

УДК 351.861

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ГРОЗОВЫХ И ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Доктор сельхоз. наук, кандидат техн. наук *Ю.В. Подрезов*

ФБГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Московский физико-технический институт

Выполнен анализ физической сущности, особенностей возникновения и развития грозовых и градовых процессов в атмосфере Земли, а также их основные последствия. Рассмотрены вопросы опасности указанных процессов для населения и территорий.

Ключевые слова: атмосфера Земли, град, градобитие, гроза, метеоусловия, погодные условия, чрезвычайные ситуации природного характера.

FEATURES OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF THUNDERSTORMS AND HAIL PROCESSES IN THE EARTH'S ATMOSPHERE

Dr. of agricultural sciences, Ph.D (Tech) *J.V. Podrezov*

FC VNI GOCHS EMERCOM of Russia

Moscow Institute of physics and technology (state University)

In the article the analysis of physical nature, features of occurrence and development of thunderstorms and hail processes in the Earth's atmosphere, as well as their main effects. Considered are the issues of danger of these processes for the population and territories.

Key words: the atmosphere of the Earth; hail; graduate; thunderstorm; weather conditions; weather conditions; emergency situations of natural character.

Грозы и, особенно, град наносят порой значительный материальный ущерб экономикам ряда стран, в том числе и экономике России. Нередки случаи, когда от молниевых разрядов гибнут люди. Поэтому защита населения и территорий от этих природных опасностей весьма важна.

Для того чтобы рассмотреть возможные способы защиты от указанных грозных явлений природы, прежде всего, в рамках данной статьи рассмотрим физику образования и развития грозовых и градовых облаков. Анализ научных литературных источников свидетельствует, что здесь много общего [1-17].

Рассмотрим вначале грозы. На территории Российской Федерации наблюдается большое количество гроз, особенно в летний период. Иначе говоря, грозовая активность характерна для территории нашей страны.

Гроза - это атмосферное явление, при котором в мощных кучево-дождевых облаках и между ними и землей возникают сильные электрические разряды - молнии, сопровождаемые громом [1-2].

При грозе выпадают интенсивные ливневые осадки, приводящие к наводнениям, нередко град, наблюдается сильный ветер, часто шквалистый.

В последние десятилетия исследования кучево-дождевых облаков (Cb) с помощью самолетов и локационной техники (проведенные в США, России и ряде других стран) позволили четко определить, что такие облака состоят из одной или нескольких ячеек.

Решающую роль играет знак вертикальной скорости в облаке. При этом, в зависимости от преобладания знака вертикальной скорости выделяются три стадии развития ячейки (одноячейковое облако):

- начальная стадия, в ходе которой в большей части ячейки движение воздуха восходящее, когда продуктами конденсации служат капли воды, некоторая часть которых в верхней части находится в замерзшем состоянии с образованием частиц крупы,

- стадия *зрелости* - характеризуется преобладанием восходящего движения в центральной части ячейки и нисходящего - на ее периферии. В этом случае, верхняя часть ячейки находится в полностью обледенелом состоянии (состоит из кристаллов льда), а в средней (большей) части облака наряду с каплями воды присутствуют частицы ледяной крупы. Далее, под влиянием увеличения веса единичного объема воздуха за счет содержащейся в нем жидкой воды в сочетании с более низкой температурой (в ячейке воздух при подъеме охлаждается влажноадиабатически, вне ее при опускании нагревается сухоадиабатически) в нижней части ячейки (и под ней) возникает нисходящее движение, которое способствует внезапному началу выпадения ливневых жидких осадков (дождевых). В свою очередь, нисходящий поток воздуха, растекаясь вблизи земной поверхности под облаком, оказывает влияние на поле ветра,

- стадия *распада*, в процессе которой наблюдается нисходящее движение воздуха, которое распространяется практически на всю ячейку. При этом подток водяного пара с восходящим потоком воздуха, позволявший обновлять влагу в облаке, в этой стадии прекращается и выпадающие осадки постепенно размывают облако [1-6].

Необходимо отметить, что первая стадия продолжается 10 - 15 мин, вторая - 15-30 мин и третья - примерно 30 мин (со значительными отклонениями в каждом конкретном случае).

