

ГЕОФИЗИКА

DOI: 10.54503/0515-961X-2024.77.1-2-58

**С ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЙ
К ВОПРОСУ ФЕНОМЕНА НАЗЕМНЫХ РАЗРЯДОВ
МОЛНИЙ**

Матевосян Аршак

*Институт геологических наук НАН РА
0019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения,
e-mail: arshak.matevosyan@yandex.ru*

Поступила в редакцию 11.01.2024

Вкратце рассмотрены основные современные представления феномена молнии при разрядах в землю (*молний облако-земля*), которые дополнены с учетом результатов анализа наблюдений пространственно-временных электрических характеристик на поверхности геоэлектрической среды.

Впервые представляется и обосновывается важная роль геосреды (*земной коры*) при зарождении, формировании, развитии и реализации наземных (*вертикальных*) молний, а игнорирование геоэлектрического фактора не позволяет всесторонне и объективно исследовать все аспекты обсуждаемого многодисциплинарного явления.

Ключевые слова: геоэлектрика, молния облако-земля, феномен, электроразведка, системный подход.

Введение

Феномен молниевое разряда в землю (*нисходящей наземной \вертикальной молнии*) при грозовых явлениях в современном представлении (Фейнман, 1966; Юман, 1972; Шейдеггер, 1981; Базелян и Райзер, 2001; Кужекин и др., 2003; Rakov and Uman, 2003; Chilingarian et al, 2010; Chilingarian et al, 2017; Иудин и др., 2018; Бабич, 2019; и др.) в общих чертах состоит из следующих стадий.

- Под влиянием высокоэнергетических частиц космического происхождения происходит ионизация атмосферы, переходящая в нити электрических разрядов – стримеров, представляющих собой хорошо проводящие каналы, которые, сливаясь, дают начало яркому тер-

моионизованному каналу с высокой проводимостью – ступенчатому лидеру молнии (*двигающемуся к земной поверхности ступенями в несколько десятков метров с интервалами в несколько десятков микросекунд с переменной яркостью свечения*).

- По мере продвижения лидера к земле напряженность электрического поля на его конце увеличивается и под его воздействием из выступающего на поверхности земли предмета\объекта выбрасывается ответный (*встречный*) стример, соединяющийся с лидером.
- По сформировавшему лидером ионизованному каналу следует обратный (*снизу вверх – восходящий*), или главный разряд молнии, характеризующийся большими токами, превосходящей яркостью и большой начальной скоростью продвижения вверх (*по сравнению со ступенчатым лидером*) с постепенным ослаблением наблюдаемых процессов.
- Обычно главный разряд частично разряжает облако. Заряды, расположенные в других частях облака, практически по той же траектории могут дать начало стреловидному лидеру (*нисходящему*), при подходе которого к земле следует второй главный удар (*снова восходящий*). Число повторных разрядов в среднем 3-5, но может достигать до нескольких десятков с общей длительностью многократной молнии, превышающей одну секунду.

К этому следует добавить, что каждая стадия рассматриваемого **молниевое событие (МС)** характеризуется сериями и специфическими особенностями проявления искрового (*«лабораторного», идеального*) разряда в непредсказуемых резко непрерывно меняющихся (*в процессе исследования данного феномена*) природных внешних условиях, предопределяющих индивидуальную особенность каждого МС.

Кроме этого, поскольку каждое МС представляет собой целостную неповторимую серию молниевых разрядов в многофакторных нестабильных неповторимых физико-химических природных условиях и ввиду существенных ограничений современных научно-технических возможностей полноценных инструментальных регистраций непрогнозируемых грозовых процессов в целом (*в лучшем случае, «оперируя» имеющимися непредставительными среднестатистическими эмпирическими характеристиками \параметрами \зависимостями каждой стадии: отдельными фрагментами единого феномена*), то не представляется возможным полностью и однозначно охарактеризовать, объективно объяснить, истолковать, а тем более при необходимости смоделировать фактическое МС и\или достаточно уверенно оперативно спрогнозировать предстоящее.

