидрология, № 4, 19, 1949.
3. Stäger A. Experimentaluntersuchungen über Kontaktelektrizierung von stäubund wolkenförmig zerteilten Körpern, speziell von Schnee als gewitterbildendem Faktor. Ann. d. Phys. 76, 49, 1925.

## ГРАДИЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В АТМОСФЕРЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ЗУЕ ЗА 1943—1950 гг.

Опубликованные до сих пор материалы наблюдений над атмосферным электричеством были получены в основном в Европейской части СССР, и в литературе совершенно отсутствуют данные для Восточной Сибири, если не считать работу Н. И. Леушина [1]. Но, как указывает сам автор, исходный материал для нее был получен в условиях, неблагоприятствующих атмосферно-электрическим измерениям (городская обстановка, обилие дыма и пыли, близость жилых помещений и др.).<sup>1</sup>

Приводимые в нашей статье результаты измерений градиента электрического потенциала получены на основе 8-летних наблюдений в Зуе<sup>2</sup> (в 35 км к северо-западу от Иркутска, высота над уровнем моря 430 м).

Для регистрации градиента потенциала был использован механический электрограф типа Бенндорфа. Он был помещен в одной из комнат деревянного двухэтажного здания Магнитной обсерватории, расположенной на поляне соснового бора. По одному краю бора, занимающего площадь около 1 км<sup>2</sup>, в 900 м от пункта наблюдения проходит железная дорога, а по другому, в 300 м, — автомобильно-гужевой тракт. Невдалеке от места наблюдений расположены два одноэтажных жилых дома и несколько небольших построек.

Приемной частью в установке служит иониевый коллектор, укрепленный на штанге. Штанга изолирована при помощи двух гофрированных изоляторов и пропущена через достаточно широкое отверстие в окне, чтобы она не касалась краев отверстия даже при сильных ветрах. Коллектор выдвинут на расстояние 137 см от стены. Высота его над землей составляет 2,95 м.

Чувствительность самописца определялась не реже 3 раз в месяц и за период наблюдений различалась в пределах от 4,0 до 6,0 в/мм при подаче на квадранты напряжения от  $\pm 120$  до  $\pm 160$  в.

В значения чувствительности вводилась поправка на изменение напряжения на квадрантах по известной формуле для квадрантного электрометра.

Проверка изоляции установки производилась ежедневно в 8 и 20 час.

Поправка на недостаточность изоляции колебалась от 1 до 5%.

Редукционный множитель определялся методом Нориндера, и при обработке принята средняя величина его, равная 3,31, так как при достаточно частых определениях редукционного множителя в течение 1944—1945 гг. не удалось обнаружить изменение его от зимы к лету, что объясняется, повидимому, тем, что коллектор расположен высоко, и толщина снежного покрова не оказывает заметного влияния на расстояние коллектора от земли.

<sup>1</sup> По этим причинам И. И. Леушин отметил целесообразность перенесения станции в Зуи.

<sup>2</sup> Наблюдения в Зуе были организованы В. В. Новышем летом 1943 г. Проводившийся В. Гневнышевым в 1933—1935 гг. наблюдения после его отъезда из Зуя прекратились.

В приведенных ниже таблицах и графиках приняты следующие обозначения:  
 $V_1$  — градиент потенциала по всем без исключения дням;  
 $V_2$  — градиент потенциала по спокойным дням или так называемым „нормальным дням“, т. е. когда отсутствуют осадки, туманы, метели, грозы и нижняя облачность. Верхняя облачность не должна превысить 3—4 баллов. Изменения градиента потенциала не сопровождаются переходом через нулевое значение.

$V_3$  — градиент потенциала по дням с нарушенным нормальным ходом, но когда изменения потенциала происходят без изменения знака.

Запись обрабатывалась общепринятым способом. Время принято местное.

Как известно, градиент электрического поля имеет регулярные, периодические изменения, из которых наиболее изучены годовые и суточные колебания его.

Годовой ход градиента потенциала и фактора мутности в Зуе представлен на рис. 1. Как видим, максимум приходится на зимние месяцы, а минимум — на летние. Значения градиента весной несколько больше, чем осенью. Такой годовой ход является типичным для станций средних широт северного полушария.

Амплитуда годового хода по данным за все дни равна 57 в/м, что составляет 54% от среднегодового значения  $V_2$ , а амплитуда годового хода по спокойным дням равна 68 в/м, или 57% от среднегодового значения  $V_2$ .

Небольшие колебания  $V_2$  в летний период объясняются, повидимому, малым количеством спокойных дней в этот период (например, в июне за 8 лет подобрано всего 10 спокойных дней).

Наибольшая разница в среднемесечных значениях  $V_2$  приходится на зимние месяцы, что можно объяснить частыми туманами в этот период. Последние, как известно, сопровождаются повышенными значениями градиента потенциала. Аналогичная зависимость обнаружена и для Ташкента [2]. Причины, вызывающие годовые изменения градиента электрического потенциала, до сего времени полностью не выявлены.

Н. А. Парамонов показал [4], что годовой ход напряженности поля определяется годовым ходом поверхностной плотности заряда земли и чередованием теплого и холодного полугодий. В эти периоды одна из характеристик атмосферы — ее запыленность сильно различается. Зависимость между напряженностью электрического поля атмосферы и ее запыленностью достаточно хорошо изучена Е. А. Чернявским [5].

Д. Н. Кулагин [6] обнаружил отчетливо выраженный обратный годовой ход фактора мутности и градиента электрического поля атмосферы для Ташкента. При сопоставлении годовых изменений градиента потенциала и факторов мутности, по нашим данным, представленным на рис. 1, обнаруживается аналогичная закономерность.

Суточный ход градиента потенциала, как это видно из рис. 2 и табл. 1, за исключением декабря носит характер двойной волны. В декабре у кривой суточных колебаний градиента наблюдается суточный период. Такой же характер имеет суточный ход по данным  $V_1$  и  $V_3$  (табл. 2).

Суточный ход градиента потенциала имеет следующие экстремальные значения: вечерний максимум —  $\max_e$ , утренний максимум —  $\max_m$ , утренний минимум —  $\min_m$  и дневной минимум —  $\min_d$ .

В табл. 1 указаны время наступления экстремальных значений, отклонения экстремальных значений  $V_2$  от среднесуточного  $\Delta V_2$ , длительность дневной деп-

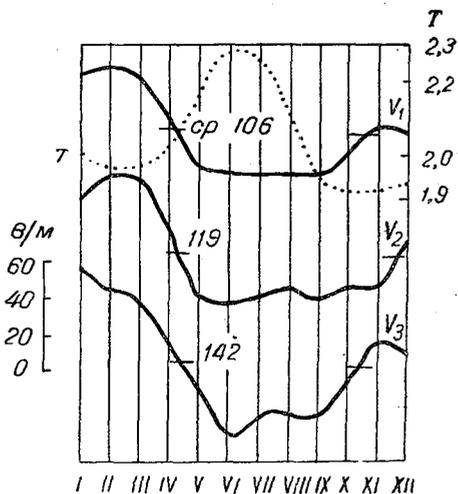


Рис. 1. Годовой ход градиента потенциала и фактора мутности  $T$ .

Элементы суточного хода по спокойным дням

Экстремальные значения	Время наблю-дения	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
Max <sub>e</sub>	Время	20-21	20-21	21-22	22-23	24-1	24-1	24-1	22-23	21-22	21-22	20-21	19-20	21-22
	$\Delta V$	+52	+64	+69	+49	+25	+14	+15	+22	+22	+22	+27	+41	+25
Max <sub>m</sub>	Время	10-11	10-11	8-9	7-8	6-7	7-8	6-7	6-7	9-10	8-9	8-9	--	7-8
	$\Delta V$	-6	-13	-13	+22	+38	+28	+32	+19	+4	+15	-2	--	+2
Min <sub>m</sub>	Время	6-7	5-6	4-5	3-4	1-2	3-4	3-4	3-4	5-6	5-6	5-6	5-6	4-5
	$\Delta V$	-31	-44	-31	+7	+18	+3	+12	+8	-6	-9	-21	-26	-6
Min <sub>d</sub>	Время	12-13	12-13	13-14	17-18	15-16	17-18	15-16	13-14	13-14	13-14	11-12	--	12-13
	$\Delta V$	-11	-18	-24	-42	-35	-26	-24	-20	-20	-15	-13	--	-18
D		10	10	13	15	18	17	18	16	12	13	12	9	14
A		83	108	100	91	73	54	56	42	42	37	48	67	43
ω%		56	57	62	69	74	51	60	39	44	34	48	50	36

рессии в часах  $D$ , амплитуда суточного хода  $A$  и относительная амплитуда  $\omega$  в процентах.

Из приведенных данных видно, что дневной минимум, слабо выраженный в январе и феврале, к лету переходит в пологую депрессию. Как и на других континентальных станциях, в летние месяцы вечерний максимум перемещается на более поздние часы (с 19 час. зимой до 24 час. летом), а утренний максимум — на более ранние часы (с 11 час. зимой до 6 час. летом). Такое перемещение этих экстремальных значений вызывает изменение продолжительности дневной депрессии с 10 час. в январе до 18 час. в июле, после чего она снова начинает уменьшаться. Время появления остальных экстремальных значений колеблется в течение года также в широких пределах: утреннего минимума от 2 (летом) до 7 (зимой) часов и дневного минимума — от 11 (зимой) до 18 (летом) часов. Максимальные значения абсолютных амплитуд суточного хода  $V_2$ , а также  $V_1$  приходится на зимнее время, а максимальные значения относительных амплитуд его — на май. Главный минимум с апреля по сентябрь наблюдается днем, а в остальное время приходится на утро.

Как известно, главный максимум на многих континентальных станциях в течение всего года приходится на вечер. В Зуе, в отличие от сказанного, главный максимум суточного хода  $V_2$  летом (май—июль) наступает утром, а в остальные времена года — вечером. Аналогичное изменение главного максимума и минимума имеет место и для Свердловска. Н. И. Леушин [1] отметил, что начало кривой суточного хода  $V_2$  в Иркутске несколько приподнято по сравнению с ее концом в том смысле, что утренний минимум и дополуночный максимум выше полуденной депрессии и вечернего максимума. Приведенные здесь кривые показывают, что приподнятость начала кривой суточного хода  $V_2$  имеет место и для Зуя, но не для всего года, а только для лета. Эта особенность суточного хода  $V_2$  наблюдается и в Слуцке (с апреля по сентябрь утренний минимум выше полуденной депрессии) [7].

Представляется интересным привести некоторые выводы по результатам гармонического анализа суточного хода градиента потенциала  $V_2$ .

Обычно унитарная вариация отождествляется с выделяемой гармоническим анализом 1-й гармоникой. По данным Зуя, как и на других континентальных станциях, вряд ли 1-ю гармонику можно принять за унитарную вариацию, ибо экстремальные значения суточной волны от зимы к лету переходят на более позднее время и не совпадают с моментами наступления крайних значений унитарной волны.

Согласно Моккли, выделение унитарной волны путем гармонического анализа может быть с успехом произведено для тех станций, на которых отношение ампли-

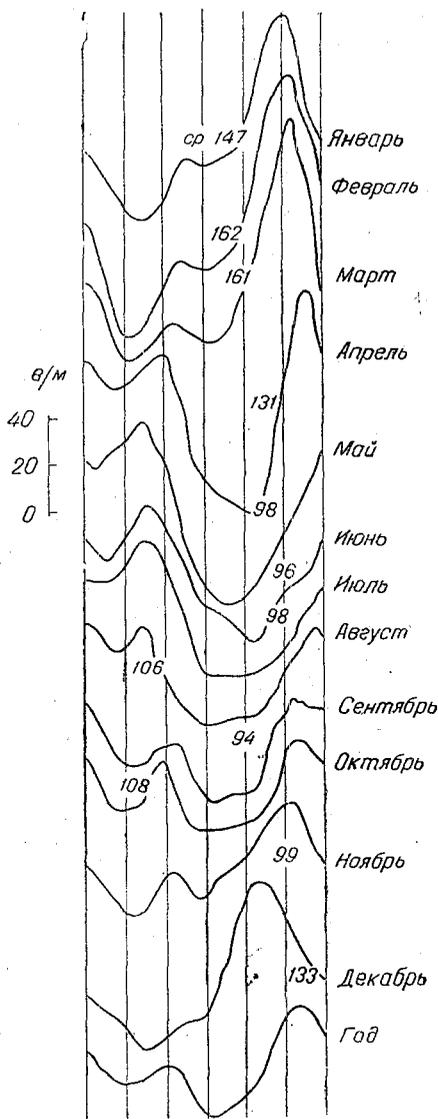


Рис. 2. Среднесуточный ход градиента потенциала по спокойным дням  $V_2$ .

## Средний суточный ход гради

Время наблюдения	Гради- енты	Средний суточный ход гради										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Январь	$V_1$	142	140	134	125	118	115	115	115	120	128	130
	$V_2$	143	139	136	128	120	118	116	120	128	138	141
	$V_3$	195	191	181	175	172	170	164	167	171	185	190
Февраль	$V_1$	153	148	144	134	125	120	118	120	129	134	130
	$V_2$	172	156	140	130	121	118	121	131	138	149	149
	$V_3$	198	193	186	177	165	157	153	154	167	175	166
Март	$V_1$	156	154	147	137	127	120	119	126	135	138	132
	$V_2$	162	158	151	138	130	130	134	142	148	146	144
	$V_3$	193	190	184	174	161	153	150	156	170	176	169
Апрель	$V_1$	143	143	139	131	124	123	126	131	132	125	113
	$V_2$	149	147	145	138	139	143	148	153	151	142	127
	$V_3$	190	189	187	172	164	167	174	179	179	166	144
Май	$V_1$	102	103	103	101	101	108	113	113	104	91	81
	$V_2$	123	116	118	124	125	132	136	128	117	104	88
	$V_3$	154	151	141	148	154	162	174	155	146	124	107
Июнь	$V_1$	87	89	92	95	97	102	106	103	95	89	84
	$V_2$	110	107	101	99	106	117	122	124	119	108	98
	$V_3$	118	117	113	118	120	128	134	139	135	118	103
Июль	$V_1$	97	98	97	96	102	107	107	101	96	91	85
	$V_2$	112	113	111	110	117	127	130	129	124	111	97
	$V_3$	134	134	133	128	129	118	139	140	139	131	114
Август	$V_1$	98	98	98	98	99	99	103	97	90	85	80
	$V_2$	126	125	119	114	118	124	125	116	102	100	98
	$V_3$	123	123	128	130	135	143	144	135	125	117	107
Сентябрь	$V_1$	83	86	89	89	87	86	88	87	86	81	75
	$V_2$	113	109	99	91	89	88	94	95	96	98	93
	$V_3$	118	122	125	126	130	135	134	126	119	114	105
Октябрь	$V_1$	115	111	104	99	96	94	94	97	101	101	99
	$V_2$	120	115	108	105	101	99	105	118	123	117	105
	$V_3$	151	146	136	126	120	118	119	124	133	136	131
Ноябрь	$V_1$	112	114	108	106	104	101	97	99	104	113	112
	$V_2$	99	94	92	84	78	78	86	92	97	96	90
	$V_3$	154	145	143	144	141	136	134	131	135	143	153
Декабрь	$V_1$	110	107	102	96	92	91	90	90	90	93	98
	$V_2$	129	124	123	122	111	107	108	108	112	116	119
	$V_3$	149	143	134	126	122	120	118	114	117	123	130
Год	$V_1$	116	116	113	109	106	106	106	107	107	106	102
	$V_2$	130	125	120	115	113	115	119	121	121	119	112
	$V_3$	165	154	149	145	143	142	146	143	145	142	135

Примечание.  $V_1$  — градиент потенциала по всем без исключения дням,  $V_2$  — градиент через 0.