Как показывает анализ литературных источников, внутримассовые грозы возникают при конвекции над сушей преимущественно в послеполуденные часы, а над морем - в ночные. В свою очередь, фронтальные грозы наблюдаются на атмосферных фронтах, т. е. на границах между теплыми и холодными воздушными массами [1-17].

Рассмотрим некоторые физические характеристики гроз. Результаты исследований показывают, что грозы возникают в мощных кучевых облаках с вершинами на высотах 7...15 км, где наблюдаются температуры ниже -15...20°C, и состоят из смеси переохлажденных капель и кристаллов. При этом, потенциальная энергия грозового облака превышает 10¹³...10¹⁴ Дж, иначе говоря, близка к энергии взрыва термоядерной мегатонной бомбы. Электрические заряды же грозового облака падающей молнии составляют 10...100 Кл и разнесены на расстояния до 10 км, а электрические токи достигают до 100 А. Следует отметить, что напряженность электрического поля внутри грозового облака равна (1...3) 10⁵ В/м, а эффективная электропроводность в 100 раз меньше, чем в окружающей атмосфере, а средняя продолжительность одного грозового цикла составляет 30 мин, но иногда перед холодным фронтом образуется целый ряд мощных гроз, длящихся часами и сопровождаемых смерчами и шквалами [1-6].

Следует отметить, что последствия от удара молнии зависят от разряда между слоями атмосферы и землей. При ударе молнии может пострадать электротехническое оборудование, средства связи, электроника. На равнинной местности грозовой процесс, как правило, включает образование молний, направленных от облака к земле. Предельное напряжение пробоя, вызывающее образование ионизированного канала, составляет около 3·10⁶ В/м. Может наблюдаться лавинный заряд, когда ступенчатый лидер движется вниз ступеньками по 50...100 м, пока не достигнет поверхности земли. При этом, когда до земной поверхности остается примерно 100 м, молния «нацеливается» на какой-либо возвышающийся предмет. В свою очередь, разряды могут достигать 80 Кл и иметь силу тока от нескольких единиц до 200 кА. Обычно сила тока быстро нарастает за первые 10...20 мс, а в следующие 200...300 мс происходит ее снижение до 20 % от амплитудной величины. Ступенчатый лидер переносит вниз отрицательный заряд, однако иногда мо-

жет переносить и положительный, при этом время нарастания, а затем уменьшения тока более продолжительно; максимальное значение заряда достигает 200 Кл, тока - 218 кА [1].

Необходимо сказать еще об одном, особом виде молнии - шаровой. Шаровая молния представляет собой уникальное электрическое явление, природа которого до настоящего времени не выявлена. Шаровая молния имеет форму светящегося шара диаметром 20...30 см. Она движется по неправильной траектории и обладает большой удельной энергией. Длительность ее существования - от нескольких секунд до минут, а ее исчезновение может сопровождаться взрывом, вызывающим разрушения и человеческие жертвы, или происходить беззвучно [1-5].

Наблюдаются иногда вспышки невидимых и неслышимых молний при отдаленной грозе, освещающих изнутри облака, которые называются зарницами.

Опасность молний для человека и объектов экономики заключается в следующем.

Молниевые разряды обладают термическими и электродинамическими воздействиями, что приводит к опасным последствиям, связанным, прежде всего, с действием электромагнитного и светового излучения. При этом, наибольшие разрушения вызывают удары молнии в наземные объекты при отсутствии токопроводящих путей между местом удара и землей. В материале от электрического пробоя образуются узкие каналы, в которые устремляется ток молнии. За счет очень высокой температуры часть материала интенсивно испаряется со взрывом, что приводит к разрыву или расщеплению объекта, пораженного молнией, и воспламенению горючих элементов.

В случае возникновения и развития грозовых процессов серьезный ущерб населению и территориям могут нанести интенсивные градобития. Град представляет собой атмосферные осадки в виде шариков льда и смеси льда и снега, выпадающие во время прохождения холодного фронта или во время грозы. При этом небольшие градины являются простыми структурами, образующимися, когда поверхность снежных комочков тает и основа замерзает или же покрывается водяными капельками, которые затем замерзают. Следовательно, у градин имеется твердое внешнее покрытие и мягкая сердцевина. Однако крупные градины диаметром 1,2...12,5 см представляют собой более сложные структуры. Они обычно состоят из чередующихся слоев твердого и мягкого льда.

