

М.И. Баранов

НОВАЯ ГИПОТЕЗА И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧЁТКОЙ МОЛНИИ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Наведено нова гіпотеза і фізичні основи виникнення в повітряній атмосфері Землі четочної блискавки (ЧБ). Показано, що в основі електрофізичного механізму формування цього виду блискавки знаходиться хвильовий подовжній розподіл вільних електронів, що рухаються в плазмовому каналі лінійної блискавки (ЛБ) на стадії протікання в ній тривалою компонентою струму грозового розряду. Из-за малої щільності струму в плазмовому каналі на даній стадії розряду в ній відбувається утворення таких відносно тривало існуючих хвильових електронних пакетів, які характеризуються порівняно великими і тому візуально видимими спостережачими спочатку ЛБ і потім ЧБ розмірами своїх періодично розподілених уздовж каналу блискавки «гарячих» («світлих») і «холодних» («темних») подовжніх ділянок. Бібл. 15, рис. 4.

Ключові слова: лінійна блискавка, четочна блискавка, фізичні основи, плазмовий канал грозового розряду, вільні електрони, що дрейфують, хвильові електронні пакети, «гарячі» («світлі») і «холодні» («темні») подовжні ділянки хвильових електронних пакетів каналу грозового розряду.

Приведены новая гипотеза и базирующиеся на ней физические основы возникновения в воздушной атмосфере Земли четочной молнии (ЧМ). Показано, что в основе электрофизического механизма формирования этого вида молнии находится волновое продольное распределение свободных электронов, движущихся в плазменном канале линейной молнии (ЛМ) на стадии протекания в нем длительной компоненты тока грозового разряда. Из-за малой плотности тока в плазменном канале ЛМ на данной стадии разряда в нем происходит образование таких относительно длительно существующих волновых электронных пакетов, которые характеризуются сравнительно большими и поэтому визуально видимыми наблюдателями вначале ЛМ и затем ЧМ размерами своих периодически распределенных вдоль канала молнии «горячих» («светлых») и «холодных» («темных») продольных участков. Библ. 15, рис. 4.

Ключевые слова: линейная молния, четочная молния, физические основы, плазменный канал грозового разряда, дрейфующие свободные электроны, волновые электронные пакеты, «горячие» («светлые») и «холодные» («темные») продольные участки волновых электронных пакетов канала грозового разряда.

Введение. Общеизвестным и наиболее изученным видом мощного природного электрического кратковременного длинного искрового разряда в воздушной атмосфере Земли является линейная молния (ЛМ) [1-4], внешний вид которой приведен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид ярко светящегося в атмосфере плазменного канала длинного искрового разряда ЛМ между положительно заряженным облаком и поверхностью земли [5]

Как правило, длина плазменного канала ЛМ между грозовым облаком с отрицательным (положительным) потенциалом U_L до $\pm(30-50)$ МВ и поверхностью земли измеряется сотнями метров и в пределе может достигать нескольких километров [1-5]. Диаметр плазменного канала ЛМ в воздушной атмосфере при этом согласно [1-5] может составлять от десятков сантиметров до нескольких метров. В настоящее время физика ЛМ благодаря результатам теоретических и экспериментальных работ отечественных [2-4] и зарубежных ученых и специалистов [1], представлен-

ном в обзорной монографии [5], изложена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Тем не менее, до сих пор в технике и электрофизике высоких напряжений, технике больших (малых) импульсных токов, а также в слабо- и сильноточной технике длинных (коротких) искровых разрядов в газовых (воздушных) средах отсутствуют научно-технические данные, строго или хотя бы приближенно объясняющие трансформацию (правда, не так часто и не всегда) в воздушной атмосфере ЛМ в дальнейшем в четочную молнию (ЧМ). Возникновение ЧМ или «цепочечной» молнии («bead lightning» [1]) в электрически активной воздушной атмосфере является твердо установленным научным фактом, задокументированным многочисленными визуальными наблюдателями этого относительно редкого и интересного природного атмосферного явления [1, 5, 6]. Существующие на сегодня теории ЧМ базируются на том, что этот вид молнии в сверхвысоковольтной двухэлектродной системе «заряженное облако – земля» [1, 6]:

1) является результатом периодического прерывания плазменного канала грозового разряда облаком или дождем;

2) обусловлен нестабильностью плазменного канала грозового разряда с продольным током из-за возникающего в нем пинч-эффекта, приводящего к его поперечной «перетяжке» и образованию канала «сосисочного» типа;

3) представляет собой ряд сфероподобных дуговых электрических разрядов, появляющихся на месте ранее «отработанного» с большим импульсным током грозового разряда плазменного канала ЛМ на завер-

шающей стадии длительного протекания в нем небольшого непрерывного тока;

4) вызван относительно большим временем свечения продольных участков цилиндрического плазменного канала ЛМ, имеющих необычно большой радиус. Прошедшие десятилетия с момента появления в научном мире указанных теорий ЧМ показали, что эти теоретические подходы оказались слабо аргументированными и в итоге научно не состоятельными.

