

Н. С. ШИШКИН

## О РОЛИ КОРОННОГО РАЗРЯДА В РАЗВИТИИ ГРОЗ

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 22 X 1969)

Существует несколько гипотез о механизме процессов, приводящих к образованию в облаках сильного электрического поля, обуславливающего развитие грозовых явлений. Одна из них связывает заряджение мелких облачных капель (и кристаллов) с адсорбцией ими атмосферных ионов, а образование грозовых явлений — с накоплением зарядов на падающих через облако частицах осадков (дождя, крупы, града) благодаря коагуляции этих частиц с заряженными облачными каплями.

Я. И. Френкель (4) показал, что при учете влияния двойного электрического слоя заряд мелких капель должен быть пропорционален радиусу  $q = \varphi r$ , где  $\varphi$  — потенциал капли,  $r$  — ее радиус. Эксперименты (3) подтвердили линейную связь между зарядом и радиусом мелких капель, но величина измеренных зарядов оказалась на порядок меньше предсказанных Я. И. Френкелем значений.

Автором настоящей статьи (5) была сделана попытка оценки возможного роста заряда частиц осадков путем коагуляции с облачными каплями при предположении, что все мелкие капли несут заряд, измеренный в экспериментах. Оказалось, что заряды, рассчитанные таким образом, вполне достаточны для объяснения образования в облаках больших напряженностей электрического поля. Но когда было выполнено (4) решение системы уравнений для изменения концентрации атмосферных ионов в облаке при учете процессов естественного ионообразования, рекомбинации ионов и адсорбции ионов каплями облака, то оказалось, что вычисленный удельный заряд облачных капель вполне обеспечивает коагуляционное заряджение частиц осадков в ливневых дождях (7), соответствующее измерениям, но таким путем не может быть объяснено возникновение грозовых явлений. Очевидно, что полученные в экспериментах заряды отдельных облачных капель не соответствуют средним величинам зарядов.

Расчеты показали, что при значениях величин, входящих в систему уравнений — скорости восходящего потока  $u = 1 \div 10$  м/сек, концентрации облачных капель в нижней части облака  $n = 100$  см<sup>-3</sup>, начальной проводимости на уровне нижней границы облака  $\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-4}$  сек<sup>-1</sup> и отношении полярных проводимостей  $(\lambda_+ / \lambda_-)_0 = 1,1$  (интенсивность ионообразования полагалась равной  $\nu = 10$  пар ионов/см<sup>3</sup>·сек), нижняя часть облака заряжается отрицательно до высоты 1,0—1,5 км, а верхняя его часть — положительно. Заряд, сосредоточенный на каплях, сильно меняется в нижнем слое толщиной 2—2,5 км, а выше остается почти неизменным, составляя  $+(100-200)$  е/см<sup>3</sup> (е — абсолютное значение элементарного заряда).

Это обуславливает почти линейное коагуляционное изменение с высотой заряда частиц осадков по мере их падения с уровня верхней границы траекторий до высоты 1,5—2,0 км над нижней границей (7). Максимальный заряд частиц осадков не превышает в этом слое 0,1 эсе. В нижней части облака происходит перезарядка частиц осадков. Напряженность электрического поля в указанных условиях не превышает 50 в/см. В области линейного изменения заряда частиц осадков она легко рассчитывается по формуле

$$E = 2\pi NQZ, \quad (1)$$



которая получается интегрированием уравнения (5)

$$dE/dZ = 4\pi NQ \quad (2)$$

при неизменной концентрации  $N$  частиц осадков и при предположении, что влиянием заряда облачных капель и воздуха можно пренебречь для зоны, где имеются сильно заряженные частицы осадков. В уравнениях (1) и (2)  $Q \sim kZ$  — заряд частиц осадков,  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Последующие расчеты при варьировании параметров  $u$ ,  $n$ ,  $\lambda_0$ ,  $(\lambda_+/\lambda_-)_0$  в разумных пределах показали, что оно не позволяет объяснить возникнове-

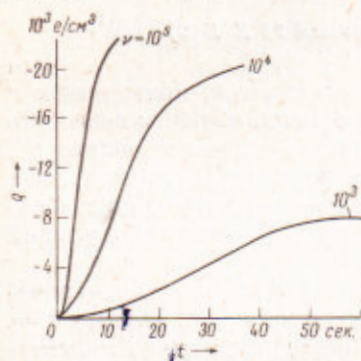


Рис. 1. Рост со временем заряда, сосредоточенного на облачных каплях, при разных скоростях ионизации  $\nu$  (пар ионов/см<sup>3</sup>·сек)

ния полей свыше 100 в/см. Единственной неварьировавшейся величиной являлась в этих расчетах скорость ионообразования. Указанное выше ее значение обусловлено действием естественной радиоактивности, космических лучей и ультрафиолетового излучения.