Результаты гидрометеорологических исследований свидетельствуют о том, что, как правило, град выпадает из мощных кучево-дождевых облаков при грозе и ливне. При этом частота выпадения града различна: в умеренных широтах он случается 10...15 раз в год, у экватора на суше, где более мощные восходящие потоки, - 80...160 раз в год [1-6].

Перейдем к рассмотрению физической сущности возникновения и развития градовых процессов.

Выше была кратко описана одноячейковая структура грозового облака наиболее характерная для ливневых облаков, град из них выпадает сравнительно редко (на юге России примерно в 20-30 % общего числа случаев выпадения града) и, как правило, интенсивность его невелика, диаметр таких облаков редко превышает 5 - 7 км [2].

Наиболее часто градовое облако включает несколько ячеек, каждая из которых проходит, хотя и не одновременно с другими, описанные выше стадии развития. Подобные облака носят название *мультиячейковых*. Такое облако вначале возникает как одноячейковое. Приблизительно через 15 - 20 мин от момента зарождения первой ячейки, когда она достигает стадии зрелости, на расстоянии около 20 - 30 км и, как правило, справа от общего направления движения облака возникает вторая (дочерняя) ячейка. При этом дочерняя ячейка, как и первичная, проходит все три стадии развития. далее последующее возникновение новых ячеек приводит к тому, что мультиячейковое кучево-дождевое облако (чаще всего - фронтальное) может существовать несколько часов. С такими облаками связаны наиболее интенсивные ливневые осадки (4 июля 1956 г. в Юннвилле (США) за 1 мин. выпало 30,8 мм осадков, а 25 мая в Фюссене (Германия) за 8 мин. - 124 мм), а также градобития и грозы [2].

Следует обратить внимание на то, что наблюдается значительное движение воздуха по отношению к облаку. При этом, капли и градины движутся (не отставая) по горизонтали со скоростью ветра на данном уровне. Однако облако смещается не только с воздушным потоком, но и по отношению к нему за счет образования новых ячеек.

Как правило, мультячейковые облака имеют многокупольные вершины, которые заканчиваются "наковальнями", расположенными, как правило, на разной высоте; поскольку направление ветра изменяется с высотой, то наковальни ориентированы под большим или меньшим углом друг к другу.

Следует сказать и о том, что наиболее сильные (катастрофические) градобития связаны с формированием так называемых *суперячейковых* кучево-дождевых облаков большой вертикальной (10-15 км) и горизонтальной (15-20 км) протяженности. Благоприятные условия для их образования создаются тогда, когда наблюдается значительный (чаще всего правый) поворот скорости ветра с высотой. В этих случаях восходящий поток влажного теплого воздуха вблизи правого переднего (по отношению к направлению движения) сектора и нисходящий поток в тыловой части облака формируют мезомасштабную замкнутую циркуляцию, поддерживающую пополнение облака влагой и, следовательно, существование его в течение длительного (до нескольких часов) времени.

Так как в восходящую ветвь вовлекаются все новые и новые массы воздуха справа от облака, то траектория видимого его перемещения отклоняется вправо от направления ветра на нижних уровнях. А в передней части суперячейкового облака восходящий поток (скорость которого может достигать 50 м/с) переносит градины вверх. Преимущественно град выпадает в центральной и тыловой частях облака, где наблюдается нисходящее движение воздуха. При этом, градины растут за счет слияния и соударения с жидкими и твердыми частицами, как в восходящей, так и в нисходящей ветвях, суперячейковой циркуляции. В свою очередь, мелкие частицы, вынесенные восходящим потоком в более высокие слои, уносятся горизонтальным потоком (ветром) в передний выступ "наковальни" и, падая здесь вниз, могут оказаться вовлеченными в восходящий поток. Описанный многократный подъем и опускание частиц облака в его передней части способствуют образованию в суперячейковых Сб особенно крупных градин [1-6].