В этой связи разработка нового подхода к научному объяснению возникновения и короткого во времени существования в воздушной атмосфере такого природного явления как ЧМ является **актуальной** научно-технической задачей, научно расширяющей наши представления об окружающей нас природе и физических процессах в ней протекающих.

1. Постановка задачи исследования. Рассмотрим с электрофизических позиций формирование и протекание ЛМ в воздушной атмосфере на высотах до 1000 м, содержащей в своем составе многочисленные увлекаемые восходящими (нисходящими) воздушными потоками атомы многих химических элементов, в том числе азота N , кислорода O , углерода C , кремния Si , серы S , железа Fe , свинца Pb и др. Часть из указанных атомов, образующихся из них молекул и тех или иных окислов вещества оказываются в воздушной атмосфере, прежде всего, за счет вторичных продуктов от сгорания и окисления органического топлива на тепловых электрических станциях и крупных промышленных предприятиях, поднимающихся из высоких дымовых труб в земную атмосферу с горячими дымовыми отходами от их непрерывного функционирования. Отметим, что ток ЛМ на указанных высотах в воздушной атмосфере характеризуется двумя основными компонентами [7, 8]: импульсной A - компонентой (с нормированной амплитудой I_{mL} до 200 кА и длительностью τ_p до 0,5 мс) и длительной C - компонентой (с усредненным значением I_{mL} до 200 А и длительностью τ_p до 1000 мс). Считаем, что при возникновении в воздушной атмосфере плазменного канала ЛМ указанные атомы (молекулы) вещества и их окислы оказываются задействованными в сложные физические процессы, протекающие на «тонком» атомарном уровне в активной зоне данного канала, имеющей локальную цилиндрическую конфигурацию. Не углубляясь на данном этапе в эти процессы, отметим лишь то, что указанные микрообразования вещества будут за счет высокой температуры в плазменном канале ЛМ (порядка $(20-30) \cdot 10^3$ К [9]) подвергаться сверхбыстрым процессам ударной и термической ионизации. Именно эти атомы (молекулы) вещества будут являться основными «поставщиками» дополнительных свободных электронов в канал ЛМ, электронная температура T_e которых будет поддерживать и определять его указанную выше высокую температуру как на стадии протекания в нем импульсной A -компоненты тока, так и на стадии протекания в нем длительной C -компоненты тока грозового разряда. Принимаем, что движение свободных электронов по плазменному каналу ЛМ определяет перенос электрического заряда как от отрицательно заряженной части грозового облака к земле («молнии отрицательной

полярности»), так и от отрицательно заряженной поверхности земли к положительно заряженной части грозового облака («молнии положительной полярности»). Требуется рассмотреть на основе известных научных положений возможность образования ЧМ путем определенной трансформации в нее ЛМ на стадии протекания в ее плазменном канале длительной C -компоненты тока молнии, а также установить основные электрофизические условия в плазменном канале ЛМ и воздушной атмосфере, обеспечивающие такую трансформацию одного вида молнии в другую.

2. Формулировка предлагаемой гипотезы возникновения ЧМ в воздушной атмосфере. Согласно [10] понятие «*гипотеза*» происходит от греческого слова «*hypothesis*», обозначающего «*предположение*». Применительно к рассматриваемому нами случаю это понятие будет обозначать научное предположение, выдвигаемое для объяснения природного физического явления в виде ЧМ, иногда протекающего в электрически активной воздушной атмосфере. По определению данное предположение требует экспериментальной проверки и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной научной теорией. Опытная проверка явления ЧМ была осуществлена ранее его многочисленными зарубежными наблюдателями [1, 6]. Согласно опытным данным, приведенным в [5, 6], ЧМ возникает в конце протекания ЛМ. ЧМ по сравнению с ЛМ характеризуется относительно большим временем своего существования [1, 6]. На рис. 2, *a* и *b* показаны основные фазы протекания ЛМ и ЧМ, заснятые наблюдателями этих природных электрофизических явлений и приведенные в [5, 6]. На рис. 3 в укрупненном виде на месте бывшего плазменного канала ЛМ представлены отдельные «светлые» четки ЧМ, разделенные в зоне указанного канала молнии друг от друга «темными» четками ЧМ. Исходя из имеющихся на сегодня неопровержимых экспериментальных данных, полученных при прямых наблюдениях ЧМ в воздушной атмосфере [1, 6], и установленных фундаментальных теоретических и опытных закономерностей волнового продольного распределения дрейфующих электронов в металлических проводниках с импульсным током [11], предлагаемая здесь гипотеза возникновения и развития в воздушной атмосфере ЧМ включает в себя следующие основные положения:

