

К ПРОБЛЕМЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЗЕМЛИ

Б. В. Войцеховский, М. Б. Войцеховский

(Новосибирск)

Открытое в XVIII в. явление отрицательного заряда земли вызвало интерес многих исследователей.

В XIX в. было обращено внимание на то, что земной шар при постоянном токе утечки зарядов с жидкой и твердой его поверхности должен был бы разрядиться в течение 10 мин. После этого начались интенсивные работы по объяснению поддержания отрицательного заряда земли.

Однако и в настоящее время возникающая таким образом проблема не получила удовлетворительного решения.

Природа генератора, обеспечивающего непрерывную подпитку поверхности земли отрицательным зарядом, до сих пор не раскрыта. Считается общепризнанным утверждение, что в районах хорошей погоды за счет проводимости атмосферы имеет место только потеря землей отрицательного заряда, а его компенсация происходит в местах с ненастной погодой за счет поступления отрицательного заряда из атмосферы. На протяжении столетия продолжают выдвигаться все новые гипотезы, объясняющие принцип действия генератора, компенсирующего утечку заряда.

В данной работе рассматривается механизм поступления отрицательных зарядов из атмосферы. В работе [1] приводится термин «электрогравитационные генераторы», однако автор не развивает понятие этого термина к проблеме отрицательного заряда земли.

Многими исследователями (см., например, [2]) подтверждено наличие отрицательных зарядов на нижней части облаков. Составляющие облако капли под действием гравитационных сил находятся в состоянии непрерывного падения. В процессе падения из нижней части облака капли переходят в зону с пониженной относительной влажностью, расположенную под облаком. Капли, выпадающие из нижней части облака, несут отрицательный заряд. Испаряясь, они передают заряд воздуху. В работе [1] рассматривается процесс испарения падающих капель, однако выводов о транспонировании ионов в объеме воздуха, в котором произошло испарение капель, нет.

Удельный вес воздуха под облаком, охлажденного за счет испарения капель, перешедших в него из нижней части облака и, следовательно, несущих отрицательный заряд, увеличивается. Это приводит к образованию под облаком нисходящего потока, уносящего с него отрицательные заряды.

Именно эти отрицательные заряды обнаружил Кельвин при наблюдении инверсии градиента потенциала в нижних слоях атмосферы в пределах высоты 30 м [3].

Аналогичные эффекты на Эйфелевой башне отмечены в работе [4]. Чалмерс [2] обращает внимание на загадочность этих явлений. При этом одной из главных проблем атмосферного электричества Чалмерс считает объяснение причин поддержания отрицательного заряда земли.

Оба этих эффекта могут быть объяснены нисходящими потоками воздуха, утяжеленными испарением капель и несущими отрицательные заряды. Холодный воздух, достигнув поверхности земли, расстилается по горизонтали и передает свой отрицательный заряд прежде всего выступающим предметам, на которых при достаточной плотности зарядов может возникнуть свечение, известное под названием «Огней святого Эльма».

Возникающие под тучами нисходящие потоки могут проходить значительные расстояния, исчисляемые несколькими километрами, и, перенося отрицательные заряды, образуют все известные аномалии градиента потенциала, описанные в [2]. Эти аномалии очень хорошо наблюдаются в горных районах вблизи оснований облаков. В отдельных более редких случаях нижняя часть облаков может нести положительный заряд. При этом холодным нисходящим потоком на землю будет перенесен положительный заряд. Можно подсчитать, что если в заданном объеме воздуха содержится жидкая фаза воды, то при ее испарении, т. е. при ее переходе из жидкого состояния в газообразное, удельный вес этого замкнутого объема существенно увеличивается.

Представим себе под облаком произвольный объем воздуха, ограниченный воображаемой невесомой замкнутой оболочкой, проведенной по частицам газа.

Во всяком физическом процессе удобно рассматривать инварианты, т. е. величины, сохраняющие постоянное значение при изменении других параметров. В рассматриваемом случае таким инвариантом является отношение $\Delta F/mg$, где ΔF — изменение архимедовой силы, приложенной к рассматриваемому объему при испарении капель массой m ; g — ускорение силы тяжести.

Уравнение состояния рассматриваемого объема воздуха удобно записать в виде

$$p\Delta V = (\gamma - 1)\Delta E,$$

где E — внутренняя энергия газа; $\Delta E = -mq - p\Delta V$; p — давление воздуха; ΔV — изменение объема воздуха; γ — показатель адиабаты; m — масса испарившихся капель; q — теплота парообразования.