Более того, уместно также сказать, что каждая последующая стадия разряда молнии несет отпечаток результатов предыдущих процессов (*т.е. протекает в очевидном присутствии феноменологической наследственности каждого молниевое событие*), а вся последовательная хаотическая со-

вокупность молний отражает феноменологическую индивидуальную целостность каждого неповторимого грозового процесса.

«Участники – исполнители»

Участниками \исполнителями наземной молнии являются:

- околоземное космическое пространство – «источник» высокоэнергетических частиц (*недостаточно доступное и изученное*);
- грозовое облако (*динамическое и достаточно таинственное, практически «непреступное»*);
- воздушное пространство между облаком и землей (*хорошо изученное и относительно однородное с присутствием частиц космического и атмосферного происхождения*);
- атмосферные условия (*многофакторные, оперативно трудно предсказуемые, с гидрометеорами, сильным турбулентным порывистым ветром, резким перепадом давления и температуры, высокой напряженностью нестабильного электрического поля*);
- наземный **объект молниевых ударов (ОМУ)** (*в ряде случаев неочевидный, неоднозначно предсказуемый*);
- земля – поверхностный слой земной коры, рассматриваемая в фульминологии как простой\обычный однородный хорошо проводящий и «заземленный», электрически нейтральный\ незаряженный электротехнический плоский электрод с нулевым потенциалом.

Как следует из вышепредставленного, при изучении грозового процесса полностью игнорируется неоднородность геосреды с присутствием в ней электрических полей и локальных заряженных областей \зон \объектов, исследуемых геолого-геофизическими методами (Краев, 1965; Семенов, 1980; Комаров, 1980; Рысс, 1983; Электроразведка, 1989; Баласанян, 1990; Комаров, 1994; Трухин и др., 2005; и др.). При определенном приближении, указанные допущения можно считать справедливыми (*можно ими пренебречь*) в случае горизонтальных – внутри облачных и межоблачных молний. Однако такой подход при изучении вертикальных (*наземных*) молний: путем игнорирования роли пространственно-временной электрической неоднородности геосреды и протекающих в ней физико-химических процессов (*присутствия разнополярных заряженных локальных областей, создающих квазиравновесные электрические аномалии, и интенсивных электрических токов природного и антропогенного происхождения – сложных, но в целом достаточно хорошо изучаемых электроразведочными методами*), естественно не позволяет объективно охватить все аспекты исследуемого грозового процесса.

Безответные вопросы

Принятая (*используемая*) методология исследований грозовых процессов, при нарастающем научно-прикладном интересе к затронутой теме с

использованием новейших технологий, приводит к непрерывному зарождению новых безответных вопросов, возникающих в результате недостаточно оптимально разработанного системного подхода при выполнении таких оперативных достаточно сложных, трудно предсказуемых и не безопасных научно-технических исследований.

К фундаментальным (*принципиальным*) открытым феноменологическим вопросам (*в настоящее время инструментально установленным при изучении наземных молний \молний облако-земля*) можно отнести:

- формирование восходящего (*ответного*) стримера – от ОМУ к облаку;
- главный молниевый разряд – восходящий и значительно сильнее предыдущего;
- феномен «отрицательных» и «положительных» молниевых разрядов;
- многократные разряды в землю при одном МС;
- и малоэффективная молниезащита.

При настоящем научно-техническом уровне развития, существование достаточно большого множества противоречивых представлений, взаимоисключающих рассуждений о наблюдаемых, инструментально зафиксированных природных молниевых процессах с «условно-принимаемыми» субъективными допущениями (*«научно-технических пробелов и нестыковок»*) – очевидное и достаточно веское прямое и\или косвенное свидетельство о несовершенстве используемой методологии\методики феноменологических исследований (*не случайно, с каждым новым детальным \углубленным экспериментальным результатом в изучении феномена наземной молнии возникает больше вопросов, чем ответов!*).

Целью настоящей статьи является представление роли геосреды на всех этапах формирования и реализации наземных разрядов молний и обоснование необходимости привлечения геоэлектрических (электроразведочных) исследований в фульминологию.