- ЧМ является специфическим видом электрического кратковременного длинного искрового разряда в воздушной атмосфере, возникающим на финальной стадии протекания в воздушной атмосфере ЛМ;
- ЧМ возникает на стадии протекания в плазменном канале ЛМ цилиндрической формы относительно большого диаметра длительной C -компоненты тока грозового разряда, характеризующейся непрерывными токами в сотни и десятки ампер при длительности их канального протекания не менее 1 с;
- Зоной возникновения ЧМ является главный плазменный канал ЛМ, а длительность существования ЧМ в воздушной атмосфере Земли определяется длительностью протекания малого непрерывного тока на стадии длительной C -компоненты тока молнии;

- Электронный ток проводимости в плазменном цилиндрическом канале ЛМ и в последующем возникающем на его основе видоизмененном плазменном канале ЧМ подчиняется закономерностям квантовой физики и характеризуется в данных каналах соответствующими волновыми периодическими продольными и радиальными распределениями своих дрейфующих свободных электронов вначале в сильноточном канале ЛМ, а затем и в слаботочном канале ЧМ;

- ЧМ появляется в результате электрофизической трансформации возникающих в плазменном канале ЛМ с большим импульсным током А- компоненты волновых электронных пакетов (ВЭП) с малыми и не видимыми наблюдателями ЛМ длинами своих периодически распределенных вдоль канала грозового разряда относительно «горячих» («светлых») и «холодных» («темных») продольных участков в ВЭП с большими и поэтому визуально видимыми с земли наблюдателями ЧМ длинами своих относительно «горячих» («светлых») и «холодных» («темных») продольных участков, периодически расположенных вдоль видоизмененного плазменного канала ЧМ.

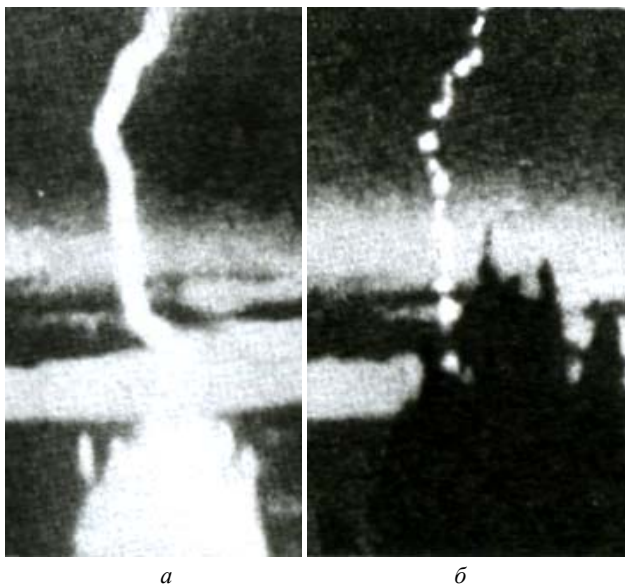


Рис. 2. Основные фазы протекания в зоне одного плазменного криволинейного канала грозового разряда вначале ЛМ (а), а затем и ЧМ (б) в воздушной атмосфере Земли [5, 6]



Рис. 3. Общий вид отдельных «светлых» и «темных» чётков ЧМ, наблюдаемых с земли в воздушной атмосфере [5, 6]

3. Научное обоснование предлагаемой гипотезы возникновения ЧМ в воздушной атмосфере.

Начнем с того, что ВЭП в плазменном канале грозового разряда на его начальной и финальной стадиях протекания по аналогии с ВЭП, введенными и использованными при изучении в [11] периодических волновых продольных и радиальных распределений дрейфующих свободных электронов в кристаллической структуре металлических проводников с постоянным, переменным и импульсным электрическим током, характеризуются относительно «горячими» длиной Δz_{hn} и «холодными» длиной Δz_{cn} квантованными продольными участками. Сумма длин этих участков ($\Delta z_{hn} + \Delta z_{cn}$) образует квантованный шаг продольной периодической структуры ВЭП в плазменном канале молнии. Причем, величина данного шага ($\Delta z_{hn} + \Delta z_{cn}$) будет всегда равна длине квантованной полуволны $\lambda_{en}/2$ де Бройля для дрейфующих в канале молнии свободных электронов. В свою очередь, для величины $\lambda_{en}/2$ в плазменном канале молнии выполняется следующее квантовомеханическое соотношение:

$$\lambda_{en}/2 = l_k / n, \quad (1)$$

где l_k – длина цилиндрического плазменного канала грозового разряда; $n = 1, 2, 3, \dots, n_m$ – целое квантовое число; $n_m = 2n_k^2$ – максимальное значение квантового числа n [11]; n_k – главное квантовое число для ионизированных атомов вещества [12], присутствующих в плазменном канале грозового разряда в воздушной атмосфере Земли на стадии протекания в нем импульсной А- и длительной С- компонент тока молнии.