енга потенциала за 8 лет

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Среднее
127	124	123	124	127	133	145	161	169	168	163	155	151	136
138	136	139	140	142	154	171	184	197	199	185	168	155	147
187	186	185	179	179	188	207	222	223	226	221	207	197	190
123	119	118	122	128	133	144	160	171	178	179	174	168	140
146	144	146	147	151	162	185	206	220	226	222	209	204	162
155	148	146	154	164	171	181	201	222	237	239	231	221	182
124	117	112	111	114	118	124	135	151	161	162	158	155	135
141	138	137	138	146	158	166	184	208	225	230	215	206	161
160	155	153	155	160	167	174	186	203	216	222	218	215	178
103	96	95	90	89	90	91	95	102	110	119	128	134	115
109	104	103	98	95	91	89	99	121	144	164	180	175	131
129	119	115	113	112	115	119	128	141	154	164	174	186	153
75	71	67	65	65	66	66	68	73	78	84	91	96	87
77	72	66	64	63	65	70	77	86	91	98	105	114	98
106	103	100	99	98	95	98	103	110	120	129	133	136	127
79	75	74	71	67	63	64	65	67	72	77	84	88	83
90	84	83	82	79	74	70	74	79	86	92	93	96	96
97	91	89	87	81	77	76	76	76	82	93	104	109	103
77	73	70	72	74	73	72	73	73	75	82	88	89	86
85	76	75	76	74	75	78	78	80	83	90	101	103	98
97	91	91	93	94	97	98	99	100	101	104	105	123	114
74	74	71	71	71	74	77	78	79	86	91	92	90	86
89	87	86	87	88	88	89	89	98	109	114	128	127	106
98	94	93	91	88	88	91	94	104	122	133	136	134	116
71	68	67	68	67	68	70	74	85	95	98	97	98	82
83	75	74	76	78	79	80	92	102	114	116	114	113	94
105	95	89	86	86	86	91	99	109	124	130	129	128	113
95	92	90	88	84	83	87	94	104	112	115	116	115	99
96	94	93	93	94	94	97	100	105	120	130	128	125	108
126	123	119	115	109	107	115	128	140	149	157	162	157	131
114	112	111	109	108	112	118	119	120	123	121	118	118	111
86	88	94	96	96	102	113	122	123	126	124	116	114	99
154	160	160	156	161	166	170	172	175	181	171	159	153	154
103	107	109	110	111	118	127	132	134	130	117	116	115	108
117	119	123	128	136	153	169	173	174	168	158	148	143	133
135	139	145	151	159	169	178	187	186	184	180	172	161	148
97	94	92	92	92	94	99	104	111	116	117	118	118	106
105	101	102	102	104	108	114	123	133	141	144	142	140	119
129	125	124	123	124	127	134	141	149	158	162	161	160	142

потенциала по спокойным дням,  $V_3$  — градиент потенциала по дням без перехода градиента

туды полусуточной волны к амплитуде суточной волны  $\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$  не превышает 0,67, причем последнее отношение характеризует влияние местных воздействий на суточный ход градиента: более значительным величинам (большим 0,67) соответствуют тоже значительные местные воздействия и наоборот („критерий Моккли“).

По нашим данным получилось, что для осени  $\frac{A_2}{A_1} \gg 0,67$  и для остальных времен года  $\frac{A_2}{A_1} < 0,67$ , между тем нельзя сказать, чтобы в эти сезоны суточная волна представляла унитарную волну.

Наличие факторов физико-географического характера, влияющих на суточный ход градиента потенциала и выступающих соответственно местному времени, очевидно. Такими причинами могут быть изменения проводимости воздуха, связанные, главным образом, с изменениями степени его запыленности, и турбулентный перенос объемных зарядов. Поэтому, как показал П. Н. Тверской [8], сложная кривая суточного хода напряженности поля над сушей может быть разложена на отдельные составляющие, обусловленные унитарной волной, вариациями проводимости в атмосфере и конвективным током объемных зарядов.

Не имея данных об электропроводности атмосферы и распределении объемных зарядов в Зуе, мы вынуждены были ограничиться разложением наблюдаемых отклонений от среднего  $\Delta V_2$  на составляющую, обусловленную унитарной волной  $\Delta V_2^+ = \frac{\bar{V}_2}{\bar{V}_M} \Delta V_M$ , и на локальные вариации  $\Delta V_2^{++} = \Delta V_2 - \Delta V_2^+$ , характеризующие суммарное влияние вариаций проводимости и объемных зарядов, где  $\bar{V}_2$  и  $\bar{V}_M$ , соответственно средние значения градиента потенциала в пункте наблюдений и на море, а  $\Delta V_M$  — отклонение градиента на море от среднего по результатам наблюдений института Карнеги, обработанных Моккли [9].

Полученные кривые локальных вариаций значительно изменяются от сезона к сезону (рис. 3). Утренний минимум и вечерний максимум в кривой для зимы выражены ярко, а предполуденный максимум и послеполуденный

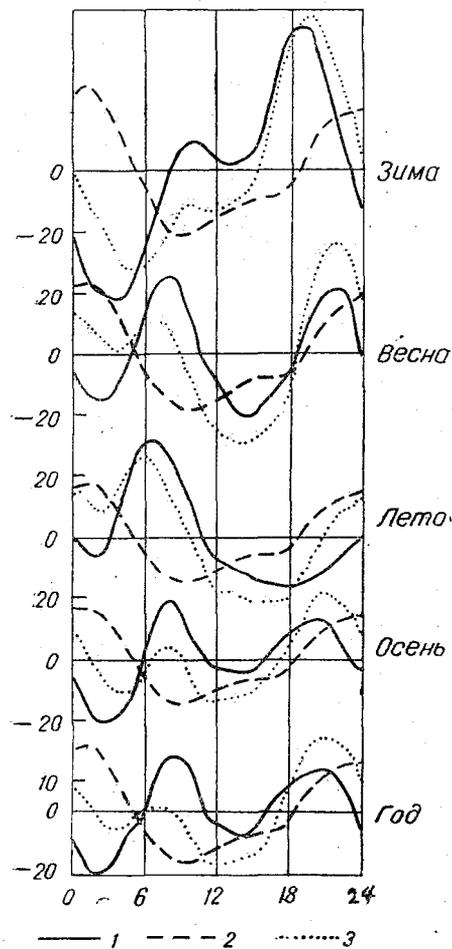


Рис. 3. Суточный ход унитарной вариации (1), локальной вариации (2) и отклонений от среднего (3).

минимум — очень слабо. В кривой для лета, наоборот, хорошо выражены дневной минимум и утренний максимум. Кривые для весны и осени, имея почти одинаковый вид, отличаются тем, что послеполуденный минимум в кривой для весны меньше утреннего минимума, а в кривой для осени — наоборот.

Сравнение кривых локальных вариаций  $\Delta V_2^{++}$  с кривой наблюдаемого хода градиента  $\Delta V_2$  показывает параллельность в ходе этих кривых. Последнее подтверждает тот факт, что наблюдаемый в действительности суточный ход определяется в основном суточными изменениями проводимости и объемных зарядов, а участие унитарной волны в образовании суточного хода градиента потенциала меньше участия локальной вариации и составляет всего 33% от среднего значения

градиента. Причем роль ее, кроме смещения времени наступления экстремумов градиента, сводится к некоторому увеличению вечерних и уменьшению утренних значений его.

Характер годового изменения вторичного максимума и минимума (едва заметны зимой, а в декабре совершенно отсутствуют и летом превращаются в главные экстремальные значения) в суточном ходе градиента будет понятным, если учесть, что летом благодаря возникновению мощных восходящих потоков воздуха получается перераспределение объемных зарядов. Как известно, положительных ионов скапливается больше у земной поверхности ночью, создавая значительные объемные заряды, которые вызывают увеличение градиента. При усилении конвекции с восходом солнца положительные ионы распределяются на всю большую толщу атмосферы и тем самым вызывают уменьшение градиента потенциала до момента наибольшего развития конвективных течений. При затухании конвективных течений положительные объемные заряды, находясь выше коллектора, вызывают снова увеличение градиента, но затем, по мере скапливания положительных ионов ниже коллектора, градиент потенциала вновь уменьшается.

Простой суточный ход градиента в декабре не является отображением унитарной волны. Это подтверждается тем, что экстремальные значения суточного хода градиента не совпадают не только с таковыми для унитарной волны (максимум в 2 час. и минимум в 11 час.), но и с наблюдаемым параллельным суточным изменением градиента и локальной вариации.

Повторяемость отрицательных значений градиента  $n$  (среднемесячное число часов, когда наблюдались отрицательные значения градиента на протяжении не менее 5 мин.), по данным за 5 лет (табл. 3), имеет определенный суточный и годовой ход. Годовой ход характерен наиболее частой повторяемостью летом и весной, менее частой — зимой и осенью. Аналогичная зависимость имеет место и для других пунктов.

В суточном ходе  $n$  для всех времен года обнаруживается преобладание отрицательного значения градиента в дневные часы и значительное уменьшение в вечерние часы, т. е. наибольшее число часов с отрицательным значением градиента падает на те часы, когда наблюдается утренний минимум и полуденная депрессия, и, наоборот, наименьшее число часов совпадает с максимумом градиента. Эта зависимость имеет место и для Иркутска [1]. Число часов с отрицательным значением градиента составляет всего лишь 9% от общего числа часов в году.

Средняя величина отрицательного значения градиента потенциала по временам года, по данным за 5 лет, распределяется следующим образом:

Зима . . .	76 в/м
Весна . . .	101 "
Лето . . .	128 "
Осень . . .	125 "

Максимум в суточном ходе отрицательных значений градиента  $V_{отр}$  (табл. 3), как и в Свердловске, наступает в 14—16 час. и составляет в среднем всего 22 в/м.

Сопоставление суточных и годовых изменений  $V_2$  с изменениями  $V_1$  и  $V_3$  показывает, что между ними нет существенных отличий.

Некоторое отличие замечается только в величине амплитуды суточных и годовых колебаний, которая в дни без перехода градиента через нуль, как правило, выше, а по всем без исключения дням ниже амплитуды его по спокойным дням. Указанное отличие объясняется тем, что в значения градиента по спокойным дням не вошли как отрицательные, так и большие положительные значения, по амплитуде значительно превышающие среднее его значение.

Этот дополнительный материал подтверждает отмеченные выше закономерности градиента потенциала и делает их вполне надежными.

Время наблюдения	Среднее																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Зима	$V_1$	135	132	127	118	112	109	108	112	118	119	118	117	117	119	122	128	139	151	158	159	153	150	145	128
	$V_2$	148	140	133	127	117	114	115	120	126	134	136	133	136	138	147	156	175	188	197	198	188	175	167	147
	$V_3$	181	176	167	159	153	149	145	145	152	161	162	159	158	159	161	167	176	189	203	210	216	213	203	193
Весна	$V_1$	134	133	130	123	117	117	119	123	124	118	109	101	95	91	89	91	93	99	109	116	122	126	128	112
	$V_2$	145	140	138	133	131	135	139	141	139	131	120	109	105	102	100	101	105	108	120	138	153	164	167	130
	$V_3$	179	177	171	165	160	161	166	164	165	155	140	132	126	123	122	123	126	130	139	151	163	172	175	179
Лето	$V_1$	94	95	96	96	99	103	105	100	94	88	83	77	74	72	71	70	71	72	73	78	83	88	89	85
	$V_2$	115	115	110	108	114	123	126	123	115	106	98	88	82	82	82	80	79	79	80	86	93	99	107	100
	$V_3$	125	124	124	125	128	130	139	138	133	122	108	97	92	91	90	88	87	88	90	93	102	110	115	122
Осень	$V_1$	103	104	100	98	96	94	93	94	97	98	95	94	91	89	88	88	92	96	103	110	111	110	109	97
	$V_2$	111	106	100	93	89	88	95	102	105	104	96	88	86	87	88	89	92	105	110	120	123	119	117	100
	$V_3$	141	138	135	132	130	130	129	127	129	131	130	128	126	123	119	119	120	125	133	141	151	153	150	146
Зима	$\Delta V_2$	+1	-7	-14	-20	-30	-33	-32	-27	-21	-13	-11	-13	-14	-11	-9	-4	+9	+28	+41	+50	+51	+41	+28	+20
	$\Delta V_2^+$	+22	+26	+26	+21	+13	+4	-6	-14	-19	-22	-21	-19	-16	-14	-11	-9	-10	-9	+2	+10	+15	+17	+19	
	$\Delta V_2^{++}$	-21	-33	-40	-41	-43	-37	-26	-13	-2	+9	+10	+6	+2	+3	+2	+5	+19	+37	+46	+48	+41	+26	+11	+1

Весна	$\Delta V_2$	+15	+10	+8	+3	+1	+5	+9	+11	+9	+1	-10	-21	-25	-28	-30	-29	-25	-22	-10	+8	+28	+34	+37	+35	
	$\Delta V_2^+$	+20	+23	+23	+19	+11	+4	-6	-12	-17	-20	-19	-17	-14	-12	-9	-8	-8	-8	-5	+2	+8	+13	+15	+17	
	$\Delta V_2^{++}$	-5	-13	-15	-16	-10	+1	+15	+23	+26	+21	+9	-4	-11	-16	-21	-21	-17	-14	-5	+6	+15	+21	+22	+18	
Лето	$\Delta V_2$	+15	+15	+10	+8	+14	+23	+26	+23	+15	+6	-2	-12	-18	-18	-18	-20	-21	-21	-20	-14	-7	-1	+7	+9	
	$\Delta V_2^+$	+15	+17	+17	+14	+9	+3	-4	-9	-13	-15	-14	-13	-11	-9	-7	-6	-6	-6	-4	+1	+6	+10	+12	+13	
	$\Delta V_2^{++}$	0	-2	-7	-6	+5	+20	+30	+32	+28	+21	+12	+1	-7	-9	-11	-14	-15	-15	-16	-15	-13	-11	-5	-4	
Осень	$\Delta V_2$	+11	+6	0	-7	-11	-12	-5	+2	+5	+4	-4	-12	-14	-13	-12	-11	-8	-3	+5	+10	+20	+23	+19	+17	
	$\Delta V_2^+$	+15	+17	+17	+14	+9	+3	-4	-9	-13	-15	-14	-13	-11	-9	-7	-6	-6	-6	-4	+1	+6	+10	+12	+13	
	$\Delta V_2^{++}$	-4	-11	-17	-21	-20	-15	-1	+11	+18	+19	+10	+1	-3	-4	-5	-5	-2	+3	+9	+9	+14	+13	+7	+4	
Год	$\Delta V_2$	+11	+6	+1	-4	-6	-4	0	+2	+2	0	-7	-14	-18	-17	-17	-15	-11	-5	+4	+14	+22	+25	+23	+21	
	$V_2^+$	+18	+21	+21	+17	+10	+3	-5	-11	-15	-18	-17	-15	-13	-11	-9	-7	-8	-7	-4	+2	+8	+12	+14	+15	
	$\Delta V_2^{++}$	-7	-15	-20	-21	-16	-7	-5	+13	+17	+18	+10	+1	-5	-6	-8	-8	-3	+2	+8	+12	+14	+13	+9	+6	
$\Delta V_{\text{н}}$	+21	+24	+24	+20	+12	+4	-6	-13	-18	-21	-20	-18	-15	-13	-10	-8	-9	-8	-5	+2	+9	+14	+16	+18		
Зима	$n$	1,9	1,0	1,0	1,1	1,4	0,9	1,2	1,7	2,3	2,4	1,6	1,3	1,4	0,8	0,9	0,8	1,1	1,0	0,9	1,3	1,8	2,2	2,2	1,2	
Весна	$n$	2,7	2,3	2,8	2,6	2,2	2,3	2,9	2,7	2,5	3,0	3,9	4,7	6,0	5,2	4,9	5,0	4,1	3,6	4,1	3,6	3,3	2,7	3,0	3,2	3,6
Лето	$n$	4,7	4,0	3,3	2,7	3,1	3,4	3,4	3,2	3,0	3,2	3,2	5,3	5,3	5,6	4,6	5,2	4,7	4,6	3,6	3,4	3,2	3,2	3,6	4,2	
Осень	$n$	2,1	1,9	1,7	1,7	1,7	2,1	2,2	2,4	2,6	1,9	2,2	2,7	2,6	3,0	2,1	2,6	2,0	2,4	3,1	2,7	2,1	2,4	2,9	2,1	
Год	$V_{\text{отр}}$	16	15	15	15	12	11	12	13	15	15	15	15	16	19	22	22	21	18	16	16	15	15	14	15	

Примечание.  $V_1, V_2, V_3$  — средний суточный ход градиента потенциала по сезонам,  $\Delta V_2^+$  — суточный ход унитарной вариации,  $\Delta V_2^{++}$  — суточный ход локальной вариации,  $\Delta V_2$  — отклонение градиента от среднего,  $n$  — среднеемесячное число часов с отрицательными значениями градиента по наблюдениям за 5 лет,  $V_{\text{отр}}$  — суточный ход отрицательного среднегомесячного значения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате рассмотрения закономерностей изменения градиента потенциала электрического поля в атмосфере по наблюдениям в Зуе за 1943—1950 гг. выявляется:

1. Годовой ход градиента простой с максимумом в феврале (162 в/м) и с плоским минимумом летом (94 в/м); он обратен годовому ходу средних значений фактора мутности. Среднее значение градиента составляет 119 в/м.