Однако при наличии в облаке сильно заряженных частиц осадков возникает новый механизм ионообразования, связанный с явлением короны.

Как указывает И. Сартор (10), при сближении равных по размеру заряженных сфер до 0,1 радиуса напряженность поля у их поверхности возрастает в 14 раз, при расстоянии в 0,01 радиуса — в 92 раза, при 0,001 радиуса — в 690 раз и при 0,0001 радиуса — в 5600 раз.

А. Мюллером (8), И. Сартором и В. Аткинсоном (9) экспериментально обнаружено свечение в области коронного разряда между сближающимися каплями, имеющими заряды противоположного знака. В опытах последних авторов капли имели радиус 0,08  $\mu$  и заряды  $\pm 0,021$  эсе. При падении друг за другом множества пар капель по сближающимся траекториям коронный разряд наблюдался не только у непосредственно сближавшихся капель, но у смежной пары капель, отстоящих друг от друга и от предыдущей пары на расстоянии в несколько диаметров. Авторы предполагают, что коронный разряд для второй пары падающих капель обусловлен ультрафиолетовым излучением разряда первой пары или действием электрического поля этого разряда.

В этих условиях увеличение во много раз скорости ионизации воздуха в окрестности крупных сближающихся при падении заряженных частиц вполне возможно.

Мы произвели расчеты заряжения мелких облачных капель при повышенных скоростях ионизации  $\nu = 10^3, 10^4, 10^5$  пар ионов/см<sup>3</sup>·сек. Оказалось, что внезапное повышение скорости ионизации по сравнению с обычной приводит к быстрому изменению заряда, сосредоточенного на каплях в верхней части облака, от  $+(100-200) e/cm^3$ , до  $-(10\,000-20\,000) e/cm^3$  за несколько десятков секунд (см. рис. 1). Удельный заряд облачных капель, т. е. заряд, приходящийся на единицу массы облачной воды, достигает при этом значений 2—4 эсе/г.

В последующем при сохранении скорости ионообразования заряженность мелких капель практически не изменяется.

Если коронными разрядами охвачен столб облака толщиной в несколько километров, то заряд частиц осадков, коагулирующих с сильно заряженными облачными каплями, быстро растет по мере падения и достигает столь больших значений, что напряженность результирующего поля может стать порядка  $3-5 \cdot 10^3$  в/см и более. В таком поле уже возможно начало развития стримеров внутри облака. Согласно Н. И. Капцову (2), минимальная напряженность для распространения стримеров от заряженного тела



малых размеров составляет (при  $P = 760$  мм рт. ст) 4400 в/см. При пониженном давлении в центральной или верхней части облака критическое значение напряженности, естественно, понижается.

Заметим, что после начала коронирования в этой зоне облака происходит отрицательное зарядение облачных капель, а следовательно и частиц осадков. Сближение их при падении с частицами, еще сохранившими положительный знак заряда, увеличивает вероятность коронирования.

Далее, наряду с обеспечением ускорения зарядения облачных частиц и частиц осадков, коронные разряды создают носитель грозового разряда — сильно ионизованную среду, содержащую большое количество свободных электронов.

Можно, таким образом, сделать вывод, что условием перехода облака в грозовое состояние является образование в нем достаточно крупных и сильно заряженных частиц осадков, при сближении которых в процессе падения возникает явление интенсивного коронирования, дающее начало своеобразному процессу электрического самовозбуждения облака.

Главная геофизическая обсерватория  
им. А. И. Воейкова  
Ленинград

Поступило  
17 X 1969

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> С. П. Гирс, Н. С. Шишкин, Тр. Главн. геофиз. общ., в. 239 (1969). <sup>2</sup> Н. И. Капцов, Электрические явления в газах и вакууме, 1950. <sup>3</sup> А. П. Кацыка, Л. Г. Махоткин и др., Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1 (1961). <sup>4</sup> Я. И. Френкель, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 3, № 5 (1944). <sup>5</sup> Н. С. Шишкин, Облака, осадки и грозовое электричество, Л., 1964. <sup>6</sup> Н. С. Шишкин, ДАН, 176, № 6 (1968). <sup>7</sup> Н. С. Шишкин, Труды Главн. геофиз. общ., в. 239 (1969). <sup>8</sup> А. Н. Miller, Phys. Fluids, 8, 1921 (1965). <sup>9</sup> J. D. Sartor, W. R. Atkinson, Science, 157, 3794 (1967). <sup>10</sup> J. D. Sartor, J. Atm. Sci., 24, 6 (1967).