Из (1) видно, что минимальное значение длины дебройлевской электронной полуволны $\lambda_{en}/2$ в плазменном канале молнии будет соответствовать максимальному значению квантового числа $n = n_m$. При оценочных расчетах минимальной усредненной длины $\lambda_e/2$ дебройлевской полуволны для дрейфующих свободных электронов в плазменном канале грозового разряда может быть использовано следующее классическое квантовомеханическое соотношение [12]:

$$\lambda_e/2 = h/2(m_e v_D), \quad (2)$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ кг – масса покоя электрона; $v_D = \delta_m / (e_0 n_{e0})$ – максимальное значение средней скорости дрейфа свободных электронов в плазменном канале молнии, формирующимся при электрическом пробое длинного воздушного промежутка в разрядной системе «заряженное облако – земля»; $\delta_m \approx 4I_{mL} / (\pi d_k^2)$ – максимальное значение плотности тока в плазменном канале молнии диаметром d_k ; $e_0 = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл – модуль электрического заряда электрона; n_{e0} – усредненное значение плотности дрейфующих свободных электронов в плазменном канале молнии.

3.1. Оценка минимальных длин «горячих» Δz_{hL} и «холодных» Δz_{cL} продольных участков ВЭП для ЛМ. Согласно расчетным и экспериментальным данным, приведенным в [11, 13], «горячие» продольные участки ВЭП в круглом металлическом проводнике с импульсным током большой плотности по сравнению с его «холодными» продольными участками существенно отличаются уровнем электронной

температуры T_e (примерно в 3,5 раза). Вызвана эта особенность повышенной по сравнению с усредненной первоначальной (до протекания тока) в цилиндрическом объеме проводника концентрацией дрейфующих свободных электронов на «горячих» продольных участках ВЭП, середины которых соответствуют амплитудам распространяющихся вдоль проводника электронных полуволн де Бройля. При этом на «холодных» продольных участках проводника из-за волнового характера распределения по его цилиндрическому объему дрейфующих свободных электронов имеет место пониженная объемная плотность рассматриваемых микроносителей заряда. В результате такого волнового продольного периодического распределения дрейфующих свободных электронов в проводнике формируется неоднородное продольное периодическое температурное поле. Кроме того, согласно [14] при экспериментальном исследовании явления электрического взрыва (ЭВ) в воздухе тонких круглых медных проволочек (длина – 60 мм; диаметр – 100 мкм) путем пропускания по ним от высоковольтного генератора импульсных токов (ГИТ) синусоидального затухающего по экспоненте разрядного тока большой плотности ($\delta_m \approx 6,4 \cdot 10^{12}$ А/м²) в диспергированных продуктах взрывообразного разрушения твердой меди (фактически в «металлической» плазме) методом скоростного фоторегистрирования были зафиксированы продольные периодические страты, состоящие из слоистой продольной периодической дискообразной структуры различной светимости, содержащей чередующиеся между собой «светлые» шириной Δz_h и «темные» шириной Δz_c продольные участки. Данные участки попарно образовывали в сильноточном разрядном воздушном промежутке ГИТ с «металлической» плазмой шаг периодической структуры ВЭП длиной около $(\Delta z_h + \Delta z_c) \approx 1,76$ мм. Очевидно, что в случае указанного ЭВ тонких медных проволочек «светлые» продольные участки его «металлической» плазмы в разрядном воздушном промежутке соответствовали «горячим» участкам ВЭП, а его «темные» продольные участки – «холодным» участкам ВЭП. В этой связи достаточно обоснованно можно говорить о том, что «горячие» продольные участки минимальной длиной Δz_{hL} в плазменном канале молнии, возникающем в сверхвысоковольтном разрядном воздушном промежутке системы «заряженное облако – земля», будут соответствовать его «светлым» продольным участкам, а «холодные» продольные участки минимальной длиной Δz_{cL} в плазменном канале молнии – его «темным» продольным участкам. На рис. 4 в схематическом виде качественно изображены «горячие» («светлые») и «холодные» («темные») периодические продольные участки ВЭП плазменного канала молнии, возникающего в воздушной атмосфере Земли.

Минимальная длина Δz_{hL} «горячего» («светлого») продольного участка ВЭП в плазменном канале ЛМ, образовавшемся в сверхвысоковольтном разрядном воздушном промежутке системы «заряженное облако – земля», на основании квантовомеханического соотношения неопределенности Гейзенберга [12] применительно к дрейфующим в нем (этом канале) свободным электронам может быть приближенно определена из следующего аналитического выражения [13]:

$$\Delta z_{hL} \approx e_0 n_{e0} h (m_e \delta_m)^{-1} / [8 + (\pi - 2)^2]. \quad (3)$$