В предыдущей статье (Матевосян, 2022) приведены результаты впервые выполненных научно-исследовательских и опытно-методических геоэлектрических режимных наблюдений грозовых процессов (*молниевых разрядов*) в геосреде на специально подготовленном микро-геополигоне с максимально возможным соблюдением молниезащитных мероприятий. Предложена и проанализирована методика нового направления векторных электроразведочных работ – ГеоЭлектроСканирования, основанного на применении электрических разрядов ближних наземных молний, с целью глубинного научно-прикладного геолого-геофизического изучения земной коры, и в общих чертах представлены перспективы его дальнейшего развития.

Игнорируемые геоэлектрические факты

Ниже приведены основные известные фундаментальные геоэлектрические факторы\факты (*с некоторыми аналитическими предположениями и*

логическими рассуждениями) в пользу утверждения обоснования важнейшей роли литосферы в формировании наземной молнии, игнорируемые в фульминологии и, в конечном итоге, приводящие к логическим заблуждениям и «неувязкам»:

- поверхность Земли заряжена – около полмиллиона Кл, и эмпирически установлен высокий вертикальный градиент напряженности электрического поля у поверхности земли с монотонным убыванием/уменьшением вверх (к облаку), что проявляется не только на всех стадиях развития и реализации наземной молнии в грозовую, но и в безоблачную погоду – однако считается, что Земля не является заряженной;
- геоэлектрическая среда содержит локальные области разделенных объемных приповерхностных зарядов естественного и техногенного происхождения (относительно положительных и отрицательных) – однако принимается, что земля однородно электронейтральна, тем самым игнорируется пространственно-временное (динамическое) специфическое (физико-химического происхождения) неоднородное геоэлектрическое поле;
- верхние слои земной коры (литосферы) резко контрастны по проводимости – однако принимается их электрическая однородность – рассматривается как обычный (плоский, однородный) электротехнический электрод с нулевым потенциалом;
- в условиях вечной мерзлоты (на высоких широтах, когда верхний слой геоэлектрической среды круглогодично можно считать плохо проводящим), грозовые процессы с наблюдением молниевых разрядов облако-земля (тем более многократные) редки и/или существенно слабы (согласно глобальным спутниковым данным);
- над водной поверхностью (на акваториях морей и океанов – в практически стабильной, электрически однородной, хорошо электропроводной и незаряженной \электронейтральной водной среде) вертикальные молниевые разряды не только редки и слабы (важный результат современных фундаментальных исследований и основополагающих наблюдений), но и по всей видимости не способствуют формированию и реализации многократных продолжительных (хорошо фиксируемых) разрядов (практически сводиться к нулю вероятность их возникновения) – однако этому феномену сегодня не уделяется должное внимание;
- практически непредсказуемое, неочевидное (с точки зрения современных феноменологических представлений) притяжение молниевого разряда к конкретному типу ОМУ (природного и/или антропогенного: земного происхождения): не только к хорошо заземленным наземным и подземным металлическим сооружениям, коммуникациям и энергетическим объектам (электротехническим устройствам \установкам), но и к плохо заземленным (изолированным) практически

непроводящим (относительно окружающей геосреды) ОМУ (проявляется\наблюдается необъяснимый противоположный феномен), т.е. ОМУ может служить практически произвольный объект на земной поверхности, что безусловно усложняет и так непростую задачу при организации правильной\грамотной молниезащиты.

Здесь также уместно привести разнообразный феномен восходящей молнии от выступающих на поверхности земли высоких природных и антропогенных объектов\сооружений и при внешних специфических воздействиях на геосреду (в ясную погоду над вулканами и при наземных\подземных ядерных взрывах – в частности, протекающих в условиях отсутствия нисходящего ступенчатого лидера: вышеприведенных начальных стадий формирования наземной молнии). Однако заметим – при очевидном участии земного электричества (благодаря естественной постоянной заряженности поверхности Земли и в присутствии необходимой величины вертикальной составляющей напряженности поля), а именно: по термоионизированным траекториям выброшенным вверх высокоскоростных земных частиц и\или высокому уровню радиоактивного излучения (в условиях значительно низких величин уменьшения напряженности электрического поля с высотой, чем при грозовых процессах) для реализации природного\гибридного восходящего искрового разряда (аналогично с земли возбуждаемым техногенным триггерным молниям).

