

## ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА ФОРМИРОВАНИЯ МОЛНИИ В ГРОЗОВОМ ОБЛАКЕ - ПЕРВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Картину яркого канала молнии, идущего из грозового облака на землю, приходилось видеть почти каждому человеку на Земле. Это явление запечатлено на множестве фотографий. Но молния, которую можно увидеть глазами или сфотографировать обычной камерой, - это только часть всей картины разряда, - та часть, которая находится вне грозового облака. Разряд, который протекает внутри облака, невозможно наблюдать в излучении видимого диапазона из-за сильного рассеяния этого излучения на облачных частицах. Видеосъемка молниевых разрядов скоростной камерой показывает, что видимый разряд начинается с выхода из облака так называемого лидера - плазменного канала с ярко светящейся головкой и расходящимся от него конусом более слабого свечения, который называется стримерной зоной. При этом процесс формирования лидера, протекающий внутри грозового облака, и динамика той части лидерного канала, которая находится в облаке, оказываются скрытыми от наблюдения. Уже давно, более века тому назад, сформировалось теоретическое представление, разделяемое сейчас большинством ученых, занимающихся исследованием молнии, что молниевый разряд на лидерной стадии имеет вид двунаправленного, биполярного лидера. На обоих концах удлиняющегося плазменного канала есть лидерные головки, несущие электрический потенциал разного знака, которые движутся и ветвятся в приблизительно противоположных направлениях. Одна из них, движущаяся к земле, и регистрируется скоростными видео и фото камерами, а другая движется внутри облака и потому не видна. Разряд формируется в облаке в виде бинаправленного лидера еще до выхода одного из лидеров из облака и весь этот процесс начального этапа развития молнии невидим.

Прогресс в регистрации структуры внутриоблачных разрядов был достигнут с появлением методов пространственно-временной локализации внутриоблачных источников излучения УКВ диапазона. Однако, с помощью этих методов удается наблюдать динамику только отрицательных лидерных разрядов, а положительные разряды не видны вследствие недостаточно сильного излучения в УКВ диапазоне. Существенным недостатком УКВ методов построения изображений внутриоблачных разрядов является и низкое пространственное разрешение ( $\sim 30$  м), что не позволяет увидеть множество относительно мелких структурных элементов разряда (1-10 м) и, тем более, его поперечные размеры (1-10 мм). Поэтому можно сказать, что изображения разрядов внутри грозового облака, подобные тем, что имеются для их видимой части, до сих пор не были получены и прямые доказательства существования бинаправленных лидеров в облаках отсутствовали.

Молниевый разряд во многом подобен искровому разряду и, в особенности, длинному (больше 3 м) искровому разряду, и многие физические свойства молнии успешно моделируются лабораторными искровыми разрядами. Моделью грозового облака и процессов зарождения и развития молнии в нем может служить искусственное облако заряженных водяных капель. Лабораторные установки с искусственными заряженными облаками появились сравнительно недавно. Одна из таких установок работает на высоковольтном стенде Истринского филиала Всероссийского энергетического института (ВЭИ). На этой установке искусственное заряженное облако водного аэрозоля генерируется посредством конденсации в расширяющейся струе водяного пара, проходящей через коронный разряд. Средний диаметр капель в этом облаке  $\sim 1$  мкм. Такие капли сильно рассеивают электромагнитное излучение видимого диапазона, но имеют сравнительно

небольшое сечение рассеяния для дальнего инфракрасного излучения, длина волны которого намного превышает размер капель. Это обстоятельство мы использовали для того, чтобы увидеть разряды внутри искусственного заряженного облака водного аэрозоля. Мы применили ИК видеокамеру, чувствительную к электромагнитному излучению с длинами волн в диапазоне 5 – 7 мкм. Эксперименты проводились в рамках выполнения мега-гранта "Молнии и грозы: физика и эффекты" под руководством В.А. Ракова, профессора Университета Флорида, США, коллективом сотрудников ИПФ РАН, ВЭИ и ВШЭ. Нам удалось наблюдать внутри облака как обычные лидерные и стримерные разряды, подобные тем, что наблюдаются в электродных разрядах, так и необычные внутриоблачные разряды (необычные плазменные образования, НПО), структура и яркость свечения в ИК диапазоне которых отличалась от известных лидерных и стримерных разрядов. Эти необычные разряды, развивающиеся только внутри облаков заряженных капель, могут рождать бинаправленные лидеры. Пример зафиксированного нами события такого рода приведен на рис.1. НПО, появившееся внутри положительно заряженного облака, дает начало положительному и отрицательному лидерам, формирующимся на противоположных концах НПО. Отрицательный лидер уходит вверх, к вершине облака, а положительный - вниз, к земле, и выходит из облака. В тех случаях, когда положительный лидер достигает земли, происходит обратный удар и формируется завершённый искровой разряд, снимающий значительную часть заряда облака. Очень вероятно, что подобным образом начинаются и молниевые разряды в грозовых облаках.