Для численной оценки по (3) значений Δz_{hL} примем, что сильноточный плазменный канал ЛМ на стадии протекания в нем импульсной A -компоненты тока молнии имеет следующие исходные геометрические и электрофизические параметры [1, 8, 12]: $d_k \approx 1$ м; $n_{e0} \approx 10^{25}$ м⁻³; $I_{mL} \approx 100$ кА; $\delta_m \approx 1,27 \cdot 10^5$ А/м². Тогда из (3) следует, что $\Delta z_{hL} \approx 1$ мм. С учетом (2) минимальная усредненная длина $\lambda_e/2$ электронной полуволны де Бройля для рассматриваемого нами случая окажется примерно равной $\lambda_e/2 \approx 0,5 e_0 n_{e0} h (m_e \delta_m)^{-1} \approx 4,6$ мм. В результате минимальная длина Δz_{cL} «холодного» («темного») продольного участка ВЭП в плазменном канале ЛМ на указанной стадии развития ее плазменного канала будет принимать численное значение, равное около $\Delta z_{cL} \approx \lambda_e/2 - \Delta z_{hL} \approx 3,6$ мм. Видно, что величины Δz_{hL} и Δz_{cL} для «горячих» («светлых») и «холодных» («темных») периодических продольных участков ВЭП практически на три порядка меньше диаметра d_k плазменного канала грозового разряда на стадии формирования и протекания в нем ЛМ. Визуально зафиксировать наблюдателю с земли такие участки ВЭП для ЛМ практически не представляется возможным.

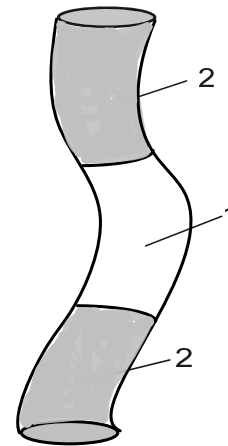


Рис. 4. Схематическое безмасштабное изображение «горячих» («светлых») и «холодных» («темных») продольных участков периодической структуры ВЭП в плазменном криволинейном канале грозового разряда, развивающемся в воздушной атмосфере Земли (1 – «светлый» («горячий») участок цилиндрического канала молнии; 2 – «темный» («холодный») участок цилиндрического канала молнии)

3.2. Оценка минимальных длин «горячих» Δz_{hL} и «холодных» Δz_{cL} продольных участков ВЭП для ЧМ. Для этого принимаем, что на стадии протекания в плазменном канале грозового разряда длительной C -компоненты тока молнии принятый диаметр $d_k \approx 1$ м данного канала из-за инерционности тепловых процессов в нем и за прошедшее время порядка 0,5 мс не успел измениться и остался таким же как и на предыдущей стадии протекания по нему импульсной A -компоненты тока молнии. Кроме того, считаем, что усредненная концентрация (объемная плотность) n_{e0} свободных электронов в случае протекания по плазменному каналу молнии длительной C -компоненты тока грозового разряда осталась также прежней и примерно равной $n_{e0} \approx 10^{25}$ м⁻³. Пусть в данном случае непрерывный длительный ток молнии характе-

ризуется следующими параметрами [7, 8]: $I_{mL} \approx 100$ А; $\delta_m \approx 1,27 \cdot 10^2$ А/м². Подставив эти исходные данные в (3) получаем, что в рассматриваемом случае минимальная длина Δz_{HL} «горячего» («светлого») продольного участка ВЭП в канале молнии будет численно составлять уже около $\Delta z_{HL} \approx 1$ м. Из расчетного соотношения $\lambda_e/2 \approx 0,5e_0 n_e h(m_e \delta_m)^{-1}$ находим, что на стадии протекания в принятом плазменном канале грозового разряда длительной *C*-компоненты тока молнии минимальная усредненная длина $\lambda_e/2$ дебройлевской электронной полуволны численно составит примерно 4,6 м. Тогда минимальная длина Δz_{cL} «холодного» («темного») продольного участка ВЭП в плазменном канале молнии на финальной стадии ее протекания будет принимать численное значение, равное около $\Delta z_{cL} \approx \lambda_e/2 - \Delta z_{HL} \approx 3,6$ м. Полученные количественные результаты для продольных ВЭП в плазменном канале грозового разряда на стадии протекания по нему длительной *C*-компоненты тока молнии неопровержимо указывают на то, что исследуемый цилиндрический канал молнии может разбиваться на сравнительно большие и поэтому визуально обнаруживаемые с поверхности земли наблюдателями «светлые» и «темные» продольные участки (отдельные чётки), периодически расположенные вдоль пути протекания в воздушной атмосфере описываемого мощного длинного искрового разряда. Поэтому согласно приведенным здесь приближенным расчетным результатам ЧМ «рождается» из ЛМ, протекающей в сверхвысоковольтном длинном разрядном воздушном промежутке двухэлектродной системы «заряженное облако – земля» на заключительной стадии своего существования.