2. Суточный ход градиента во все месяцы за исключением декабря имеет характер двойной волны: кроме основных экстремумов — утреннего минимума и вечернего максимума — наблюдается вторичный минимум в послеполуденные и вторичный максимум в предполуденные часы. Детом полуденная депрессия выражена настолько резко, что вторичные максимум и минимум становятся больше основных. В различные сезоны положение экстремумов сильно смещается во времени.

3. Суточная волна, выделяемая гармоническим анализом, не отображает унитарную вариацию.

4. Суточный ход градиента помимо общей причины, выступающей по мировому времени, регулируется изменениями проводимости и объемных зарядов, идущими по местному времени. Доля унитарной волны в образовании суточного хода составляет 33% от среднего значения градиента и, кроме некоторого увеличения вечерних и уменьшения утренних значений градиента, сводится к смещению времени наступления экстремумов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Леушин Н. И. Некоторые результаты регистрации напряжения электрического поля в Иркутске. Метеорологический вестник, № 7, 1929.
2. Чернявский Е. А. Информационный сборник НИИЗМ, № 5, 1950.
3. Тверской П. Н. Атмосферное электричество. Гидрометеоздат, Л. 1949.
4. Парамонов Н. А. Об унитарной вариации градиента атмосферно-электрического потенциала. Доклады АН СССР, т. 70, № 1, 1950.
5. Чернявский Е. А. Труды САГУ, вып. 12, 1950.
6. Кулагин Д. И. О годовом ходе градиента электрического потенциала атмосферы. Метеорология и гидрология. № 7, 1953.
7. Аллик С. А. и Леушин Н. И. Некоторые выводы из наблюдений над электрическим состоянием атмосферы в Слуцке (б. Павловск) за 20 лет (1916—1935). Труды ГГО, вып. 30, 1939.
8. Тверской П. Н. Суточный ход напряженности электрического поля над континентами. Известия АН СССР, Сер. геогр. и геофиз., т. XII, № 6, 1948.
9. Mauchly S. S. Terr Magn. v. 8, 61, 1923.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ АТМОСФЕРЫ ПРИ ОСАДКАХ

### 1. Введение

Известно, что на состояние электрического поля атмосферы существенное влияние оказывают облачность, осадки, ветер, запыленность атмосферы и др. Особенно сильно и сложно влияние осадков, которые совершенно искажают нормальный ход изменения электрического поля атмосферы.

Ниже приводим некоторые данные об изменении электрического поля во время выпадения осадков как в твердом, так и жидком состоянии.

Для изучения данного вопроса нами использованы материалы непрерывной регистрации градиента электрического потенциала атмосферы, полученные с помощью радиоактивного коллектора и электрографа, за 6-летний период наблюдений (1945—1950 гг.) в Тбилисской научно-исследовательской геофизической обсерватории. При этом следует отметить, что в этой работе не учтены и не оценены погрешности, связанные с измерением электрического поля коллектором во время осадков.

Обозначения приняты следующие:

$V'$  — градиент электрического потенциала по нормальным дням, в в/м;

$V'_*$  — градиент потенциала для дней со снегом, в в/м;

$V_0$  — градиент потенциала для дней с обложным дождем, в в/м;

$n$  — число часов, данные за которые использованы для вычисления средних.

### 2. Градиент при снегопаде

Рассмотрение записей электрографа показало, что при снегопаде электрическое поле нарушается в сравнительно меньшей степени, чем при других видах осадков.

Из записей во время снега в течение 659 час. величина градиента потенциала изменялась, переходя через нуль, в течение 171 часа, что составляет всего лишь 26% от общего времени. Среднечасовые значения градиента при снегопаде в подавляющем большинстве случаев остаются положительными.

В табл. 1 приведены средние часовые значения градиента при снегопаде за отдельные месяцы: январь, февраль, март, декабрь. На рис. 1 представлен сглаженный суточный ход  $V'_*$ , построенный по среднесуточным значениям за указанные месяцы (кривая 2).

Как видно из рис. 1 и табл. 1, градиент потенциала при снегопадах остается в большинстве случаев положительным, но несколько пониженным, суточный ход

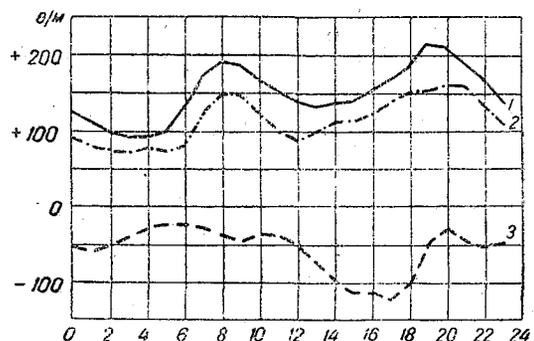


Рис. 1. Среднесуточный ход градиента.  
1 — по нормальным дням, 2 — для дней со снегопадом,  
3 — для дней с обложным дождем.

## Суточный ход градиента при снегопаде

Месяц	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Среднее
Январь	$V^*$	80	73	76	46	62	58	26	72	127	70	116	110	118	98	113	113	118	48	124	140	147	156	32	14	89
	$n$	18	18	16	15	14	13	11	11	11	11	10	11	10	9	8	8	5	5	8	9	9	9	10	10	10
Февраль	$V^*$	43	0	97	127	131	115	2	98	94	128	104	64	-38	66	163	190	154	265	214	196	162	172	174	121	118
	$n$	9	9	8	7	8	9	8	7	8	6	6	4	4	4	4	4	2	1	2	3	5	6	7	7	7
Март	$V^*$	112	149	66	48	71	65	105	245	328	233	149	94	168	123	96	0	61	98	129	132	139	159	32	138	122
	$n$	5	5	5	6	8	7	7	7	7	7	6	6	4	4	3	3	3	3	3	3	6	6	4	6	6
Декабрь	$V^*$	109	99	66	82	74	76	100	123	148	154	142	108	78	98	107	135	149	150	152	136	172	243	249	192	131
	$n$	8	8	9	9	9	6	5	7	4	3	6	7	7	7	6	5	5	5	4	3	3	4	4	4	4
Среднее	86	80	76	76	84	78	58	134	174	146	128	94	82	96	120	110	120	140	155	151	155	182	122	116	115	

его имеет такой же характер, как и в нормальные дни. На основе этих данных можно сделать вывод, что облака, дающие снег, обычно не создают сильных полей. Следовательно, они не имеют больших свободных зарядов или значительного пространственного разделения зарядов.

### 3. Градиент при обложном дожде

При отборе данных для анализа выбраны средние часовые значения градиента потенциала за время выпадения обложного дождя, с продолжительностью не меньше получаса, для каждого месяца отдельно. Таким образом, всего получено 1129 среднечасовых значений.

Рассмотрение записей электрографа показывает, что во время обложного дождя нормальный ход градиента электрического потенциала в подавляющем большинстве случаев нарушается; часто в течение часа положительный градиент несколько раз меняется на отрицательный и обратно, а иногда остается отрицательным в продолжение нескольких часов подряд. Наблюдаются также случаи, когда величина градиента превышает пределы измерения электрографа, и стрелка выходит за шкалу. Таких случаев за рассмотренный период наблюдалось 34. Из 1129 значений число случаев, когда поле один и более раз меняет

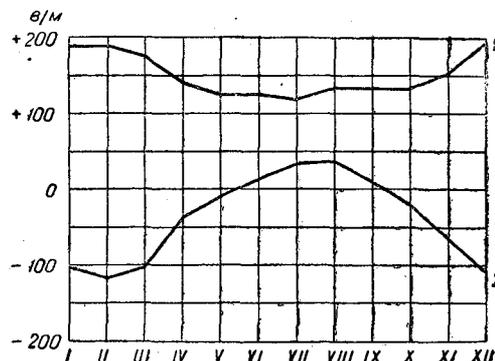


Рис. 2. Среднегодовой ход градиента. 1 — по нормальным дням, 2 — для дней с обложным дождем.

знак, составляет 582, причем отклонение от нуля большей частью бывает больше

в сторону отрицательного поля, чем в сторону положительного.

В табл. 2 приведены средние часовые значения градиента во время обложного дождя по месяцам и за год. На рис. 1 и 2 представлены суточный и годовой ход  $V_0'$ , а также  $V'$  для сравнения.

Как видно из этих данных, суточный и годовой ход градиента при дожде обложного характера существенно отличается от аналогичного хода по нормальным дням. Кривая 3 суточного хода  $V'$  целиком лежит в отрицательной части поля, на которой можно отметить следующие абсолютные экстремальные значения: минимум утром и ночью, а максимум вечером. Что же касается годового хода градиента во время

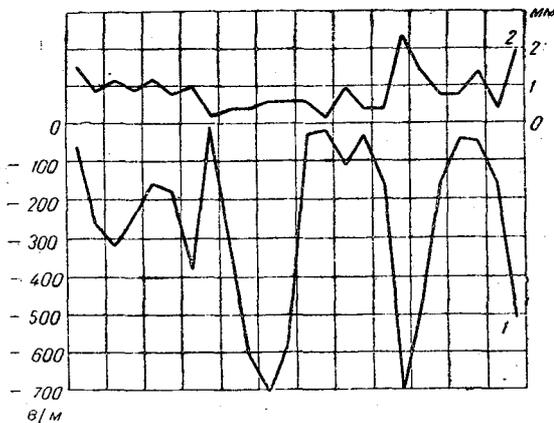


Рис. 3. Изменение градиента потенциала и количество осадков за сутки 31/X 1950 г.

1 — градиент при обложном дожде, 2 — количество осадков в миллиметрах.

обложного дождя (рис. 2), то большая часть площади, огибаемой кривой, лежит в отрицательной части поля, а меньшая (летом) — в положительной.

Для выяснения зависимости изменения градиента электрического потенциала от количества выпавшего дождя в табл. 3 приведены средние часовые значения градиента за отдельные дни, когда дождь шел почти целые сутки (знак  $\times$  означает переход градиента через нуль), и количество осадков в миллиметрах за час. На рис. 3 представлено изменение градиента потенциала и количества осадков за сутки 31/X 1950 г. Приведенные данные указывают на то, что между изменением градиента потенциала, с одной стороны, и количеством выпавших жидких осадков, с другой, нельзя обнаружить прямой связи.

Суточный ход градиента для

Месяц		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Январь	$V_0'$	-34	-98	-138	-308	-211	-98	-46	-121	-21	-21	-96	
	$n$	3	3	3	2	2	2	2	3	1	1	1	
Февраль	$V_0'$	-373	-466	-261	-114	-191	-64	-48	-23	-42	-83	-92	
	$n$	3	3	2	2	2	2	2	3	3	2	1	
Март	$V_0'$	-60	-170	-30	-48	-28	-68	-32	-14	-128	-104	-59	
	$n$	11	12	12	10	11	11	11	12	9	9	8	
Апрель	$V_0'$	-110	-27	-62	-18	65	-13	-9	24	7	-9	-61	
	$n$	10	11	8	6	7	6	6	5	4	3	5	
Май	$V_0'$	-4	-36	-24	68	2	24	14	-21	-11	-44	-34	
	$n$	8	7	9	9	9	9	9	6	5	3	3	
Июнь	$V_0'$	8	22	-3	38	46	28	-3	23	32	-27	78	
	$n$	2	4	6	6	6	6	5	5	4	4	4	
Июль	$V_0'$	81	90	45	27	63	76	117	131	24	8	48	
	$n$	1	1	2	2	1	2	3	5	3	3	3	
Август	$V_0'$	45	39	21	18	23	47	-3	35	92	74	96	
	$n$	2	3	3	3	4	4	5	5	2	2	2	
Сентябрь	$V_0'$	32	0	9	34	21	-22	-72	-24	-92	-128	98	
	$n$	2	3	3	3	3	3	3	4		2	2	
Октябрь	$V_0'$	-57	-81	16	6	7	-16	-15	-68	-61	-102	-14	
	$n$	4	4	6	7	5	5	4	6	7	7	6	
Ноябрь	$V_0'$	-49	-89	-59	-33	-30	12	-16	-17	-109	-108	-77	
	$n$	7	8	9	8	8	8	7	5	6	5	5	
Декабрь	$V_0'$	-56	-68	-72	-118	-113	-110	-11	-126	-204	-89	-114	
	$n$	4	4	4	2	3	3	4	4	4	3	2	
Год	$V_0'$	-48	-74	-46	-37	-29	-17	-30	-17	-43	-52	-19	

Таблица 2

дней с обложным дождем

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Среднее
-120	59	24	+126	-34	-48	-146	48	227	104	-466	-643	-539	-108	
1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	
31	-30	-507	-669	-801	-978	-632	-529	48	55	-61	-187	-128	-256	
2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	2	2	
-12	-120	-202	-190	-102	+20	-6	-140	63	24	25	-5	31	-56	
9	10	8	7	10	6	6	7	8	9	8	7	7		
-111	-47	-13	21	-3	-44	-89	-232	-272	-141	-32	-28	61	-48	
5	5	6	5	4	4	4	4	4	5	7	7	8		
-228	-60	68	-	53	59	122	-155	95	83	59	67	76	8	
2	2	2	-	1	1	2	2	4	4	3	2	2		
-69	-9	18	-8	-22	-105	-48	-34	-10	-29	48	23	60	2	
3	3	3	3	3	3	2	2	4	4	3	3	2		
88	70	33	56	-	-	-	-	180	-126	0	27	-	42	
2	2	2	2	-	-	-	-	1	1	1	1	-		
14	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	196	50	
2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
8	-28	89	37	-90	-3	29	-31	18	72	166	-30	-16	4	
2	3	3	3	3	4	3	3	2	4	3	4	4		
-70	-91	-65	-100	-22	85	39	18	-16	-3	-27	-21	-20	-28	
8	6	6	5	6	3	4	4	7	6	6	7	6		
-25	-33	34	17	32	-11	-115	201	-50	-203	-120	-93	-86	-41	
4	4	3	3	4	5	3	3	3	5	5	5	5		
-146	-138	-395	-197	-298	-80	-362	-502	-356	-172	-34	132	-38	-153	
2	2	3	2	2	2	2	2	3	4	5	4	4	4	
-49	-35	-83	-91	-129	-110	-121	-136	-7	-30	-40	-69	-37	-56	

#### 4. Градиент потенциала при ливневом дожде

Для изучения данного вопроса нами рассмотрены записи электрографа лишь за один 1948 г. Отобраны записи при ливневых дождях с продолжительностью не меньше получаса, что в сумме составляет 115 час.

Рассмотрение данных непрерывной регистрации градиента показало, что электрическое поле при дожде ливневого характера испытывает быстрые и нерегулярные колебания; оно за короткое время принимает очень большие значения, как положительные, так и отрицательные, что хорошо видно из рис. 4, на котором представлена копия записи при ливневом дожде 11—12/V 1948 г.