Кстати, при возбуждении восходящих искусственных молний отсутствует феномен многократности разрядов в одном МС – свидетельство о неподготовленности грозового облака и «пассивности» \«непричастности» геоэлектрической среды: вследствие отсутствия необходимого «мгновенно» восполнимого объемно-локализованного атмосферного (облачного) и земного (поверхностного \подземного в области ОМУ) заряда. Следовательно, можно достаточно уверенно предполагать, что в природных условиях окрестности ОМУ должны характеризоваться достаточно интенсивными (в данный момент минимально необходимыми для реализации конкретного молниевоего удара) приповерхностными локальными ореолами положительных или отрицательных электрических зарядов в геосреде (Краев, 1965; Семенов, 1980; Комаров, 1980; Рысс, 1983; Электроразведка, 1989; Баласанян, 1990; Комаров, 1994).

Геоэлектрическое дополнение

Теперь с геоэлектрических позиций, попробуем предварительно восполнить (добавить \скорректировать) некоторые моменты процесса формирования и реализации наземных (вертикальных) молний, с привлечением результатов анализа и обобщения проводимых многолетних опытно-методических геомониторинговых наблюдений (Матевосян, 2022).

- Во время грозовых процессов происходит непрерывное «сканирование» заряженным грозовым облаком земного приповерхностного

слоя в виде многочисленных стримеров в поисках благоприятного наземного ОМУ и выбор подходящего момента реализации молниевое разряда в землю. С другой стороны, в неоднородной геоэлектрической среде протекает встречная, синхронная с атмосферной, реакция (*отклик*) земного электричества (*неравномерно распределенного, естественного электрического поля физико-химического происхождения*) в виде менее активного (*относительно достаточно инертного*) реагирования\изменения (*переориентировок\передислокаций, группирования в субвертикально направленные локальные объемные электрические области* (домены, ореолы) разделенных зарядов). Перед непосредственным главным ударом молнии, в приповерхностном слое геосреды происходит непрерывный оперативный поиск, подбор и выбор возможного ОМУ для формирования ответного\встречного стримера (*и по всей вероятности не одного*). Иначе, земля предлагает варианты ОМУ (*природного и\или гибридного происхождения*), однако на начальной стадии МС окончательная реализация **молниевое разряда (МР)** остается за более активным («*предприимчивым*») грозовым облаком: нисходящим ступенчатым лидером по хаотичным траекториям высокоэнергетических частиц, направленных от облака к земле.

- Главный молниевый разряд представляет собой интенсивный восходящий поток зарядов естественного электрического поля земли вверх – на грозное облако от предварительно подготовленного, окончательно выбранного и в данный момент реализованного ОМУ. Естественно, следует полагать, что это должно сопровождаться протеканием кратковременных необратимых физико-химических процессов в геологической среде (Краев, 1965; Семенов, 1980; Комаров, 1980; Рысс, 1983; Электроразведка, 1989; Баласаян, 1990; Комаров, 1994) с выбросом через ОМУ заряженных частиц\ ионов\ веществ в атмосферу, приводящее в грозном облаке к значительной нейтрализации накопленного заряда, что проявляется интенсивным свечением.
- После молниевое разряда в земле происходит динамическое, резко убывающее перераспределение зарядов и переход геосреды в новое (*иное*) в этот момент электрически относительно уравновешенное состояние (*в грубом приближении в первоначальное*), однако с готовностью формирования следующего МР. Одновременно с этим, в грозном облаке наблюдается перераспределение, восстановление и накопление локальных объемных зарядов, что частично проявляется в виде последующих значительно слабых внутриоблачных молний\ разрядов и свечений, а также (*зачастую*) с частичным переносом заряда облака гидрометеорами на землю.