Таким образом, нам впервые удалось зарегистрировать внутриоблачные бинаправленные лидеры, которые инициируют искровой разряд облако-земля, и необычные плазменные образования в облаке, которые порождают эти бинаправленные лидеры. Исследование НПО и бинаправленных лидеров может дать ответ на многие нерешенные до настоящего времени вопросы, касающиеся инициации и формирования молниевых разрядов в грозовом облаке до того момента, когда уже сформировавшийся лидер молнии выйдет из облака и станет доступен традиционным наблюдениям.

*Н.А. Богатов, научный сотрудник  
лаборатории атмосферного электричества*

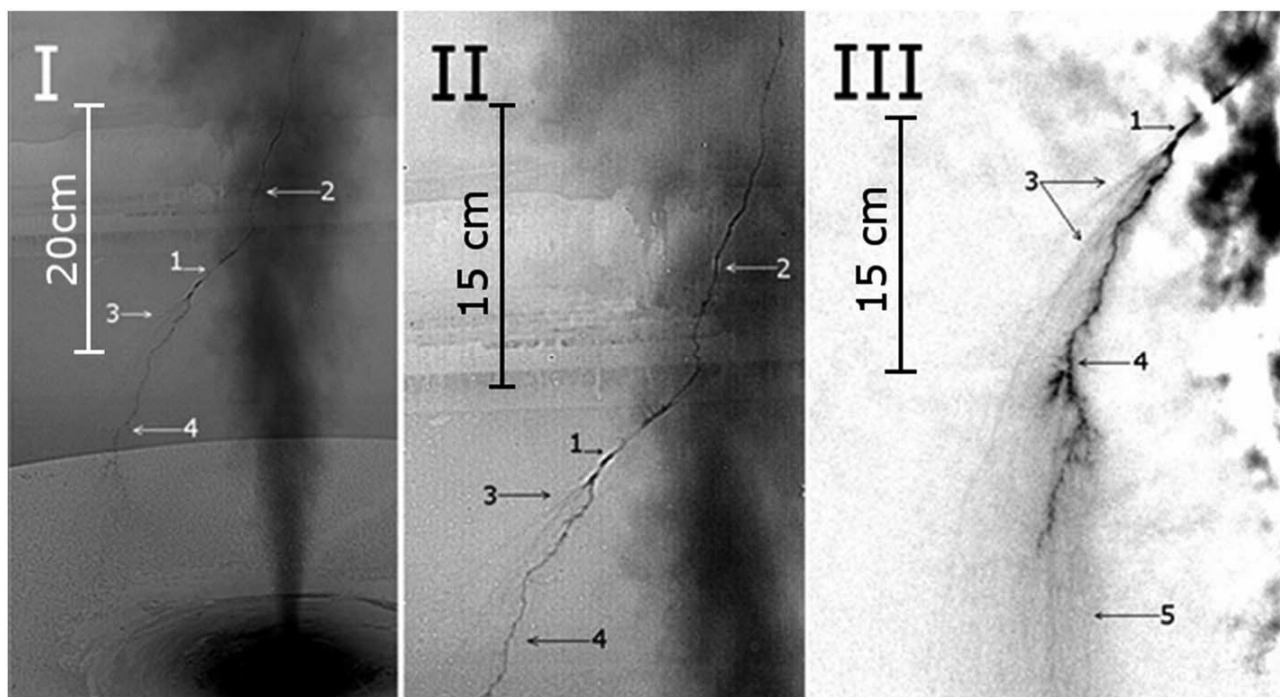


Рис.1. 1 – центральный плазменный канал (НПО), 2 – отрицательный лидер, 3 – ветвящийся вниз НПО, 4 – нисходящий положительный лидер, 5 – положительная стримерная корона.  
Большая часть разряда находится внутри облака и не фиксируется в видимом диапазоне.