Во время дождя ливневого характера величина градиента потенциала часто достигает высокого значения, которое превышает пределы измерения электрографом, так как стрелка выходит за шкалу. В таких случаях, конечно, нельзя измерять среднечасовые значения градиента, но по характеру записи можно все же определить как знак, так и часть времени, которая приходится на регистрацию отрицательных или положительных значений электрического поля.

В результате такого подсчета выявлено, что из 115 час. с ливневым дождем время с отрицательным градиентом составляет более половины — 66 час. Время, когда величина градиента превышала пределы измерения электрографа, составляет 52 час. В остальные 63 часа среднее значение градиента потенциала равно — 110 в/м. Таким образом, при ливневом дожде так же, как и при обложном, в среднем преобладает отрицательное значение поля.

Следует отметить, что нарушение электрического поля не ограничивается только периодом выпадения осадков. Оно также имеет место при наличии дождевых облаков до начала и после прекращения дождя, когда отсутствуют другие факторы, нарушающие электрическое поле, как сильный ветер, запыленность и т. п. Для примера такие случаи приведены в табл. 4.

В заключение следует сказать, что, по нашим данным, выпадение всех видов атмосферных осадков существенно сказывается на ходе и характере изменения электрического поля атмосферы у поверхности земли. Особенно при жидких осадках нормальное состояние поля сильно нарушается.

Необходимо также отметить, что в случаях выпадения жидких осадков электрическое поле большей частью имеет отрицательный знак.

Из этого можно сделать вывод, что нижняя часть дождевых облаков преимущественно заряжена отрицательно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тверской П. Н. Атмосферное электричество. Гидрометеиздат, 1949.
2. Френкель Я. И. Теория явлений атмосферного электричества. Гостехиздат, 1949.
3. Имянитов И. М. Исследование электрических полей атмосферы. Труды ГГО, вып. 35 (97), 1952.

## ГРАДИЕНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АТМОСФЕРЫ В г. ЮЖНО-САХАЛИНСКЕ ЗА 1933—1946 гг.

### Введение

Город Южно-Сахалинск расположен в южной части острова Сахалина на  $46^{\circ}57'$  с. ш. и  $142^{\circ}45'$  в. д., на высоте 48 м над уровнем моря, в долине реки Сосуя-Гава, вытянутой в меридиональном направлении. Ширина долины в месте расположения города около 10 км, рельеф ее слабоволнистый. С востока долина ограничена хребтом Судзуя, состоящим из цепи сопков высотой 400—600 м с самой высокой вершиной Судзуя 1043 м, находящейся на расстоянии 8—10 км от города. С запада долина ограничивается Западно-Сахалинскими горами, состоящими из отдельных сопков высотой 400—500 м.

В 1932 г. на восточной окраине города Южно-Сахалинска была открыта Магнитная обсерватория, в которой были организованы также измерения градиента потенциала электрического поля атмосферы. В 1940 г. обсерватория была перенесена на юго-восточную окраину города, где находится и в настоящее время.

Регистрация градиента потенциала в течение всего времени осуществлялась установкой, которая состояла из электрографа системы Бенндорфа, соединенного с радиоториевым коллектором. Установка помещалась в отдельной кабине второго этажа здания атмосферно-электрического павильона. Коллектор укреплялся на высоте 4,8 м над уровнем земной поверхности, на расстоянии 1,5 м от западной стены павильона. Крепление коллектора осуществлялось с помощью бамбукового стержня, внутри которого проходит провод, соединяющий коллектор с бисквитом электрографа. Стержень надежно изолирован от земли янтарными изоляторами, удерживающими его в горизонтальном положении.

Для определения редуционного множителя производились измерения градиента потенциала на открытой местности с помощью радиоториевого коллектора и электрометра. Редуционный множитель, вычисленный по общепринятым правилам с 1933 по 1946 г., изменялся в пределах от 1,4 до 1,7.

Материалы регистрации градиента потенциала с 1933 по 1946 г. обработаны по среднему поясному времени пояса IX.

Как известно, для вывода закономерностей регулярных изменений градиента потенциала применяются различные методы:

1. Обрабатываются данные регистрации градиента потенциала за каждый час для всех дней месяца независимо от состояния и характера погоды и независимо от характера и вариаций электрического поля.

2. В обработку включают лишь дни и часы с положительным градиентом, т. е. когда кривая вариаций электрического поля атмосферы не переходила через нуль и градиент потенциала не принимал отрицательных значений.

3. Для вывода средних выбираются так называемые „нормальные“ дни. К таким дням относятся те дни, когда вариации поля носят относительно спокойный характер, а погодные условия соответствуют тому, что мы называем „хорошей погодой“.

например нижняя облачность не должна превышать 4 баллов, ветер должен быть не больше 2—3 м/сек., не должно быть осадков, туманов и гроз и т. п.

4. Выбирается десять „наилучших дней“, когда скорость ветра не превышала 5—6 м/сек., отсутствовали осадки, туман, гроза и ход градиента в течение суток имел плавный характер.

Сравнение результатов, полученных при различных методах обработки, показывает, что закономерности в суточном ходе градиента наиболее определенно выявляются по данным нормальных дней. По данным, обработанным другими способами, суточный ход выражается менее четко, но характер его остается таким же.

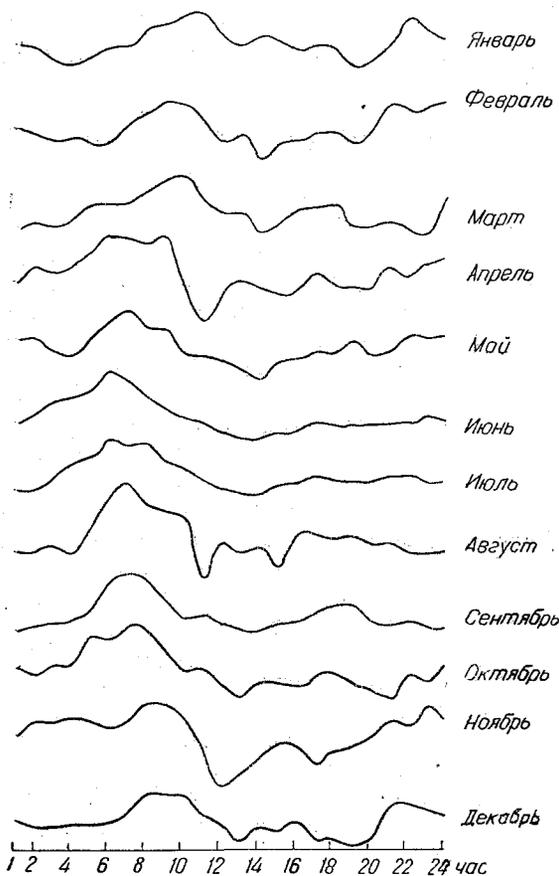


Рис. 1. Средний суточный ход градиента (по всем дням) за 1938—1946 гг. в Южно-Сахалинске.

ход градиента в зимние месяцы носит характер двойной волны. В весенние месяцы отчетливость вторичного максимума сглаживается, и суточная волна постепенно приближается к простому виду. В июне суточный ход приобретает ярко выраженный характер простой волны, в последующие месяцы на кривой снова появляется вторичный максимум, возрастающий с приближением к зиме.

На рис. 2 и в табл. 2 приводятся величины и время наступления экстремальных значений градиента электрического поля в течение года, из которых видно, что главный максимум (кривая II) наступает всегда в промежутке времени между 6 и 11 час., главный минимум (кривая III) колеблется между 11 и 14 час. и лишь в январе приходится на 19 час.

Из вышеприведенных данных не получается тесной зависимости времени наступления экстремальных значений и времени восхода (кривая I) и захода солнца (кривая IV). Лишь при некотором осреднении времени наступления глав-

Способ обработки по нормальным дням, давая наиболее четкий вид кривой суточного хода, в то же время является несколько искусственным, так как при нем не учитываются условия, которые определяют вариации; этот способ исключает возможность установления связей и взаимообусловленности с многими метеорологическими явлениями. Недостаток этот присущ и всем другим способам, базирующимся на выборе специально отобранных дней.

В данной работе закономерности изменения градиента электрического потенциала находились из обработки данных за все дни, без выбора и исключения. Для каждого часа, каждого дня месяца определялась среднечасовая величина градиента по соответствующей электрограмме. Данные сводились в таблицы, на основании которых и выводились средние величины.

### Суточный ход градиента атмосферно-электрического потенциала

В табл. 1 и на рис. 1 приводятся данные, характеризующие суточный ход градиента в Южно-Сахалинске. Как видно, суточный

Таблица 1  
Средний суточный ход градиента атмосферно-электрического потенциала (по всем дням) за 1933—1946 гг. Южно-Сахалинск

Месяцы	Часы																								Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Январь	277	270	258	254	267	275	275	298	301	312	313	283	275	288	278	268	277	272	252	260	278	306	289	281	279
Февраль	249	240	234	238	239	235	256	264	277	272	256	230	242	213	232	234	244	242	231	246	276	264	272	278	248
Март	219	227	223	230	248	245	251	259	273	277	255	239	241	217	226	242	244	247	224	224	228	219	216	260	239
Апрель	142	161	153	168	175	195	190	186	194	146	103	131	149	138	131	131	155	142	141	140	164	151	169	173	155
Май	87	84	72	68	85	104	116	99	87	69	67	62	53	42	61	61	72	70	87	65	72	92	86	87	76
Июнь	80	87	89	94	110	134	123	107	87	78	70	61	61	60	67	68	70	68	76	77	78	79	86	82	84
Июль	77	76	79	97	101	122	114	120	98	92	81	71	63	63	70	72	80	81	78	75	81	81	74	76	84
Август	59	60	68	59	88	122	135	110	105	96	30	74	59	67	45	81	80	77	79	66	71	63	61	62	76
Сентябрь	57	63	65	69	78	112	121	112	87	70	75	67	62	56	66	67	78	84	81	67	64	67	60	60	74
Октябрь	78	69	78	79	115	107	125	118	94	74	78	62	45	62	62	61	72	74	60	57	46	72	63	82	76
Ноябрь	124	141	141	147	144	138	138	165	161	146	110	73	88	103	124	118	99	113	119	126	145	138	162	143	129
Декабрь	198	193	190	194	193	197	204	228	227	225	202	194	176	192	186	200	176	179	190	198	214	218	209	204	200
Среднее	137	139	137	141	153	166	171	172	166	156	137	130	126	125	129	134	137	137	135	133	143	146	146	149	143

Таблица 2  
Время наступления и величины максимума и минимума в суточном ходе градиента потенциала за 1933—1946 гг. Южно-Сахалинск

Месяцы	Время наступления и величины максимума и минимума (час.)																								Среднее время захода (час. мин.)	
	Главный максимум						Главный минимум						Вторичный максимум						Вторичный минимум							Среднее время восхода (час. мин.)
	6	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	16	18	21	22	23	1	2	3	4	5	21	23		
Январь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16 33
Февраль	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17 12
Март	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17 52
Апрель	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18 40
Май	195	—	—	—	—	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19 29
Июнь	134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19 52
Июль	122	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19 38
Август	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19 00
Сентябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18 14
Октябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17 25
Ноябрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16 44
Декабрь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16 22

ного максимума можно усмотреть параллельность в его ходе со временем восхода солнца. Моменты же наступления других экстремальных значений по данным Южно-Сахалинска не указывают на определенную зависимость.

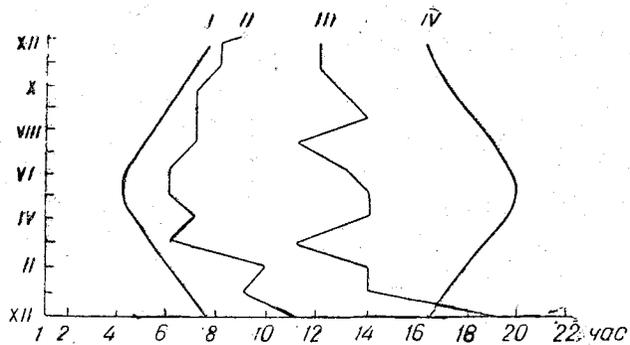


Рис. 2. Время наступления экстремумов в суточном ходе градиента (кривые II и III) и время восхода и захода солнца (кривые I и IV).

Среднегодовая кривая суточного хода градиента потенциала (рис. 3) характеризуется ярко выраженными главным максимумом и минимумом, вторичные экстремумы вырисовываются весьма нечетко.

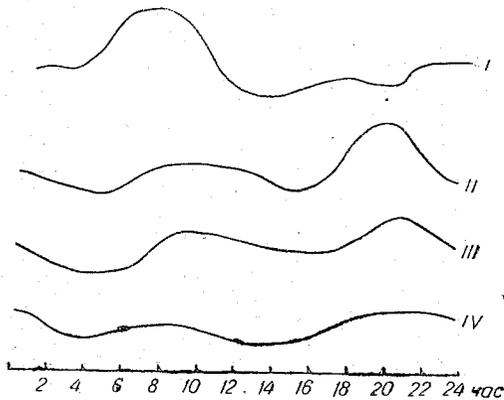


Рис. 3. Средний суточный ход градиента в Южно-Сахалинске (I), Ташкенте (II), Тбилиси (III) и Слуцке (IV).

Сравнение среднегодовой кривой суточного хода градиента в Южно-Сахалинске с подобными кривыми, полученными в других пунктах и представленными на рис. 3, указывает, что главный максимум в Слуцке, Ташкенте и Тбилиси наступает в вечерние часы. Минимальных значений градиент потенциала в Южно-Сахалинске достигает в послеполуденное время, а в сравниваемых пунктах — в ранние утренние часы.

Учитывая разность долгот и местного времени сравниваемых пунктов, естественно предположить, что главные экстремальные значения в основном обязаны своим происхождением унитарной вариации. Однако, как можно видеть из табл. 3, время наступления главных экстремальных значений не совпадает со временем наступления экстремумов унитарной вариации, хотя в некоторых случаях отклонения незначительные. Вероятно, своеобразие местных условий отдельных пунктов обуславливает отклонения в ту или иную сторону.

### Годовой и вековой ход градиента атмосферно-электрического потенциала

Годовой ход градиента для Южно-Сахалинска характеризуется высокими значениями в зимние месяцы, с острым максимумом в январе, и низкими значениями в летний период, с плавным минимумом в сентябре.

Сравнение годового хода градиента потенциала Южно-Сахалинска с данными по другим пунктам: Ташкенту, Слуцку, Тбилиси (рис. 4 и табл. 4) показывает, что годового хода градиента потенциала в Южно-Сахалинске отличается от таких же ходов в других пунктах как по характеру, так и по значению величин. Амплитуда в годовом ходе для Южно-Сахалинска составляет 205 в/м, что значительно выше, чем в других пунктах.

На рис. 5 (кривая 1) показан вековой ход градиента потенциала электрического поля по данным наблюдений в Южно-Сахалинске. Для сравнения с ним на этом же рисунке приводится кривая 2 изменения солнечной активности.<sup>1</sup>

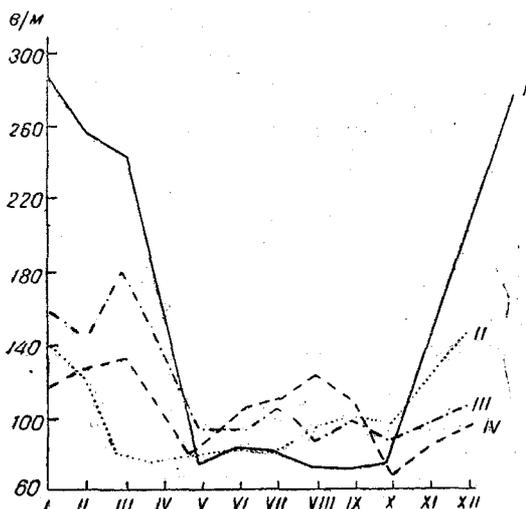


Рис. 4. Годовой ход градиента в Южно-Сахалинске (I), Ташкенте (II), Слуцке (III) и Тбилиси (IV).