Следовательно, молниевый разряд в землю – феноменологический результат полностью согласованного, взаимно регулируемого, контролируе-

мого действия\отклика между облаком и геосредой. Можно также достаточно уверенно принять, что не грозовое облако разряжает заряженную землю, а наоборот. Земля через литосферу практически непрерывно путем нейтрализации заряда грозových облаков локально разряжается, поддерживая некоторую уравновешенную величину глобального заряда поверхности Земли, равную порядка 0,5МКл.

При этом следует изменить\скорректировать постановку задачи исследований: не «физика молний»: объемно и неопределенно (*представя фундаментальной, научно-исследовательской в рамках одной дисциплины*), а конкретно: «изучение феномена молниевых разрядов в землю (или наземного молниевых удара) при грозových процессах» (*рассматривая как научно-прикладную, междисциплинарную, включая молниезащиту*).

Выводы и заключение

Из вышеприведенного попробуем сделать необходимые предварительные (*на основании ограниченной информации*) выводы и представить методологические рекомендации для продолжения дальнейших научно-технических исследований в затронутом фульминологическом вопросе.

Роль геосреды в проявлении наземных молниевых разрядов\событий:

- геоэлектрическая среда со специфическими и достаточно контрастными особенностями пространственного распределения электрических неоднородностей и присутствием электрических полей (*естественного и техногенного происхождения*) является активно действующим фактором (*«чутко следящим», реагируемым, направляющим и управляемым*) в течение всего процесса грозových явлений;
- при наземных молниевых разрядах (*облако-земля*), в итоге, не грозовое облако разряжает Землю, а наоборот: Земля, через заряженную поверхность геосреды, путем частичной нейтрализации заряда грозových облаков, разряжается, поддерживая определенную уравновешенную величину глобального приповерхностного заряда.

Основная причина современных проблем в области исследования феномена наземных разрядов молний и молниезащиты представляется:

- в игнорировании роли геосреды – «главного игрока» во всем процессе формирования и реализации наземной молнии (*«органической» взаимосвязи атмосферно-литосферного электричества и космического фактора*);
- в отсутствии дифференциации молниевых разрядов \процессов \явлений по их геоэлектрическим особенностям проявления и характеристикам, поскольку в основе (*по существу*) всех молниевых событий лежит реализация искрового разряда в конкретных \разных внешних геолого-физико-химических условиях протекания, и естественно, наблюдаемые в природе молнии существенным образом от-

личаются друг от друга по физике феномена («лабораторный»\идеальный искровой разряд – далеко не природная молния!).

Направления и перспективы дальнейших исследований видятся:

- в разработке четкой классификации (*систематизация, обобщение и осмысление*) молниевых явлений по всем фигурирующим\присутствующим факторам, основанной на целенаправленных регистрациях, сборе и углубленном комплексном анализе процесса формирования и реализации природного\гибридного МС;
- в грамотном включении электроразведочных методов (*учитывая высокую разрешающую способность и информативность геоэлектрических измерений*), по мере необходимости, и других геолого-геофизических, включая геоэлектрохимических методов, (*основываясь на критическом, достаточно научно-требовательном творческом системном подходе*) в применяемый multidisciplinary рациональный комплекс научно-технических исследований, что несомненно, будут способствовать развитию исследований феномена молниевых разрядов в землю и существенно повысят надежность молниезащиты.

Подытоживая, следует особо подчеркнуть, что некоторые представленные теоретические предположения, аналитические умозаключения, логические рассуждения и выводы, касающиеся необходимости привлечения\применения геоэлектрического подхода при изучении наземных молниевых разрядов, безусловно требуют дальнейшего многофакторного целенаправленного углубленного экспериментального и теоретического изучения.

Синхронная регистрация атмосферного (*атмосферно-космического*) и земного электричества – перспективное направление не только в фульминологии (*здесь необходим рациональный методологический подход*), в связи с этим важнейшая роль возлагается на мониторинговые геоэлектрические наблюдения, которые представляют собой уникальный источник информации не только о пространственно-временных особенностях (*параметры, зависимости, характеристики, векторные диаграммы*) геоэлектрического поля (*включая молниевых разрядов различного типа*), но и структурно-текстурных особенностях геосреды.