Важно отметить, что движение воздуха и траектории градин в суперячейковом Сб (с учетом изменения ветра с высотой и собственной скорости движения облака, отличной от скорости ветра) носят исключительно сложный характер.

Следует подчеркнуть, что одной из особенностей строения суперячейковых облаков являются так называемые "ниши" - области, обнаруживаемые по слабому радиолокационному отражению от них. Вероятно, что в таких областях скорость восходящего движения достигает максимума, вследствие чего ледяные частицы быстро выносятся из них, не успев вырасти до значительных размеров. При этом вершина суперячейкового Сб, как правило, однокупольная, с "наковальней" больших размеров.

Последствия градовых процессов бывают разные. Так выпадение града приводит к серьезным разрушениям населенных пунктов, объектов экономики, в том числе транспорта. Но, наибольший ущерб град наносит посевам сельскохозяйственных культур, уничтожая порой их полностью. В некоторых случаях выпадение града сопровождается человеческими жертвами. Следует отметить, что опасность интенсивных градобитий определяется диаметром (массой) градин и размерами поражаемой площади - так называемых градовых дорожек. При этом, диаметр градин увеличивается вместе со скоростью и высотой поднятия грозовых облаков.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что молниевые и градовые процессы являются серьезными природными опасностями, способными нанести значительный ущерб населению и объектам экономики и, даже, приводить к гибели людей. Поэтому требуется выработка мер по предупреждению возникновения указанных процессов, а также способов и средств защиты населения, объектов экономики и окружающей природной среды от них.

Литература

1. <https://studfiles.net/preview/5908870/page:16>.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Издание третье, переработанное и дополненное. – Санкт – Петербург: Гидрометеиздат. - 2000.
3. Изменение погоды человеком. Проблемы национальной политики в области природных ресурсов. Перевод с английского И.М. Шейниса. Под редакцией И.П. Мазина. – М.: Издательство “Прогресс”. - 1972.
4. Мазин И.П., Шметер С.М. ОБЛАКА строение и физика образования. – Ленинград: Гидрометеиздат. - 1983.
5. Прихотько Г.Ф. Искусственные осадки из конвективных облаков. Под общей редакцией В.Г. Морачевского. – Ленинград: Гидрометеорологическое издательство. - 1968.
6. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Экспериментальная физика атмосферы. Допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности “Метеорология”. – Ленинград: Гидрометеиздат. - 1990.
7. Подрезов Ю.В. Проблемные аспекты исследований по активным воздействиям на атмосферные процессы. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2015 год.
8. Подрезов Ю.В. Основные особенности формирования погодных процессов в атмосфере Земли. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 5 за 2015 год.
9. Подрезов Ю.В. Особенности формирования и предупреждения опасных вихревых процессов в атмосфере Земли, основные характеристики опасных вихревых процессов. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», №5 за 2017.
10. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Донцова О.С. Анализ особенностей состояния атмосферы крупных городов. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2015 год.
11. Подрезов Ю.В. Обобщенный анализ современных способов и средств управления атмосферными процессами. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 6 за 2016 год.
12. Подрезов Ю.В., Донцова О.С., Тимошенко З.В. Анализ современного состояния проблемы потепления климата на земле. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 6 за 2016 год.
13. Подрезов Ю.В. Анализ особенностей загрязнения атмосферы городов. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». Выпуск №2.- М.: ВИНТИ. - 2013.
14. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Тимошенко З.В. Современные и перспективные средства и система борьбы с опасными метеорологическими процессами, базирующиеся на электрофизических методах воздействия на атмосферные процессы. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2018.
15. Подрезов Ю.В. Особенности воздействия на метеоусловия с использованием химреагентов в интересах предупреждения чрезвычайных ситуаций природного характера. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 3 за 2018.
16. Подрезов Ю.В. Современные особенности мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 4 за 2018.
17. Агеев С. В., Подрезов Ю.В., Тимошенко З.В. Анализ особенностей проявления природных опасностей весной 2018 года на территории Российской Федерации: ураганы, лесные пожары, наводнения. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 4 за 2018.

Сведения об авторе

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp4@mail.ru