Как по материалам Южно-Сахалинска, так и по данным Слуцка, представленным на рис. 6, наблюдается отчетливо выраженная периодичность изменения градиента потенциала. Максимальные значения градиента потен-

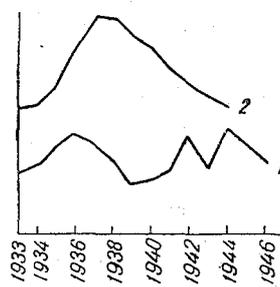


Рис. 5. Вековой ход градиента потенциала в Южно-Сахалинске (1) и солнечная активность (2).

циала в Слуцке приходится на 1917 и 1927 гг., в Южно-Сахалинске — на 1936 и 1944 гг.

Минимальные значения градиента потенциала в Слуцке наблюдались в 1921 и 1930 гг. По характеру кривой для Южно-Сахалинска можно предположить, что в 1930 или 1931 гг. имел место минимум, а следующий наступил в 1939 г. С некоторым допущением можно считать кривую Южно-Сахалинска продолжением кривой Слуцка, так как характер периодичности у них одинаков.

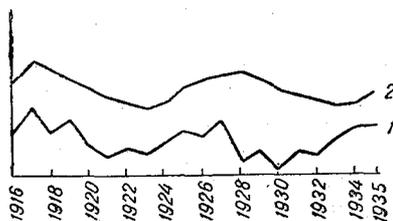


Рис. 6. Вековой ход градиента потенциала в Слуцке (1) и солнечная активность (2).

Сопоставление векового хода градиента, по данным Южно-Сахалинска и Слуцка, с кривой изменения числа солнечных пятен показывает, что в период с 1917 по 1927 г. в Слуцке и с 1933 по 1936 г. в Южно-Сахалинске с ростом числа солнечных пятен градиент потенциала увеличивается, но с 1930 по 1933 г. в Слуцке, а с 1939 по 1946 г. в Южно-Сахалинске градиент потенциала растет при убывании числа солнечных пятен.

<sup>1</sup> Не имея в распоряжении данных солнечной активности, кривую 2 рис. 6 заимствовали у М. Н. Гневышева [7].

Таблица 3

Время наступления главных экстремальных значений в среднегодовом суточном ходе градиента потенциала

Пункт	Местное время (час.)		Гринвичское время (час.)	
	максимум	минимум	максимум	минимум
Южно-Сахалинск . . . . .	8	14	23	5
Слуцк . . . . .	21	14	19	12
Тбилиси . . . . .	21	5	18	2
Ташкент . . . . .	20	5	15	24

Таблица 4

Среднегодовой ход градиента атмосферно-электрического потенциала по всем дням

Пункт	Годы наблюдений	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Южно-Сахалинск	1933—1946	279	248	239	155	76	84	84	76	74	76	129	200
Слуцк . . . . .	1935—1937	155	142	177	145	94	92	108	87	99	90	96	108
Тбилиси . . . . .	1938—1941	115	125	129	100	83	102	108	123	109	67	85	96
Ташкент . . . . .	1935—1937	140	118	80	78	81	82	84	97	99	98	124	145

Следовательно, кривые изменения градиента потенциала и числа солнечных пятен, изменяясь с разными периодами, в отдельные промежутки времени сходны между собой, но также наблюдается и обратный ход. В целом изменения эти подчинены разным закономерностям.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Суточный ход градиента потенциала электрического поля в атмосфере в Южно-Сахалинске резко отличается от суточных ходов континентальных станций умеренных широт тем, что в зимние месяцы для суточного хода градиента Южно-Сахалинска характерна двойная волна, в то время как для большинства других станций в эти месяцы наблюдается простая волна. В летние месяцы имеем обратную картину: для континентальных станций — двойную волну, для Южно-Сахалинска — простую волну. Главный максимум в Южно-Сахалинске приходится на утренние часы местного времени, в то время как на других станциях он наступает в вечерний период. Главный минимум в Южно-Сахалинске наступает в послеполуденное время, на большинстве других станций — в ранние утренние часы.

2. Из данных, полученных в Южно-Сахалинске, не следует, что время наступления экстремальных значений в суточном ходе параллельно времени восхода и захода солнца.

3. Сравнение времени наступления экстремальных значений в различных пунктах дает основание полагать, что главные экстремальные значения в основном обязаны своим происхождением унитарной вариации.

4. Годовой ход и среднегодовые значения градиента потенциала Южно-Сахалинска несколько отличаются от данных других континентальных станций.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРАДИЕНТОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В АТМОСФЕРЕ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

### Введение

К настоящему времени накопился значительный материал наблюдений за градиентом электрического потенциала над территорией Советского Союза, но этот материал до сих пор в большей своей части не был обработан. Нам удалось это сделать. В результате получены данные о величине градиента потенциала  $V'$ , годовом и суточном ходе его, а также сведения о вариациях потенциала. Эти данные могут быть полезными в дальнейших исследованиях в области атмосферного электричества и при решении некоторых практических задач, поэтому нам представляется целесообразным их опубликование.

### Краткое описание условий, методов наблюдения и обработки

Сведения о расположении станций Советского Союза, на которых производились наблюдения за элементами атмосферного электричества, и о качестве этих наблюдений приведены в табл. 1. Как видно из этой таблицы, наблюдения за градиентом потенциала  $V'$  велись на станциях, различных по долготе и широте. Среди них три полярные станции, восемь станций расположены в умеренных широтах и три — вблизи субтропиков. На шести станциях (Ташкент, Тбилиси, Алма-Ата, Иркутск, Москва, Якутск) наблюдения производились в пределах города. На четырех станциях (Слуцк, Воейково, Высокая Дубрава, Зуй) — вблизи крупных городов. Измерения на всех станциях производились методом коллекторов. При измерениях в Москве применялся пламенный коллектор, на остальных станциях применялись радиоактивные коллекторы. На ст. „Северный полюс“ отсчеты производились визуально с помощью двунитного электрометра, на ст. Москва — с помощью электрометра с листочками; на остальных станциях применялись квадратные электрографы.

Редукционный множитель, необходимый при сравнении данных различных станций и определяемый на каждой станции, как известно, изменяется в течение года и даже суток. Однако погрешности, связанные с этим обстоятельством, не превышают 10%. Например, для Высокой Дубравы по многолетним данным редукционный множитель изменялся в течение года в среднем на 7%; зимой он был больше на 3—4% среднегодовой величины, летом — меньше на 3%.

Для полярных и океанических станций изменения редукционного множителя еще меньше.

Случайные изменения редукционного множителя и отсутствие строгого учета поправки на изоляцию не могли существенно отразиться на приводимых ниже средних величинах  $V'$ , на годовом и суточном ходе  $V'$ , полученном из наблюдений продолжительностью от 9 месяцев до 25 лет.

Сведения об основных станциях Советского Союза и их материалах наблюдений по градиенту электрического потенциала в атмосфере

Станции	Северная широта	Восточная долгота	Высота над уровнем моря (м)	Расстояние от города	Площадка под коллектором	Продолжительность наблюдений в месяцах	Качество изоляции	Качество наблюдений	Основной список наблюдателей
Северный полюс	88—86°	1°W 1°E	0	Далеко	Большая, открытая, ровная	VII—VIII 1937 (19 дней)	Хорошее	Хорошее	Е. К. Федоров
Бухта Тихая . . . . .	80°20'	52°48'	6	"	То же	1938—1939 (18)	Удовлетворительное	Удовлетворительное	В. И. Герасименко
Мыс Челюскин . . . . .	77 46	104 17	5	"	"	1934—1935 (9)	Хорошее	"	В. И. Герасименко
Остров Диксон . . . . .	73 39	89 26	20	"	"	1933—1934 (10)	"	"	С. Д. Пономарев
Якутск . . . . .	62 1	129 43	98	В г. Якутске	Небольшая, полуоткрытая, ровная	1936—1943 (23)	Удовлетворительное	Удовлетворительное	М. С. Павлова
Воейково . . . . .	59 57	30 42	72	В 15 км от Ленинграда	То же	1948—1950 (36)	Хорошее	Хорошее	Д. Г. Огороднов
Слуцк . . . . .	59 41	30 29	40	В 30 км от Ленинграда	"	1916—1937 (312)	Удовлетворительное	"	Д. Е. Оболенский П. Н. Тверской Р. А. Аллик Н. И. Леушин Н. А. Парамонов
Высокая Дубрава	56 44	61 04	288	В 35 км от Свердловска	"	1935—1950 (172)	Хорошее	"	А. А. Сперанский
Москва . . . . .	55 50	37 33	164	В г. Москве	Небольшая, закрытая, ровная	1906—1910 (60)	Удовлетворительное	Удовлетворительное	П. А. Виноградов
Зуй . . . . .	52 28	104 2	432	В 35 км от г. Иркутска	Небольшая, кругом лес, ровная	1933—1935, 1943—1949 (120)	Хорошее	Хорошее	Н. А. Леушин В. В. Зыкова
Иркутск . . . . .	52 16	104 19	478	В г. Иркутске	То же	1927—1928 (43)	"	"	
Южно-Сахалинск	46 57	142 45	48	В г. Южно-Сахалинске	Небольшая, полуоткрытая, ровная	1933—1946 (168)	Удовлетворительное	Удовлетворительное	
Алма-Ата . . . . .	43 15	76 56	848	В 2 км от г. Алма-Аты	Большая, открытая, неровная	1939—1946 (70)	Хорошее	Удовлетворительное	Различные наблюдатели
Тбилиси . . . . .	41 43	44 48	404	В г. Тбилиси	Небольшая, закрытая, ровная	1938—1949 (144)	"	Хорошее	Е. Двали Гунжуа Чернявский
Ташкент . . . . .	41 20	69 18	478	На окраине г. Ташкента	Небольшая, полуоткрытая, ровная	1929—1949 (252)	"	"	

При получении средних величин для вывода закономерностей в суточном и годовом ходе градиента потенциала обычно пользуются методом отбора так называемых „нормальных дней“. Однако в данном случае ни один из известных способов выборки нормальных значений не является приемлемым для обработки наблюдений по всем станциям. Так, например, для полярных станций Остров Диксон, Мыс Челюскин, Бухта Тихая способы „нормального дня“, „10 лучших дней“, „Чернявского“ оказались непригодными для выяснения суточного хода градиента потенциала по нормальным дням  $V'_n$  из-за частых и больших отклонений в значениях положительного и отрицательного градиентов потенциала, характерных для этих станций.

Чтобы выяснить закономерности в ходе  $V'$ , используя наиболее полно имеющийся материал наблюдений, мы применили новый метод обработки данных. Этот метод заключается в следующем.

Составляется месячная таблица значений за все часы и дни месяца. Затем выбираются „нормальные дни“, т. е. такие дни, когда полностью отсутствуют отрицательные значения градиента (кривая градиентов не переходит через нуль), отсутствуют резкие колебания градиента, превышающие в 4—5 раз среднее его значение за день, отсутствуют грозы, осадки, сильная мгла, метели, сильный ветер (подымающий пыль или снег), нижняя облачность не должна превышать 4 баллов. Для этих дней подсчитывались средние за каждый час и сглаживались по формуле

$$\frac{a + 2b + c}{4},$$

где  $a$  и  $c$  — предыдущее и последующее среднечасовые значения  $V'_n$ ,  $b$  — значение  $V'_n$  для рассматриваемого часа.

Далее, в каждом часовом столбце месячной таблицы вычеркивались все значения  $V'$ , которые были больше удвоенного среднего сглаженного значения  $V'_n$  для данного часа, а также вычеркивались все отрицательные значения  $V'$ . Все зачеркнутые значения  $V'$  можно в первом приближении рассматривать как возмущенные значения  $V'$ , поэтому для получения нормального хода  $V'_n$  при обработке они исключались. Из остальных, незачеркнутых чисел вычислялись средние ежечасные значения градиента потенциала.

### Средние величины градиента потенциала

Полученные таким образом средние данные о градиенте потенциала сведены в табл. 2 и 3. В табл. 2 приводятся среднемесячные и годовые значения по нормальным дням  $V'_n$ , а также среднегодовые значения по всем дням  $V'$  и амплитудная характеристика. В табл. 3 имеются только среднегодовые ежечасные значения по нормальным дням  $V'_n$ .

Из табл. 2 видно, что наибольшие среднегодовые значения градиента по нормальным дням, мы имеем для Слуцка (171 в/м), а наименьшие — для Якутска (86 в/м).

Среднее значение  $V'_n$  для станций Советского Союза, находящихся в умеренных широтах, равно 126 в/м. Эта величина совпадает со значением градиента, полученного для умеренных широт по основным станциям мира, и близка к средней величине  $V'_n$ , наблюдаемого над океанами (130 в/м) [4]. Средняя величина  $V'$  по всем дням равна 110 в/м. Как видим, она меньше, чем средняя величина  $V'_n$  по нормальным дням.

Средняя величина  $V'_n$  для полярных станций Бухта Тихая, Мыс Челюскин и Остров Диксон равна 107 в/м. Она примерно равна средней величине  $V'_n$ , наблюдаемой на основных полярных станциях (101 в/м) [1]. Средняя величина  $V'$  полярных станций по всем дням составляет 400 в/м. Как видим, она значительно больше средней величины  $V'_n$  по нормальным дням.

Таблица 2

Среднемесячные и годовые значения градиента потенциала по нормальным дням  $V'_n$ , годовые значения по всем дням  $V'$  и амплитудная характеристика

Станции	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Среднегодовые значения		Амплитуда	
													$V'_n$	$V'$	в/м	%
Бухта Тихая . . . . .	121	136	125	118	111	110	106	107	107	111	112	113	115	537	30	26
Мыс Челюскин . . . . .	119	127	106	90	80	88	88	93	—	—	—	115	101	312	47	46
Остров Диксон . . . . .	121	120	112	100	98	89	97	87	—	—	112	120	106	352	34	32
Якутск . . . . .	93	108	96	85	64	68	72	78	87	90	94	98	86	77	44	51
Войково . . . . .	168	219	223	139	115	110	102	120	123	152	159	150	148	114	121	82
Слуцк . . . . .	214	249	241	168	128	109	112	132	140	157	203	205	171	117	140	82
Высокая Дубрава . . . . .	185	187	165	159	113	113	122	132	123	135	172	190	150	134	77	51
Москва <sup>1</sup> . . . . .	151	223	144	108	95	78	74	68	75	80	115	121	108	—	155	144
Зуй <sup>2</sup> . . . . .	136	140	135	115	87	83	86	86	82	99	111	108	—	106	58	55
Иркутск . . . . .	179	223	122	123	99	79	86	110	110	94	140	228	133	—	149	112
Южно-Сахалинск <sup>2</sup> . . . . .	279	248	239	155	76	84	84	76	74	76	129	200	—	143	205	143
Алма-Ата . . . . .	165	180	161	101	99	69	67	65	66	81	154	191	116	102	126	109
Тбилиси . . . . .	162	162	152	120	104	104	104	113	108	103	126	154	126	89	59	47
Ташкент . . . . .	167	136	114	101	86	97	108	111	117	126	130	145	120	112	81	67

Таблица 3

Среднегодовые ежечасные значения градиента потенциала по нормальным дням в в/м

Часы	Бухта Тихая	Мыс Челюскин	Остров Диксон	Якутск	Войково	Слуцк	Высокая Дубрава	Зуй	Иркутск	Южно-Сахалинск	Алма-Ата	Тбилиси	Ташкент
1	132	116	128	84	156	166	158	116	122	140	92	109	90
2	130	120	123	85	144	153	161	116	119	138	83	96	84
3	126	122	116	88	132	142	142	113	117	139	78	86	75
4	120	122	106	88	123	136	136	109	116	143	75	80	72
5	114	119	97	87	119	133	134	106	122	153	77	80	72
6	111	114	92	85	124	140	137	106	132	164	89	83	83
7	107	108	89	85	134	154	142	106	146	170	113	110	105
8	104	103	89	85	147	168	147	107	157	170	136	136	126
9	104	100	92	84	151	177	151	107	158	165	168	152	135
10	106	97	96	84	154	178	154	106	150	154	174	154	139
11	106	96	97	84	153	172	150	102	136	140	165	140	135
12	108	94	98	83	144	165	147	97	123	131	153	132	126
13	106	93	98	83	141	160	144	94	118	127	139	122	112
14	106	92	96	85	139	160	141	92	120	126	126	116	98
15	106	90	97	87	138	164	142	92	122	129	115	114	90
16	106	89	100	90	146	172	144	92	123	134	110	116	93
17	108	89	105	92	156	181	151	94	125	136	113	128	118
18	111	88	108	92	156	191	158	99	133	136	125	141	164
19	114	89	114	88	158	199	159	104	144	135	155	155	203
20	118	91	118	82	168	206	159	111	152	136	128	170	208
21	121	93	121	83	173	211	160	116	152	141	114	172	183
22	126	98	126	82	174	208	161	117	145	145	96	158	146
23	132	103	128	83	168	196	161	118	136	147	87	140	119
24	134	110	129	84	158	181	159	118	128	145	88	122	102
Среднее	115	101	106	86	148	171	150	106	133	143	116	126	120

Примечание. Для ст. Южно-Сахалинск и Зуй суточный ход  $V'$  получен из всех его значений.