3.3. Оценка возможного числа «горячих» Δz_{HL} и «холодных» Δz_{cL} продольных участков ВЭП для ЧМ. Число n_L отдельных чёток, каждая из которых содержит один «горячий» («светлый») и один «холодный» («темный») продольный участок периодически распределенных ВЭП в плазменном канале грозового разряда, в ЧМ с учетом (1) формально может быть оценено по следующей приближенной формуле:

$$n_L \approx 2l_k / \lambda_e. \quad (4)$$

При $l_k \approx 460$ м и $\lambda_e/2 \approx 4,6$ м из (4) получаем, что $n_L \approx 100$. Полученный нами в первом приближении количественный результат для числа n_L чёток в ЧМ вступает в противоречие с численным показателем максимального значения квантового числа n_m из (1), определяемого главным квантовым числом n_k для ионизированных атомов вещества, оказавшихся в зоне протекания цилиндрического канала ЛМ и затем ЧМ. По-видимому, согласно данным, приведенным выше в постановочном разделе 1 и в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева [12], квантовое число $n_m \geq n_L$ применительно к плазменному каналу грозового разряда в воздушной атмосфере при $n_k \approx 6$ не должно превышать $2n_k^2 \approx 72$. Отсюда вытекают определенные ограничения на численные значения возможной длины l_k цилиндрического плазменного канала грозового разряда для случая возникновения в нем ЧМ, минимальной длины $\lambda_e/2$ электронных полуволн де Бройля, распространяющихся в данном канале, и числа n_L отдельных чёток в плазменном канале ЧМ.

3.4. Оценка температуры «горячих» Δz_{HL} продольных участков ВЭП в плазменном канале ЧМ. Считаем, что данная температура из-за первоначальной неизотермичности электронного и ионного газов в длинном сильноточном разрядном канале ЛМ будет определяться электронной температурой T_e плазменного канала грозового разряда на стадии протекания в нем импульсной *A*-компоненты тока молнии. Учитывая скоротечность этой стадии развития молнии (порядка 0,5 мс), практическое отсутствие на ней радиальной теплоотдачи от канала молнии в окружающее ЛМ воздушное пространство и сравнительно большую инерционность тепловых процессов, для оценки электронной температуры T_e «горячих» («светлых») продольных участков ВЭП длиной Δz_{HL} в плазменном канале ЧМ с учетом результатов приближенного расчета теплового состояния ионизированного квазинейтрального газа в воздушных промежутках высоковольтных искровых разрядников, приведенных в [11], можно воспользоваться следующим соотношением:

$$T_e \approx 5,83 [I_{mL}^{1/3} / (\sigma_c t_m)]^{1/4}, \quad (5)$$

где $\sigma_c = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт·(м²·К⁴)⁻¹ – постоянная Стефана-Больцмана [12]; t_m – время (в секундах), соответствующее амплитуде I_{mL} (в амперах) тока молнии на электрофизической стадии протекания в ее длинном воздушном искровом промежутке импульсной *A*-компоненты тока мощного грозового разряда.

Приняв, что на начальной стадии развития ЛМ $I_{mL} \approx 100$ кА, а $t_m \approx 10$ мкс [4], из (5) для электронной температуры T_e «горячих» («светлых») чёток ЧМ в первом приближении находим, что она в рассматриваемом случае составляет около $31 \cdot 10^3$ К. Такой расчетный уровень термодинамической температуры в плазменных каналах ЛМ и ЧМ соответствует известным температурам в искровых каналах сильноточных электрических разрядов в газовых средах [8, 9, 11].

3.5. Оценка длительности существования ЧМ в воздушной атмосфере. Длительность t_L существования ЧМ после финальной стадии протекания ЛМ может быть оценена по следующему соотношению:

$$t_L \approx q_L / I_{mL}, \quad (6)$$

где q_L – электрический заряд, протекающий на стадии непрерывной длительной *C*-компоненты тока грозового разряда с его усредненной величиной I_{mL} через видоизмененный из-за трансформированных продольных участков ВЭП плазменный канал ЛМ.

При $q_L \approx 200$ Кл [7, 8] и принятой нами величине непрерывного тока $I_{mL} \approx 100$ А на указанной токовой стадии формирования ЧМ численное значение длительности t_L протекания этого вида молнии будет составлять по (6) около 2 с. Данное значение t_L оказывается существенно больше длительности протекания ЛМ, включающей длительность ее начальной стадии с большим импульсным током *A*-компоненты тока грозового разряда и ее финальной стадии на начале протекания длительной *C*-компоненты тока молнии.

3.6. Оценка геометрической формы «горячих» и «холодных» продольных участков ВЭП для ЧМ. Геометрическая форма отдельных чёток ЧМ (ее «светлых» и «темных» продольных участков) должна повторять локальную цилиндрическую конфигура-

цию первоначального криволинейного в целом длинного плазменного канала ЛМ. Краевые зоны «светлых» и «темных» продольных участков ВЭП в канале ЧМ вероятно должны содержать эллипсоидальные поверхности (см. рис. 3), обусловленные не скачкообразным изменением в этих зонах объемной плотности n_{e0} дрейфующих свободных электронов, а ее плавным изменением по одному из основных универсальных физических законов нашей природы – экспоненциальному закону [15]. Из-за возможной продольной неоднородности распределения основных носителей электричества (свободных электронов) в плазменном канале ЧМ геометрические размеры (длины и диаметры) его отдельных чётков («светлых» и «темных» продольных участков периодически изменяющихся ВЭП) могут отличаться друг от друга, а сами чётки приобретать деформированный и неканонический вид.