Литература

- Бабич Л.П. 2019. Грозовые нейтроны. // УФН, 189, 1044–1069.
- Базелян Э.М., Райзер Ю.П. 2001. Физика молнии и молниезащиты. М.: ФИЗМАТЛИТ, 319 с.
- Баласанян С.Ю. 1990. Динамическая геоэлектрика. Новосибирск: Наука, 232 с.
- Иудин Д.И., Давыденко С.С., Готлиб В.М., Долгоносов М.С., Зелёный Л.М. 2018. Физика молнии: новые подходы к моделированию и перспективы спутниковых наблюдений. // УФН, 188, с. 850–864.

- Комаров В.А.** 1980. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 391 с.
- Комаров В.А.** 1994. Геоэлектрохимия. Изд. СПб ун-та, 136 с.
- Краев А.П.** 1965. Основы геоэлектрики. Л.: Недра, 588 с.
- Кужекин И.П., Ларионов В.П., Прохоров Е.Н.** 2003. Молния и молниезащита. – М.: Изд-во Знак, 330 с.
- Матевосян А.К.** 2022. Геоэлектросканирование с использованием ближних наземных молний. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 75, № 3, с. 12–27.
- Рысс Ю.С.** 1983. Геоэлектрохимический метод разведки. Л.: Недра, 255 с.
- Семенов А.С.** 1980. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л.: Недра, 446 с.
- Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е.** 2005. Общая и экологическая геофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 576 с.
- Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.** 1966. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, т. 5, 297 с.
- Шейдеггер А.Е.** 1981. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 232 с.
- Электроразведка.** 1989. Справочник геофизика. М.: Недра, в двух книгах – 438 с, 378 с.
- Юман М.А.** 1972. Молния. М.: Мир, 327 с.
- Chilingarian A., Daryan A., Arakelyan K., et al.** 2010. Groundbased observations of thunderstorm-correlated fluxes of high-energy electrons, gamma rays and neutrons. Phys. Rev. D, 82 043009.
- Chilingarian A., Khanikyants Y., Mareev E., Pokhsraryana D., Rakov V.A., Soghomonyan S.** 2017. Types of lightning discharges that abruptly terminate enhanced fluxes of energetic radiation and particles observed at ground level. J. Geophys. Res. Atmos., 122, 7582–7599.
- Rakov V.A., Uman M.A.** 2003. Lightning: Physics and Effects. Cambridge University Press, 685 p.

ԵՐԿՐԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԻՐՔԵՐԻՑ ԿԱՅԾԱԿՆԵՐԻ ԳԵՏՆԻՆ ԼԻՑԲԱԹԱՓՈՒՄՆԵՐԻ ՏԻԶԻԿԱՅԻ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Մաթևոսյան Արշակ

Ամփոփում

Համառոտ դիտարկվում են գետնին կայծակի լիցքաթափման ֆիզիկայի հիմնական արդի պատկերացումները, որոնք լրացված են հաշվի առնելով երկրաէլեկտրական միջավայրի մակերեսին տարածա-ժամանակային էլեկտրական բնութագրերի դիտարկումների վերլուծության արդյունքները:

Առաջին անգամ ներկայացվում և հիմնավորվում է երկրամիջավայրի կարևոր դերը կայծակների ծնման, ձևավորման, զարգացման և իրագործման ժամանակ, իսկ երկրաէլեկտրական գործոնի անտեսումը թույլ չի տալիս բազմակողմ և օբեկտիվ հետազոտել քննարկվող բազմաառարկա երևույթի բոլոր առանձնահատկությունները:

GROUND LIGHTNING DISCHARGES PHYSICS FROM GEOELECTRICAL POSITION

Matevosyan Arshak

Abstract

The article briefly reviews the main modern concepts of the lightning during discharges into the ground (*vertical lightning*) physics, which are supplemented taking into account the results of spatiotemporal electrical characteristics observations analysis on the geoelectric medium surface.

The important role of the geological environment (*the earth's crust*) in the origin, formation, development and implementation of ground lightning is presented and justified for the first time, and ignoring the geoelectric factor does not allow a comprehensive and objective study of all aspects of the discussed multidisciplinary phenomenon.