<sup>1</sup> Для ст. Москва величины не приведены к „равнине“ с достаточной степенью точности.

<sup>2</sup> Для ст. Южно-Сахалинск и Зуй средние величины  $V'$  получены из всех значений.

Из этого можно сделать вывод, что разность между средней величиной  $V'$  по всем дням и средней величиной  $V'_n$  по нормальным дням имеет положительный знак для полярных станций и отрицательный знак для неполярных станций.

При подробном рассмотрении первичного материала наблюдений над градиентом потенциала в полярных областях было установлено, что метели всегда сопровождаются значительными величинами  $V'$ . Градиент потенциала нередко достигал нескольких тысяч вольт на метр. Так как в полярных областях метели являются основным возмущающим  $V'$  фактором, то естественно, что большие средние значения  $V'$  для полярных станций, полученные из всех дней, можно связать с этим явлением. В самом деле, для полярной станции Остров Диксон средняя величина  $V'$ , полученная из всех среднечасовых значений, за период времени с ноября 1933 г. по август 1934 г. была равна 352 в/м, а средняя величина  $V'$ , полученная из всех значений, когда скорость ветра не превышала 6 м/сек., т. е. при отсутствии необходимого условия для метелей, за тот же самый период времени была равна 93 в/м.

Что касается неполярных станций, для которых  $V'$  меньше, чем  $V'_n$ , то это обстоятельство можно связать, во-первых, с выпадающими дождями, во-вторых, с сильными ветрами, поднимающими с поверхности земли отрицательно заряженную пыль, и, в-третьих, с влиянием облаков. Эти воздействия в умеренных и низких широтах проявляются в большей мере, чем в высоких широтах.

### Годовой ход градиента потенциала

На рис. 1 представлен годовой ход величин градиента потенциала по нормальным дням для некоторых станций Советского Союза. Как видно из этого рисунка, годовой ход  $V'_n$  для всех станций имеет вид простой волны с максимумом зимой и минимумом летом. Аналогичный годовой ход наблюдается для большинства станций северного и южного полушария.

Средняя годовая амплитуда  $V'_n$  (как разность между максимальным и минимальными значениями, выраженная в процентах от среднегодового) для станций умеренных широт равна 86%, а для полярных станций — 35%. Максимальная амплитуда равна 144% (Москва) и минимальная — 26% (Бухта Тихая).

Интересно было выяснить влияние задымленного воздуха на годовую амплитуду  $V'_n$ . Для этого мы подсчитали из табл. 2 среднюю годовую амплитуду  $V'_n$  по всем городским станциям, по станциям, близко расположенным от городов, и по негородским станциям; при этом получили среднюю годовую амплитуду по городским станциям, равную 96%, по станциям, близко расположенным от города, — 68%, по негородским станциям — 35%. В качестве отдельного примера покажем, что годовая амплитуда  $V'_n$  для Иркутска (город) равна 112%, а для Зуя (сельская местность), расположенного в 30 км от Иркутска, равна 55%. Из этих данных видно, что годовая амплитуда  $V'$  значительно больше для городских станций, чем для негородских.

### Суточный ход градиента потенциала

Среднегодовой суточный ход величин градиента потенциала  $V'_n$  показан на рис. 2 а, б по данным табл. 3. Как видно из рис. 2, суточный ход  $V'_n$  для полярных станций представляет собою простую волну с максимумом в 19—20 час. и минимумом в 3—5 час. по гринвичскому времени.

Суточный ход  $V'_n$  для неполярных станций имеет два максимума и два минимума. Первый максимум приходится на 8—10 час. по местному времени, второй максимум — на промежуток времени от 19 до 23 час. в зависимости от географической долготы станции. Исключением является Якутск, для которого первый максимум в суточном ходе  $V'_n$  наступает в 4 час., а второй — в 17 час.

Первый минимум в суточном ходе  $V'_n$  для станций умеренных широт наступает в 2—5 час., а второй — в 13—16 час. по местному времени; в Якутске — в 12 и 22 час.

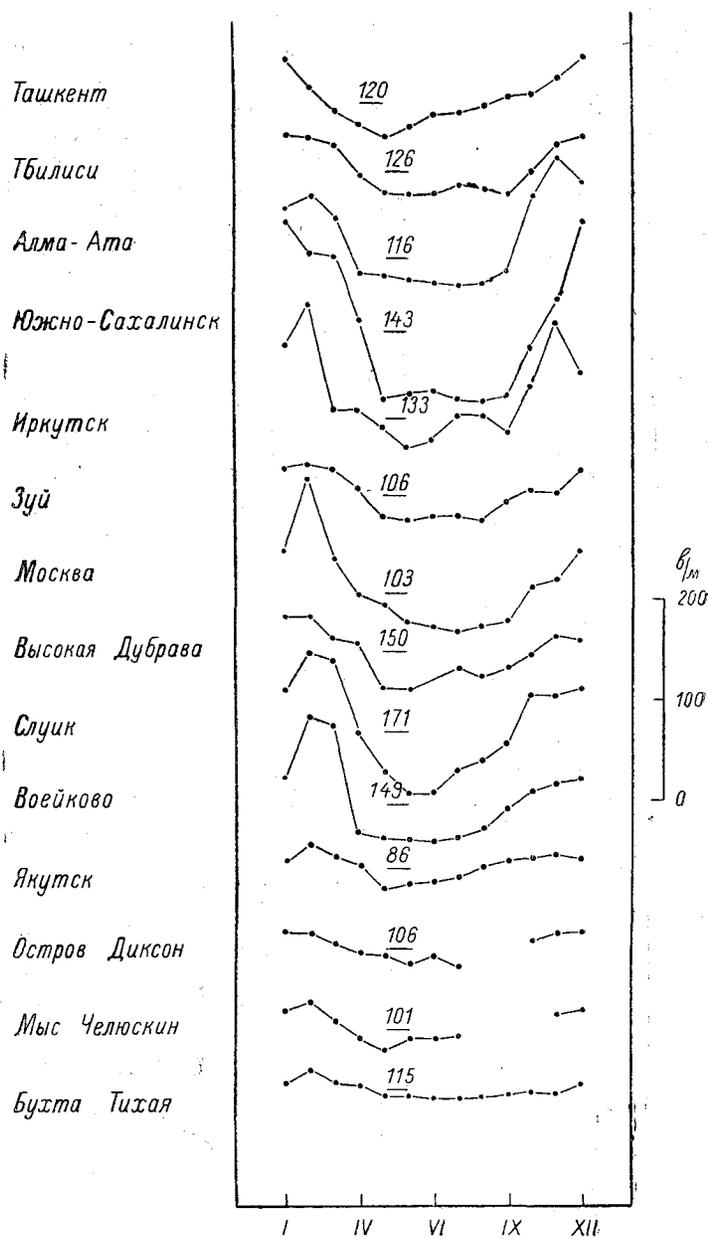


Рис. 1. Годовой ход градиента потенциала.

Суточная амплитуда  $V'_n$  изменяется в широких пределах, наибольшая амплитуда наблюдалась в Ташкенте, где она равнялась 113% своей средней величины  $V'_n$ , и наименьшая в Якутске, где она равнялась 12%; средняя амплитуда по всем станциям равнялась 46%.

Такое различие между суточной амплитудой, наблюдаемой на станции Ташкент, и суточной амплитудой, наблюдаемой на станции Якутск, объясняется следующими

причинами: 1) для станции Якутск локальная и унитарная вариации [2] находятся в противофазах и в значительной степени гасят друг друга, в то время как для станции Ташкент они усиливают друг друга; 2) с ростом широты суточная амплитуда  $V'$  убывает и особенно в интервале широт Ташкент—Якутск (см. ниже);

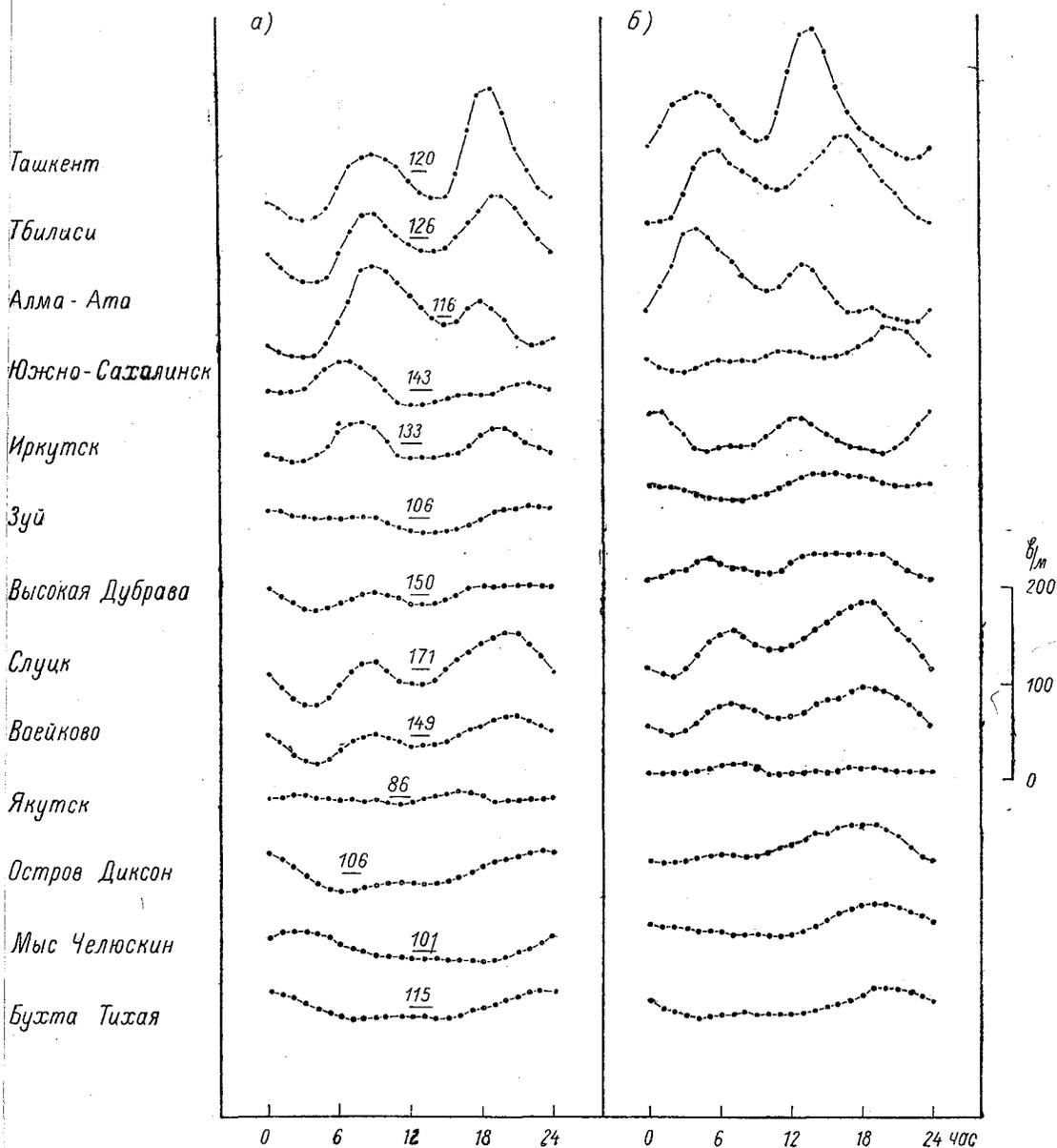


Рис. 2. Среднегодовой суточный ход по местному времени (а) и по гринвичскому времени (б).

3) станция Якутск по сравнению со ст. Ташкент отличается более чистым воздухом и ее можно рассматривать как негородскую станцию. Для города характерны большие амплитуды в периодических изменениях  $V'$  особенно при наличии слабого ветра и безоблачной погоды.

На основании данных, представленных в табл. 4, на рис. 3—15 изображен суточный ход  $V'_H$  в различные сезоны года. Из этих рисунков видно, что для

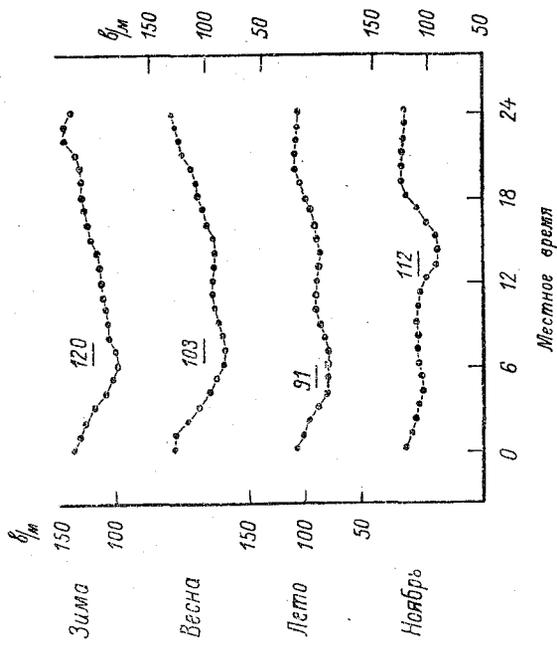


Рис. 3. Суточный ход  $V'_n$  в Бухте Тихой.

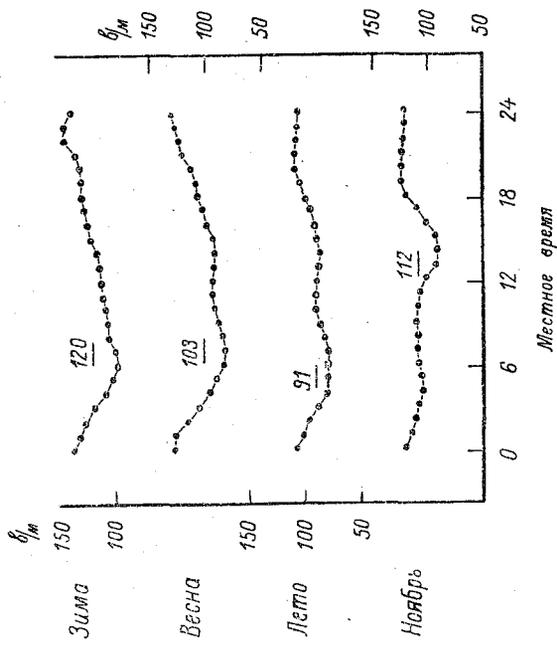


Рис. 4. Суточный ход  $V'_n$  на Острове Диксон.