Одновременно при испарении капель образуется пар, занимающий объем $m/\rho_{\text{п}}$, где $\rho_{\text{п}}$ — плотность насыщенного пара. Тогда изменение выделенного объема воздуха составит

$$(1) \quad \Delta V_1 = -(\gamma - 1)mq/\gamma p + m/\rho_{\text{п}}.$$

В выражении (1) для удобства оценочных расчетов вторым членом можно пренебречь. Тогда (1) принимает вид

$$\Delta V_1 = -m(\gamma - 1)q/\gamma p.$$

Учитывая, что $\Delta F = \Delta V_1 \rho_{\text{в}} g$, где $\rho_{\text{в}}$ — плотность воздуха в месте испарения капель, имеем

$$(2) \quad \Delta F/mg = -(\gamma - 1)q\rho_{\text{в}}/\gamma p.$$

Инвариант $\Delta F/mg$ остается постоянным при адиабатическом сжатии нисходящего потока воздуха. Подставляя в правую часть выражения (2) числовые значения входящих в него величин, находим $\Delta F/mg = 8$. Так, испарение одного килограмма воды в произвольном замкнутом объеме уменьшает архимедову силу, приложенную к этому объему, на 8 кг.

При испарении одновременно происходит два процесса:

- 1) увеличение числа молекул в газовой фазе, ведущее к уменьшению удельного веса рассматриваемого замкнутого объема;
- 2) охлаждение замкнутого объема вследствие отбора теплоты, необходимой для испарения капель воды.

Поскольку второй процесс значительно доминирует над первым, результирующий удельный вес объема воздуха, в котором испарились отрицательно заряженные капли воды, увеличивается. Это приводит к

тому, что отрицательно заряженная холодная масса воздуха, образующаяся под облаком, опускается вниз, увлекая за собой отрицательные ионы. Оценка показывает, что электрическое поле отрицательного заряда земли вследствие малой подвижности ионов создает слишком малую вертикальную составляющую его скорости по сравнению с гидродинамической скоростью тонущего холодного воздуха, направляющегося в виде струй к земле. Эти воздушные струи, охлажденные испарением капель воды, уносят отрицательные заряды от нижней части облака к земле и являются, по существу, гравитационным генератором. На высоте нескольких метров над землей возникает область с инверсией градиента потенциала и отрицательные заряды перетекают на поверхность земли.

Таким образом, облачная часть атмосферы осуществляет подпитку земли за счет отрицательно заряженных нисходящих потоков воздуха и восполняет потерю отрицательного заряда в области с безоблачной погодой.

Авторы выражают благодарность П. Л. Капице и Л. В. Овсянникову за внимание к работе.

Поступила 12 V 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Френкель Я. И. Теория основных явлений атмосферного электричества. — «Изв. АН СССР. Сер. географическая и геофизическая», 1944, т. 7, № 5, с. 244—272.
2. Чалмерс Дж. Атмосферное электричество. Л., Гидрометеоиздат, 1974.
3. Kelvin W. Atmospheric electricity. — Roy. Inst. Lect. Pap. on Elect. and Mag., 1860, p. 208—26.
4. Chauveau B. Études de la variation de l'électricité atmosphérique. — «Annales de B. C. M.», 1900, t. 5, p. 1.

УДК 537.521.7

К ТЕОРИИ МОЛНИИ

Б. Н. Козлов

(Москва)

1. Механизм развития молнии. Развитие молнии является автоколебательным релаксационным процессом принципиально электромагнитной природы, единым для линейной и шаровой разновидностей молнии [1, 2]. Каждый автоколебательный цикл молнии состоит из стадии «электромагнитной активности» и последующей стадии «электромагнитного штиля». Процесс связан с зарядовой трассой — столбом воздуха, выходящим из облака, обрывающимся в атмосфере, выделенным из окружающей среды ионизацией воздуха и пониженной его плотностью. Зарядовая трасса молнии в связи с автоколебательным режимом процесса периодически переходит из состояния слабоионизованной, почти непроводящей зарядовой дорожки в хорошо проводящий ствол и обратно. Вдоль трассы молнии, как вдоль однопроводной волноводной линии типа штыревой антенны, от облака до головы трассы регулярно проходят особого рода аперии-