4. Формулировка электрофизических условий появления ЧМ в воздушной атмосфере. Приведем ниже основные электрофизические условия, при которых, по мнению автора, возможна трансформация ЛМ в ЧМ, протекающую в воздушной атмосфере:

- Диаметр d_k цилиндрического канала грозового разряда в длинном воздушном разрядном промежутке сверхвысоковольтной двухэлектродной системы «заряженное облако – земля», величины большого тока на стадии протекания в этом канале импульсной A -компоненты тока молнии и непрерывного слабого тока на стадии протекания по нему длительной C -компоненты тока молнии, а также усредненная объемная плотность n_{e0} дрейфующих свободных электронов в канале грозового разряда должны способствовать формированию в нем (канале молнии) таких периодических ВЭП, продольные «горячие» («светлые») и «холодные» («темные») участки которых изменяются в диапазоне соответственно от тысячных долей метра для ЛМ до единиц и десятков метров для ЧМ;

- Длина l_k цилиндрического плазменного канала грозового разряда в длинном воздушном разрядном промежутке сверхвысоковольтной двухэлектродной системы «заряженное облако – земля» и минимальная усредненная длина дебройлевских электронных полуволн $\lambda_e/2$ в плазменном канале молнии должны удовлетворять квантовомеханическому соотношению (1);

- В длинном воздушном разрядном промежутке сверхвысоковольтной двухэлектродной системы «заряженное облако – земля» и соответственно в цилиндрическом плазменном канале грозового разряда должны главным образом присутствовать такие ионизированные атомы вещества, образовавшиеся с их электронных подболочек и поступающие в плазменный канал молнии свободные электроны будут способствовать выполнению соотношений (1) и $n_{iL} \leq n_m$.

На взгляд автора, невыполнение указанных выше условий во многих случаях протекания в воздушной атмосфере такого наиболее изученного вида молнии как ЛМ и не вызывает появления ЧМ вслед за ЛМ.

Выводы.

1. Предложена новая гипотеза возникновения такого малоисследованного природного атмосферного явления как ЧМ и дано в первом приближении ее на-

учное обоснование, построенное на фундаментальных закономерностях квантовой физики.

2. Показано, что ЧМ может возникать в плазменном канале ЛМ на стадии протекания по нему в течение не менее 1000 мс непрерывной длительной C -компоненты тока грозового разряда с его величинами на ее спаде («хвосте») в сотни и десятки ампер.

3. В основе электрофизического механизма образования ЧМ из ЛМ может лежать трансформация в плазменном канале молнии периодических ВЭП и их коротких (длиной до единиц миллиметров) «горячих» («светлых») и «холодных» («темных») продольных участков на стадии протекания в нем импульсной A -компоненты тока грозового разряда в ВЭП с их длинными (длиной до десятков метров) «горячими» («светлыми») и «холодными» («темными») продольными участками на финальной стадии развития грозового разряда с протеканием в его плазменном канале непрерывной длительной C -компоненты тока молнии.

4. Сформулированы основные электрофизические условия, при выполнении которых возможно формирование в электрически активной воздушной атмосфере Земли ЧМ, возникающей в видоизмененном за счет указанной трансформации продольных периодических ВЭП плазменном канале ЛМ на ее заключительной стадии развития после протекания импульсной A -компоненты тока грозового разряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юман М.А. Молния. – М.: Мир, 1972. – 327 с.
2. Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 223 с.
3. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащита. – М.: Физматлит, 2001. – 319 с.
4. Кузнецкин И.П., Ларионов В.П., Прохоров Е.Н. Молния и молниезащита. – М.: Знак, 2003. – 330 с.
5. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства. – Х.: НТМТ, 2010. – 292 с.
6. Барри Дж. Шаровая молния и четочная молния. – М.: Мир, 1983. – 288 с.
7. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И., Недзельский О.С., Дныщенко В.Н. Генератор тока искусственной молнии для натуральных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – №3. – С. 81-85. doi: 10.1134/s0020441208030123.
8. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 2: Теория электрофизических эффектов и задач. – Х.: Точка, 2010. – 407 с.
9. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
10. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
11. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 1: Теория электрофизических эффектов и задач. – Х.: НТУ «ХПИ», 2009. – 384 с.
12. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – К.: Наукова думка, 1989. – 864 с.
13. Баранов М.И. Особенности нагрева тонкого биметаллического проводника большим импульсным током // Электричество. – 2014. – №4. – С. 34-42.
14. Соболев Н.Н. Исследование электрического взрыва тонких провололок // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1947. – Том 17. – №11. – С. 986-997.

15. Баранов М.И. Феномен экспоненциального закона распределения физического поля в природе и учебный процесс // *Электротехніка і електромеханіка*. – 2004. – №3. – С. 111-115.