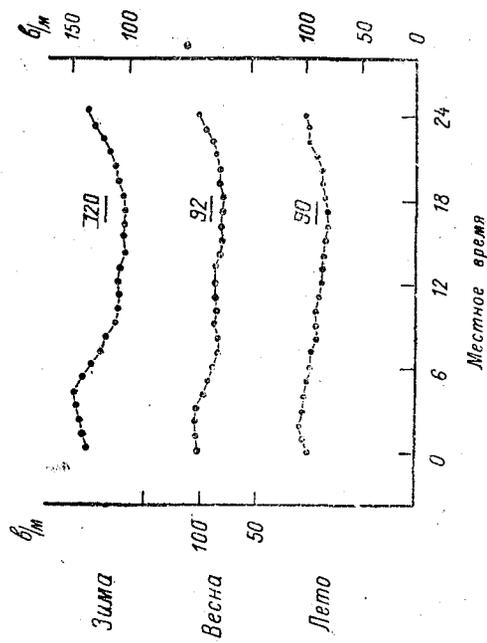


Рис. 5. Суточный ход  $V'_n$  на Мысе Челюскин.

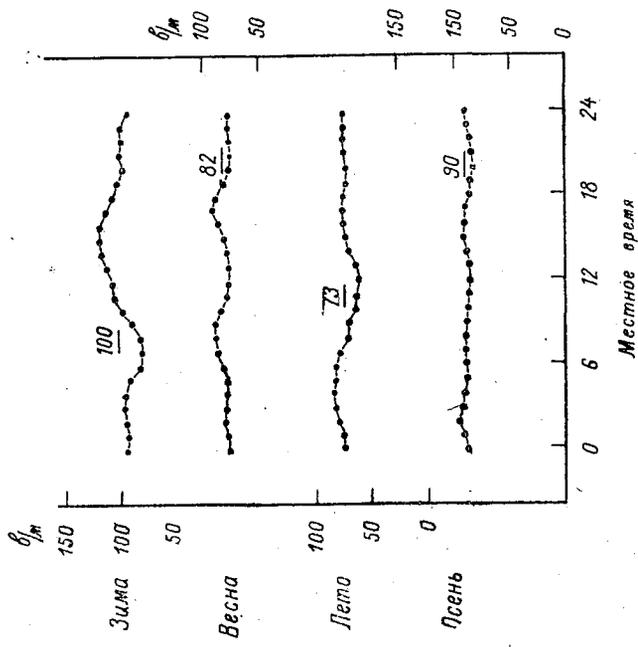


Рис. 6. Суточный ход  $V'_n$  в Якутске.

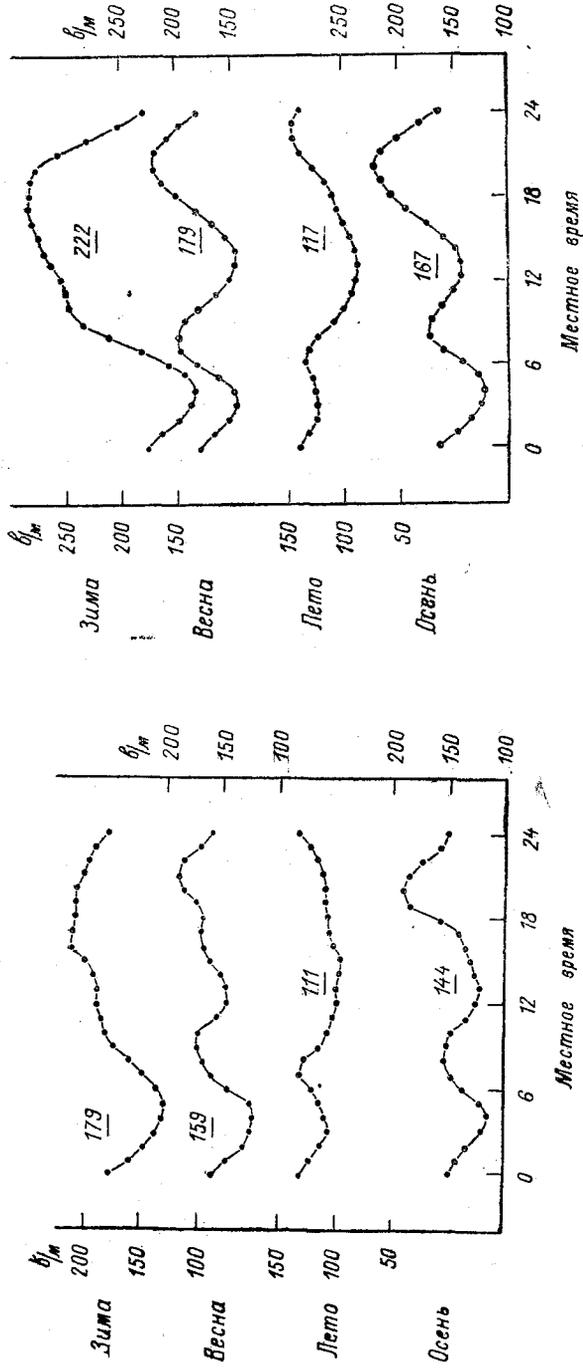


Рис. 8. Суточный ход  $V_n$  в Слуцке.

Рис. 7. Суточный ход  $V_n$  в Воейкове.

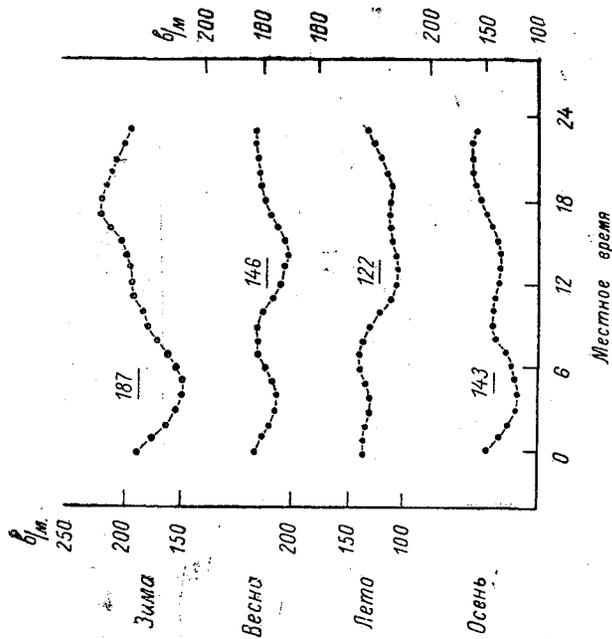


Рис. 9. Суточный ход  $V'_r$  в Высокой Дубраве.

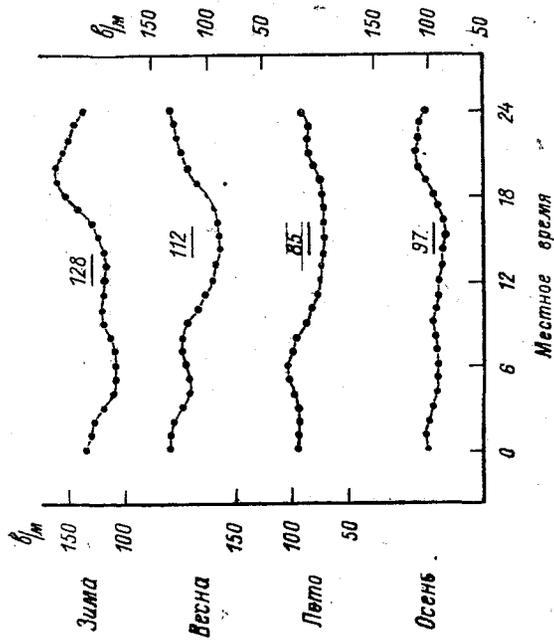


Рис. 10. Суточный ход  $V'_r$  в Зуе.

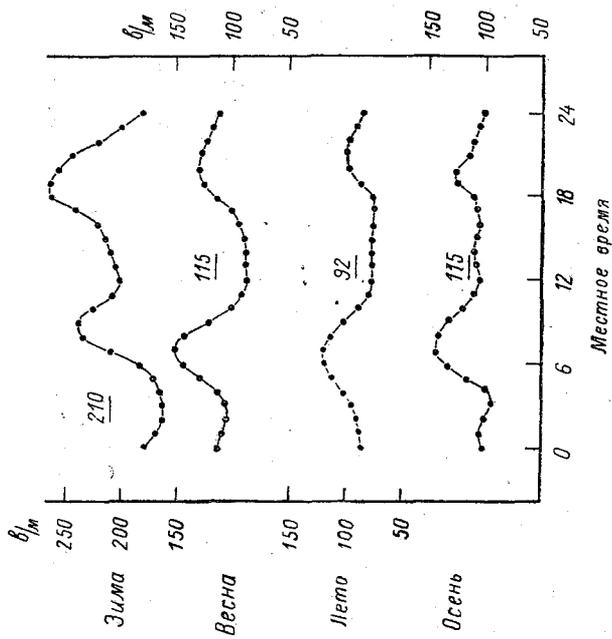


Рис. 11. Суточный ход  $V_n'$  в Иркутске.

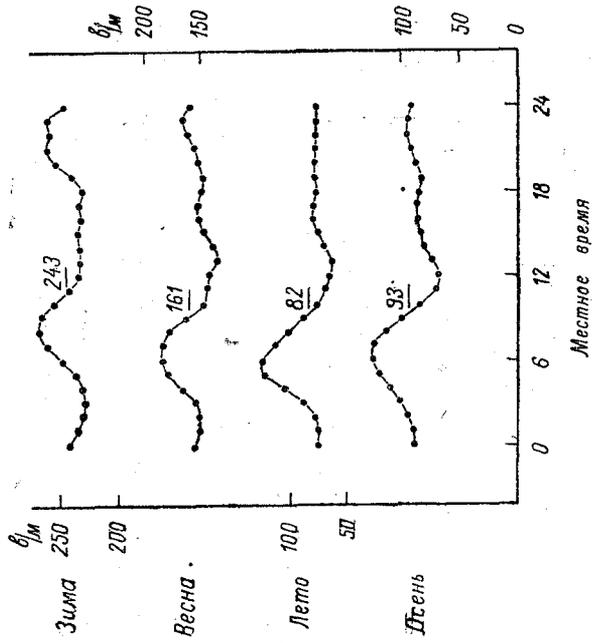


Рис. 12. Суточный ход  $V_n'$  в Южно-Сахалинске.

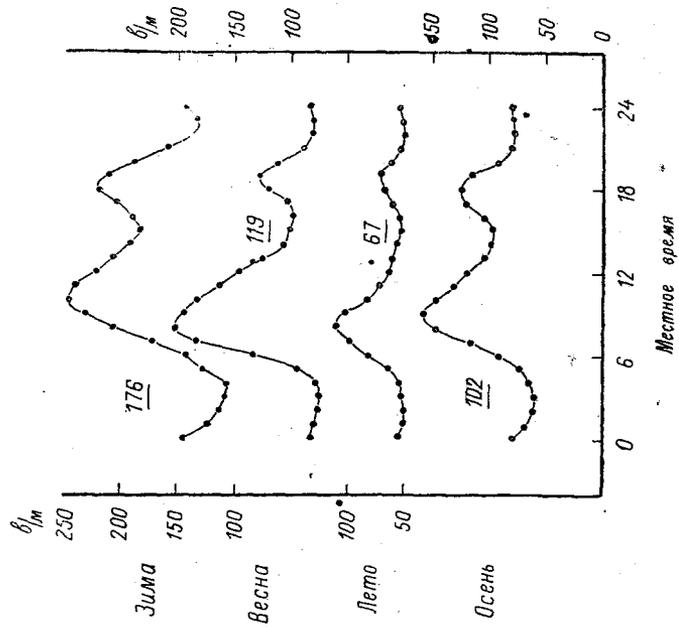


Рис. 13. Суточный ход  $V'_n$  в Алма-Ате.

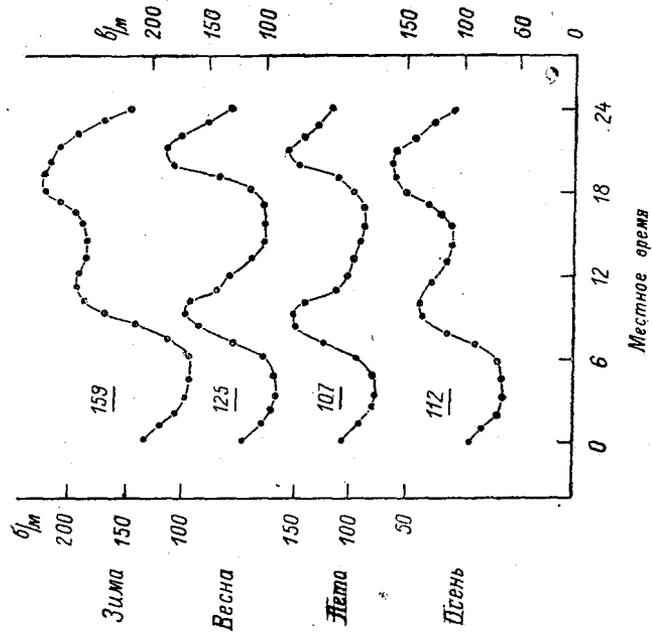


Рис. 14. Суточный ход  $V'_n$  в Тбилиси.

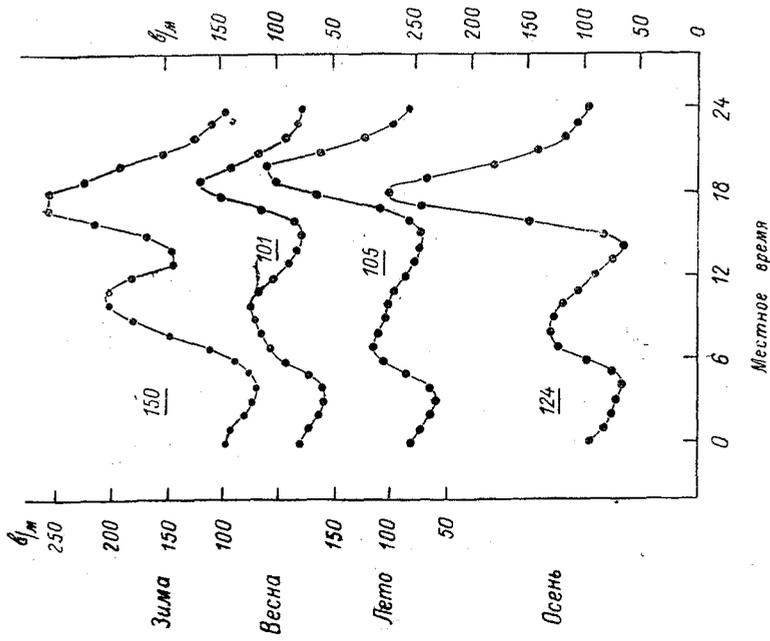


Рис. 15. Суточный ход  $V_n$  в Ташкенте.

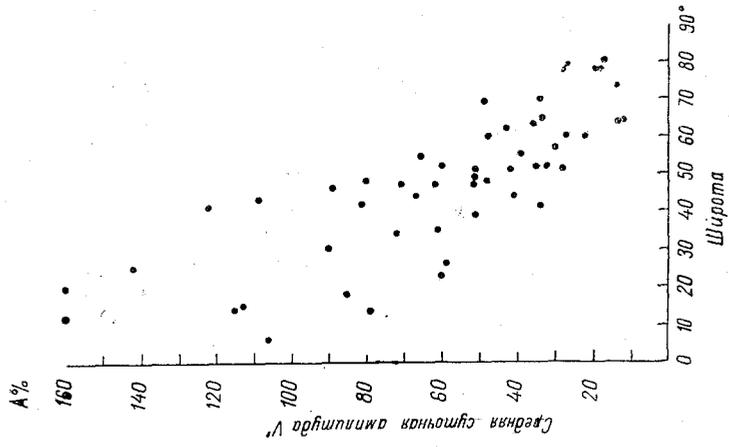


Рис. 16. Зависимость амплитуды локальной суточной вариации от географической широты.

