

ния потенциала для высоты 6000 м по данным за 1958—1966 гг. следующие:

Город . . . . .	Ленинград	Киев	Ташкент
$U_{50}$ кВ . . . . .	150	150	140
$\sigma$ . . . . .	13,5	13,5	11,5
$\bar{U}$ кВ . . . . .	180	230	170

Здесь  $\bar{U}$  — среднее (арифметическое) значение  $U$  на высоте 6000 м.

### 3 Механизм образования электрических зарядов в грозовых облаках

Среди всех видов электрических зарядов и полей, наблюдаемых в атмосфере, заряды и поля, порождаемые облаками вообще и кучево-дождевыми (грозовыми) в особенности, достигают наиболее внушительных значений и, как следствие, представляют наибольший научный и особенно прикладной интерес.

С тех пор как в середине XVIII в. было открыто грозовое электричество (М. В. Ломоносов, Г. В. Рихман, Б. Франклин), предпринимались неоднократные попытки создать теорию образования зарядов облаков и осадков. Однако все эти теории до сего времени скорее носят характер гипотез, чем теорий, и далеко неполно объясняют различные стороны этого сложного явления.

Отметим прежде всего некоторые (достаточно прочно установленные путем наблюдений за осадками на земной поверхности) факты:

- количество положительных зарядов, приносимых осадками, а также продолжительность таких осадков больше, чем для случая осадков с отрицательными зарядами;

- число положительно заряженных капель и снежинок примерно в 1,7 раза больше числа отрицательно заряженных; заряд отдельной капли или снежинки колеблется в широких пределах (максимальные значения достигают  $\pm 50$  пКл, средние близки к +1 и  $-1,3$  пКл);

- более крупные капли и снежинки несут, как правило, и большие заряды;

- плотность тока растет с увеличением интенсивности осадков, достигая в случае выпадения ливневых осадков и града значений порядка  $10^{-8}$  А/м<sup>2</sup> = 10 нА/м<sup>2</sup> (для обложных осадков плотность тока имеет порядок  $10^{-11}$  А/м<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> нА/м<sup>2</sup>).

Можно указать несколько механизмов возникновения зарядов в облаках.

1. **Электризация капль за счет захвата ими ионов.** На поверхности капли (или кристалла) образуется двойной электрический слой, состоящий из молекулярных диполей, которые ориентированы так, что капля захватывает из воздуха отрицательные ионы. Однако этот механизм менее интенсифицирован, чем механизм, связанный с влиянием внешнего электрического поля. В нормальном поле (напряженность направлена по вертикали вниз) крупные капли и кристаллы поляризуются: нижняя часть заряжается положительно, а верхняя отрицательно. При падении эти заряды взаимодействуют с зарядами ионов. Отрицательные ионы притягиваются к нижней части капли и захватываются ею, положительные — отталкиваются. Вследствие этого падающая капля заряжается отрицательно, а положительные ионы восходящим потоком переносятся в верхнюю часть облака.

Аналогично заряжаются поляризованные крупные капли под влиянием взаимодействия с мелкими разноименно заряженными каплями облака. При этом положительно заряженные мелкие капли восходящим потоком переносятся в верхнюю часть облака, а отрицательно заряженные капли, захватываемые нижней поверхностью крупной капли, увеличивают ее отрицательный заряд.

2. **Электризация при фазовых переходах.** Один из наиболее важных механизмов образования электрических зарядов связан с процессом замерзания переохлажденных капль воды. Кристаллизация капли начинается обычно в одной из точек ее поверхности. Образовавшийся на поверхности капли ледяной зародыш быстро разрастается и приобретает форму сферического сегмента. От зародыша внутрь капли распространяется фронт кристаллизации. Этот процесс обычно завершается деформацией капли и выбросом микрочастиц, а иногда — разрушением капли и отрывом крупных осколков.

Жидкая и твердая фазы воды являются самодиссоциирующими средами. Это означает, что в каждой из фаз происходит диссоциация (расщепление) молекул  $\text{H}_2\text{O}$  на положительный ион водорода  $\text{H}^+$  и отрицательный ион гидроксила  $\text{OH}^-$ :



Поскольку концентрация ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в твердой фазе меньше, чем в жидкой, то возникает поток ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  через фронт кристаллизации из жидкой фазы в твердую. Однако ионы  $\text{H}^+$ , будучи более подвижными, чем  $\text{OH}^-$ , быстрее проникают через фронт кристаллизации из жидкой фазы в твердую и тем самым создают во льду избыточный положительный заряд. Вследствие этого ледяные частицы, образующиеся в процессе замерзания переохлажденной капли, оказываются заряженными, как правило, положительно.

Названные механизмы не исчерпывают всех возможных процессов, при которых происходит электризация облачных капль и

кристаллов. Более того, каждый из этих механизмов следует рассматривать как гипотезу, поскольку отсутствуют надежные оценки и экспериментальные данные о вкладе различных процессов в заряд облаков.

#### 4 Электрическое поле и условия возникновения молний в грозовых облаках

Несмотря на большое число гипотез формирования электрического поля и схем строения грозовых облаков, общепринятого взгляда на эту сложную проблему не существует и до настоящего времени. Наибольшим признанием пользуется схема строения грозового облака, первоначально предложенная Симпсоном и Робинсоном (1941 г.), а затем уточнявшаяся Байерсом, Брейамом, Пирсом и др. В последние десятилетия широкие экспериментальные исследования грозовых облаков с помощью самолетов и локационной техники проведены в Советском Союзе.

Одна из схем электрической структуры грозового облака, обобщающая многолетние экспериментальные исследования, изображена на рис. 23.4. Согласно этой схеме, в верхней части облака (чаще всего располагающейся выше изотермы  $-12^{\circ}\text{C}$ ) преобладают положительные заряды, преимущественно на ледяных частицах. В нижней части облака сосредоточены в основном отрицательные заряды.

Такое распределение объемных зарядов первого (крупного) масштаба обусловлено влиянием различных процессов электризации, при этом ни один из них нельзя считать главным и тем более единственным в формировании электрического поля грозового облака. В облаке одновременно наблюдаются процессы, способствующие и препятствующие накоплению зарядов на облачных частицах (каплях и кристаллах) и пространственному разделению значительных объемов разноименно заряженных частиц.

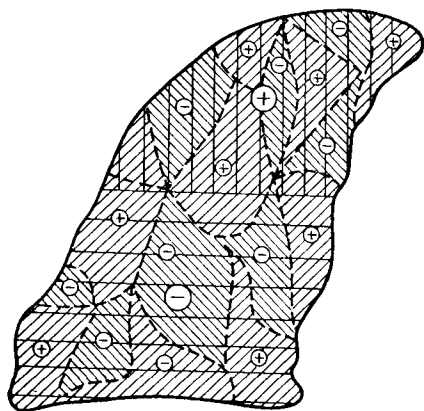


Рис. 23.4. Схема распределения электрических зарядов в развивающемся грозовом облаке.

Вертикальной и горизонтальной (редкой) штриховкой обозначены области, создающие основное электрическое поле  $E_0$ ; косой (частой) штриховкой — области положительных и отрицательных зарядов меньшего масштаба, увеличивающие напряженность до  $E_{кр}$ .