REFERENCES

1. Yuman M.A. *Molniya* [Lightning]. Moscow, Mir Publ., 1972. 327 p. (Rus).
2. Bazelyan E.M., Horin B.N., Levitov V.I. *Fizicheskiye i inzhenernyye osnovy molniezashchity* [Physical and engineering bases lightning protection]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1978. 223 p. (Rus).
3. Bazelyan E.M., Raiser Yu.P. *Fizyka molnii i molnyezashchita* [The physics of lightning and lightning protection]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2001. 319 p. (Rus).
4. Kuzhikin I.P., Larionov V.P., Prokhorov E.N. *Molniya i molnyezashchita* [Lightning and lightning protection]. Moscow, Znack Publ., 2003. 330 p. (Rus).
5. Kravchenko V.I. *Molniya. Elektromagnitny faktory i porazhayushchie vozdeystviya na tekhnicheskie sredstva* [Lightning. Electromagnetic factors and their impact on the striking technical objects]. Kharkov, NTMT Publ., 2010. 292 p. (Rus).
6. Barry J. *Sharovaya molniya y chetochnaya molniya* [Ball lightning and rosary lightning]. Moscow, Mir Publ., 1983. 288 p. (Rus).
7. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzel'skii O.S., Dnyshchenko V.N. A Current Generator of the Artificial Lightning for Full-Scale Tests of Engineering Objects. *Priboiry i tehnika eksperimenta – Instruments and Experimental Technique*, 2008, no.3, pp. 401-405. doi: 10.1134/s0020441208030123.
8. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki. Tom 2, Kn. 2: Teoriya elektrofizicheskikh effektov i zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol.2, Book 2. A theory of electrophysical effects and tasks]. Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., 2010. 407 p. (Rus).
9. Raiser Yu.P. *Fizika gazovogo razryada* [Physics of gas discharge]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 592 p. (Rus).
10. *Bol'shoj illjustrirovannyj slovar' inostrannyh slov* [Large illustrated dictionary of foreign words]. Moscow, Russkie slovari Publ., 2004. 957 p. (Rus).
11. Baranov M.I. *Izbrannye voprosy elektrofiziki: Monografija v 2-h tomah. Tom 2, Kn. 1: Teoriya elektrofizicheskikh effektov i zadach* [Selected topics of Electrophysics: Monograph in 2 vols. Vol. 2, book. 1: Theory of electrophysics effects and tasks]. Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2009. 384 p. (Rus).
12. Kuz'michev V.E. *Zakony i formuly fiziki* [Laws and formulas of physics]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 864 p. (Rus).
13. Baranov M.I. Features heating thin bimetallic conductor large pulse current. *Elektrichestvo – Electricity*, 2014, no.4, pp. 34-42. (Rus).
14. Sobolev N.N. The study of electrical explosion of thin wires. *Zhurnal eksperimental'noy i teoreticheskoy fiziki – Journal of experimental and theoretical physics*, 1947, Vol.17, no.11, pp. 986-997. (Rus).

15. Baranov M.I. Phenomenon of physical fields distributing on the exponential law in nature and educational process. *Elektrotekhnika i elektromekhanika – Electrical engineering & electromechanics*, 2004, no.3, pp. 111-115. (Rus).

Поступила (received) 05.10.2015

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., г.л.н.с.,
НИПКИ «Молния»
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

M.I. Baranov
Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute «Molniya»
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

A new hypothesis and physical bases of origin of rosary lightning in the atmosphere of Earth.

Purpose. Development and scientific ground of new hypothesis of origin of rosary lightning (RL) is in the air atmosphere of Earth. **Methodology.** Electrophysics bases of technique of high (ever-higher) impulsive voltage and large (weak) impulsive currents, and also theoretical bases of quantum physics. **Results.** The substantive provisions of new hypothesis of origin are formulated RL. Taking into account these positions bases of close electrophysics theory of origin are developed in an air atmosphere RL. Basic electrophysics terms, resulting in the transition of linear lightning (LL) in RL, are indicated. **Originality.** First on the basis of conformities to the law of quantum physics the new electrophysics mechanism of education is offered RL from LL. It is set that this mechanism the wave longitudinal distributing of drifting lone electrons is underlaid in the plasma cylindrical channel of a long spark storm digit in an air atmosphere, resulting in forming in him of «light» («hot») and «dark» («cold») longitudinal areas of periodic electronic wavepackages (EWP). It is shown that for LL information the areas of EWP periodically up-diffused along the channel of lightning are characterized the small and unnoticeable for observers lengths, and for RL – by large lengths and by sight noticeable for observers from earth. **Practical value.** Deepening of scientific knowledges about physics of such global atmospheric phenomenon as lightning. Expansion of scientific presentations of humanity about circumferential tellurians nature and difficult natural physical processes, flowings in it. References 15, figures 4.

Key words: linear lightning, rosary lightning, physical bases, plasma channel of a storm discharge, drifting lone electrons, electronic wavepackages, «hot» («light») and «cold» («dark») longitudinal areas of electronic wavepackages of channel of a storm discharge.