Средний суточный ход значений  $V'_H$  по сезонам года

Часы	Зима	Весна	Лето	Осень	Часы	Зима	Весна	Лето	Осень
Бухта Тихая (1938—1939 гг.)									
1	143	132	126	127	14	111	108	101	102
2	139	129	126	126	15	113	108	101	101
3	135	126	123	122	16	117	107	101	101
4	131	123	114	113	17	117	108	102	104
5	127	120	105	105	18	121	109	104	107
6	122	117	101	101	19	124	113	104	113
7	116	112	98	97	20	127	121	106	115
8	112	110	97	96	21	132	130	114	116
9	110	110	98	99	22	137	136	120	118
10	109	110	101	102	23	141	138	125	122
11	108	109	101	107	24	145	136	127	125
12	108	108	102	111					
13	109	108	101	106	Ср.	123	118	108	110
Мыс Челюскин (1934—1935 гг.)									
1	139	114	96		14	104	84	85	
2	144	120	101		15	101	80	84	
3	148	120	102		16	101	80	82	
4	151	116	101		17	100	80	81	
5	152	107	100		18	100	77	81	
6	144	99	97		19	102	77	82	
7	135	89	95		20	106	80	83	
8	126	85	93		21	110	82	85	
9	120	85	90		22	115	87	88	
10	109	87	89		23	121	95	94	
11	107	87	89		24	130	105	95	
12	106	87	87						
13	106	87	85		Ср.	120	92	90	
Остров Диксон (1933—1934 гг.)									
1	142	132	106	125	14	111	92	85	88
2	136	130	102	123	15	114	91	85	85
3	127	120	97	118	16	120	93	88	90
4	117	108	89	114	17	124	97	90	102
5	104	96	82	110	18	128	102	92	141
6	96	89	80	108	19	132	106	98	121
7	92	84	79	111	20	132	110	104	128
8	93	81	80	113	21	135	114	106	130
9	100	84	82	114	22	140	122	106	127
10	103	86	86	114	23	152	116	106	127
11	104	89	89	114	24	154	129	106	125
12	108	92	89	106					
13	111	93	87	97	Ср.	120	103	91	112
Якутск (1936—1943 гг.)									
1	94	77	74	90	6	91	78	82	91
2	93	78	76	93	7	86	83	81	91
3	95	81	79	96	8	84	88	77	91
4	96	81	82	95	9	86	89	71	91
5	94	79	83	92	10	89	89	68	90

Часы	Зима	Весна	Лето	Осень	Часы	Зима	Весна	Лето	Осень
11	97	86	64	90	19	106	89	74	88
12	104	80	62	88	20	101	81	72	85
13	109	77	60	87	21	99	76	71	84
14	112	78	62	87	22	98	75	71	85
15	115	79	68	89	23	97	77	73	86
16	118	81	70	92	24	97	77	74	88
17	117	86	73	92					
18	113	92	75	90	Ср.	100	82	73	90

Воейково (1948—1950 гг.)

1	179	161	134	150	14	189	150	98	120
2	165	144	123	143	15	184	151	94	125
3	147	132	114	134	16	198	163	95	129
4	144	127	105	118	17	217	168	103	136
5	128	123	111	114	18	211	170	103	139
6	130	126	115	124	19	205	168	104	154
7	135	147	118	136	20	208	169	109	187
8	148	162	132	148	21	209	187	105	191
9	159	167	125	153	22	201	193	117	185
10	180	174	113	150	23	198	186	116	171
11	183	175	106	150	24	190	168	122	153
12	186	155	100	133					
13	191	148	99	126	Ср.	179	159	111	144

Слуцк (1916—1935 гг.)

1	178	181	139	165	14	261	148	88	145
2	163	168	133	149	15	269	148	89	149
3	149	156	126	137	16	276	156	94	162
4	138	149	124	127	17	281	169	100	176
5	134	149	125	125	18	284	184	105	193
6	140	163	129	129	19	283	199	110	207
7	158	182	135	143	20	282	213	116	214
8	183	197	132	162	21	275	221	127	221
9	212	199	122	174	22	257	219	138	217
10	235	194	110	171	23	229	210	145	202
11	248	180	100	162	24	202	196	145	182
12	251	165	93	151					
13	253	158	90	146	Ср.	223	179	117	167

Высокая Дубрава (1935—1950 гг.)

1	186	156	135	150	14	194	130	106	138
2	174	151	136	141	15	198	128	106	136
3	162	144	133	131	16	203	130	108	139
4	154	139	131	125	17	212	136	110	145
5	148	139	131	123	18	219	144	112	151
6	149	143	134	124	19	220	148	111	155
7	152	149	139	128	20	216	151	111	158
8	161	153	140	134	21	211	153	114	160
9	171	154	137	141	22	207	154	119	161
10	181	154	129	145	23	201	155	124	162
11	188	150	120	144	24	194	156	120	158
12	191	142	111	144					
13	192	135	108	141	Ср.	187	146	122	144

Часы	Зима	Весна	Лето	Осень	Часы	Зима	Весна	Лето	Осень
------	------	-------	------	-------	------	------	-------	------	-------

З у й (1933—1935 и 1943—1949 гг.)

1	135	134	94	103	14	117	91	72	89
2	132	133	95	104	15	119	89	71	88
3	127	130	96	100	16	122	89	71	86
4	118	123	96	98	17	128	91	70	88
5	112	117	99	96	18	139	93	71	92
6	109	117	103	94	19	151	99	72	96
7	108	119	105	93	20	158	109	73	103
8	108	123	100	94	21	159	116	78	110
9	112	124	94	97	22	153	122	83	111
10	118	118	88	98	23	150	126	88	110
11	119	109	83	95	24	145	128	89	109
12	118	101	77	94					
13	117	95	74	91	Ср.	128	112	85	97

Иркутск (1927—1928 гг.)

1	181	115	87	104	14	204	89	78	108
2	171	111	88	105	15	209	91	77	109
3	166	107	90	103	16	214	91	78	107
4	164	108	94	97	17	220	95	76	106
5	166	115	103	102	18	241	102	73	108
6	170	130	112	118	19	261	115	75	110
7	184	147	117	136	20	264	127	86	128
8	211	152	120	144	21	256	131	95	127
9	234	145	115	143	22	242	129	98	116
10	239	121	103	135	23	219	125	96	112
11	225	103	91	122	24	197	119	91	115
12	207	93	81	110					
13	202	89	78	105	Ср.	210	115	92	115

Южно-Сахалинск (1933—1946 гг.)

1	242	157	75	90	14	231	138	62	74
2	234	153	75	91	15	232	139	65	81
3	229	152	79	95	16	233	146	72	83
4	229	156	86	101	17	232	153	76	84
5	231	168	102	110	18	230	154	76	88
6	237	179	119	120	19	228	150	76	87
7	247	184	122	127	20	238	148	75	84
8	260	183	112	126	21	252	152	75	86
9	267	179	100	114	22	260	154	75	91
10	266	164	86	99	23	258	160	74	94
11	255	148	73	85	24	256	163	73	93
12	240	144	68	72					
13	232	143	64	68	Ср.	242	157	82	93

Алма-Ата (1939—1946 гг.)

1	148	85	54	81	14	211	126	63	106
2	126	82	53	71	15	195	112	59	98
3	117	78	51	66	16	188	103	55	94
4	112	75	83	62	17	194	101	56	105
5	109	80	54	66	18	208	114	60	119
6	123	98	64	72	19	225	124	68	124
7	144	137	83	91	20	216	129	72	112
8	178	182	99	118	21	193	110	62	92
9	212	203	113	147	22	161	90	54	79
10	244	200	103	157	23	136	83	50	78
11	249	186	84	145	24	137	82	52	80
12	246	165	73	132					
13	230	147	67	120	Ср.	179	120	67	101

Часы	Зима	Весна	Лето	Осень	Часы	Зима	Весна	Лето	Осень
------	------	-------	------	-------	------	------	-------	------	-------

Т б и л и с и (1938—1949 гг.)

1	133	120	106	93	14	184	102	91	106
2	120	105	92	81	15	187	100	89	113
3	106	96	82	70	16	194	100	86	117
4	96	92	77	65	17	206	108	88	130
5	92	94	78	65	18	222	114	96	152
6	94	104	92	70	19	221	148	110	160
7	113	130	122	88	20	212	184	146	163
8	140	158	150	114	21	209	190	159	161
9	170	173	153	136	22	192	176	145	143
10	187	171	141	140	23	168	154	130	128
11	192	144	115	133	24	145	132	119	108
12	192	126	104	126					
13	184	112	96	114	Ср.	159	125	107	112

Т а ш к е н т (1929—1949 гг.)

1	98	80	83	97	14	145	92	78	77
2	93	75	74	86	15	143	84	73	67
3	79	67	66	79	16	166	79	72	86
4	73	62	60	73	17	214	84	82	151
5	68	62	65	69	18	256	113	111	246
6	74	74	85	76	19	253	160	166	276
7	88	94	107	102	20	222	171	202	242
8	113	108	116	125	21	188	143	211	184
9	148	115	110	133	22	153	118	166	143
10	182	121	106	130	23	126	94	123	117
11	200	125	104	122	24	108	85	97	107
12	202	117	97	108					
13	182	105	87	92	Ср.	149	101	105	124

полярных станций изменения в суточном ходе  $V'_n$  в течение года незначительны. Для остальных станций изменения в суточном ходе  $V'_n$  от сезона к сезону существенные и заключаются в следующем: от зимы к лету вечерний максимум перемещается на более поздние часы, а утренний максимум перемещается на более ранние часы. Таким образом, дневная депрессия от зимы к лету становится продолжительнее по времени и больше по величине, а суточная амплитуда  $V'_n$  становится меньше. Изменения  $V'_n$  от лета к зиме протекают в обратном направлении.

Интересно отметить преобладание утреннего максимума  $V'_n$  над вечерним максимумом для Алма-Аты, Южно-Сахалинска и в большую часть года для Иркутска в отличие от других континентальных станций, для которых преобладает вечерний максимум.

### Локальная суточная вариация градиента потенциала

Суточный ход градиента потенциала, как было показано [3, 2], можно разложить на две вариации, одна из которых протекает по мировому времени, другая по местному времени, т. е. его можно разложить на унитарную и локальную вариации.

Для выделения локальных суточных вариаций мы воспользовались методом П. Н. Тверского [3], а за исходные унитарные вариации взяли ранее полученные автором [2]. На рис. 16, построенном по данным табл. 5, нанесены средние (для годовичного периода) величины амплитуд локальной суточной вариации градиента потенциала основных континентальных станций в зависимости от широты

станций; видно, что амплитуда локальной суточной вариации градиента потенциала растет от высоких к низким широтам. Но поскольку над океанами почти не наблюдается локальной суточной вариации, то отсюда можно сделать заключение, что отмеченная зависимость не прямая, а косвенная и, повидимому, обусловлена вертикальным перемешиванием воздуха.

Таблица 5

Локальная суточная вариация  $V'_n$  для среднего годовичного периода в  $\% V_n$

Часы	Среднее по континентальным и полярным станциям	Ташкент	Тбилиси	Алма-Ата	Южно-Сахалинск	Зуй	Иркутск	Высокая Дубрава	Якутск	Слуцк	Войково	Остров Диксон	Мыс Челюскин	Бухта Тихая
1	-13	-45	-26	-40	-8	20	2	-13	-15	-6	-2	1	-4	2
2	-14	-45	-24	-44	-17	17	-2	-10	-17	-9	-2	0	-2	7
3	-16	-45	-34	-41	-17	11	-5	-9	-16	-10	-3	1	1	10
4	-15	-44	-34	-37	-15	5	-8	-8	-17	-9	-4	-3	4	8
5	-11	-43	-30	-31	-10	-2	-6	-4	-20	-10	-5	-7	8	8
6	-4	-27	-27	-16	-3	-5	-2	1	-17	-4	-2	-7	8	9
7	4	-7	-4	10	4	-6	5	7	-10	4	6	-5	8	6
8	12	10	18	31	8	-8	8	12	-5	12	10	-3	8	4
9	14	18	34	60	9	-7	6	17	0	16	14	1	9	4
10	12	26	34	65	0	-11	-3	16	5	14	12	4	8	5
11	7	27	25	57	5	-18	-17	13	8	9	12	5	8	4
12	2	19	15	45	2	-25	-30	8	9	4	8	4	7	3
13	-1	6	7	31	1	-28	-32	5	10	-1	3	2	6	1
14	-3	-8	0	18	1	-27	-26	2	13	-5	-1	-1	3	-2
15	-3	-18	-9	7	4	-22	-17	2	15	-5	-7	-2	-1	-4
16	-1	-13	-10	1	6	-17	-11	1	16	-5	-8	0	-3	-6
17	4	10	-3	0	7	-12	-4	2	17	-4	-4	1	-5	-10
18	9	47	2	8	4	-4	7	2	16	-1	-7	1	-7	-11
19	11	69	15	12	3	7	20	-1	9	1	-6	2	-9	-13
20	10	62	27	1	4	15	27	-4	0	2	-2	1	-10	-11
21	6	36	47	-14	5	21	29	-10	-1	2	-1	1	-11	-12
22	-1	1	7	-32	5	22	23	-14	-6	2	-2	2	-12	-10
23	-5	-24	-9	-44	1	23	17	-17	-8	-1	-2	2	-10	-6
24	-9	-38	-23	-44	-4	23	8	-15	-13	-3	-3	1	-7	-2

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко В. И. Проблемы Арктики, № 3, 1937.
2. Парамонов Н. А. Об унитарной вариации градиента атмосферно-электрического потенциала. Доклады АН СССР, т. 70, № 1, 1950.
3. Тверской П. Н. Суточный ход напряженности электрического поля над континентом. Известия АН СССР, сер. геогр. и геофиз., т. 12, № 6, 1948.
4. Mauchly S. I. Res Dep. Terr. Magn. Publ, 175, Vol, 5, 1926.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
И. М. Имянитов. Методы измерения градиентов проводимости и ионной концентрации в атмосфере . . . . .	3
И. М. Имянитов и В. П. Колоколов. Исследования распределения индуцированного и собственного электрического заряда на поверхности самолета . . . . .	8
В. П. Колоколов и Д. Е. Огороднов. Применение прибора напряженности поля для измерения тока осадков . . . . .	17
Я. Ю. Рейнет. Комбинированный счетчик атмосферных ионов . . . . .	23
В. А. Соловьев. Об одном методе измерений зарядов и размеров капель туманов . . . . .	31
Б. Ф. Лоч. Узкосекторная регистрация атмосфериков . . . . .	42
Б. Ф. Лоч. Опытные наблюдения за числом грозовых разрядов . . . . .	47
В. М. Мучник. О возможных механизмах электризации гидрометеоров в кучво-дождевых облаках . . . . .	53
9. П. Л. Виноградов. Градиент электрического потенциала в атмосфере по наблюдениям в Зуе за 1943—1950 гг. . . . .	58
Е. В. Двали. Электрическое поле атмосферы при осадках . . . . .	69
В. В. Зыкова. Градиент электрического потенциала атмосферы в г. Южно-Сахалинске за 1933—1946 гг. . . . .	75
Н. А. Пармонов. Некоторые результаты наблюдений за градиентом электрического потенциала в атмосфере над территорией Советского Союза . . . . .	81

Редактор Ю. В. Власова.

Техн. редактор М. И. Брайнина.

Корректор Е. П. Баскакова.

Сдано в набор 29/III 1956 г.

Подписано к печати 17/VII 1956 г.

Бумага 70 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бум. л. 3,13 + 3 вкл.

Печ. л. 8,91.

Уч.-изд. л. 9,11.

Тираж 1500 экз.

М-23663.

Индекс МЛ-36.

Гидрометеорологическое издательство. Ленинград В. О., 2-я линия., д. № 23.

Заказ № 408.

Цена 6 руб. 40 коп.

2-я типолитография Гидрометеоиздата, Ленинград, Прачечный пер., д. 6.

