

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА И ДИАГНОЗА МОЛНИЕВОЙ АКТИВНОСТИ МНОГОЯЧЕЙКОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАТОРА

Ю.П. Михайловский¹, канд. физ.-мат. наук, А.А. Синькевич¹, д-р техн. наук, А.М. Абшаев², д-р физ.-мат. наук

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург, Россия

²Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия

FEATURES OF THE FORECAST AND DIAGNOSIS OF THE LIGHTNESS ACTIVITY OF MULTICELL CONVECTIVE CLOUDS ACCORDING TO THE RADAR INFORMATION

Yu. P. Mikhailovsky¹, Cand. Sc., A.A. Sinkevich¹, Dr. Sc., A.M. Abshaev², Dr. Sc.

¹Main Geophysical Observatory. A.I. Voeikova, St. Petersburg, Russia

²High Altitude Geophysical Institute, Nalchik, Russia

Представлен анализ особенностей развития электрических процессов в многоячейковом облаке. Используются данные МРЛ-5 и грозопеленгационной системы LS8000. Получена тесная корреляционная связь частоты молний, фиксируемых в низко- и высокочастотном диапазонах с объемом переохлажденной части с отражаемостью более 35 дБZ, как для одноячейкового, так и для многоячейкового облака. Для анализируемых облаков установлено, что одноячейковые облака генерируют большее количество молний на единицу объема переохлажденной части.

The analysis of the features of the development of electrical processes in a multi-cell cloud is presented. The data from MRL-5 and the LS8000 thunderstrip system was used. A close correlation was obtained between the frequency of lightning recorded in the low and high frequency ranges with the volume of the supercooled part with a reflectivity of more than 35 dBZ both for single-cell and multi-cell clouds. For the analyzed clouds, it was found that single-cell clouds generate a greater number of lightning per unit volume of the supercooled part.

Введение.

Большинство грозовых и грозоградовых облаков представляют собой так называемые «многоячейковые» облака [6,8]. Отдельные конвективные ячейки, составляющие многоячейковое облако, могут существенно влиять друг на друга и определять его развитие и продолжительность существования [1, 5, 6, 7, 8]. Интенсификация процессов динамики и осадкообразования может быть обусловлена влиянием электрических полей, более развитых в электрическом смысле облаков на процессы осадкообразования и динамику вновь образующихся соседних («фидерных») [5, 7]. И.М. Имянитов полагал, что электрические силы могут оказывать влияние на осадкообразование равносильное увеличению влажности в облаке на порядок. В ГГО были выполнены работы, которые подтвердили эти предположения. Усиление (ускорение) осадкообразования в свою очередь интенсифицирует электризацию облака. Таким образом, за короткое время уровень опасных явлений погоды (ОЯП), связанных с конвективными облаками, может существенно вырасти за счет этих процессов. Что необходимо учитывать при прогнозе и диагнозе ОЯП. Исследование этих вопросов представляет научный и практический интерес еще и потому, что многие используемые на практике методики воздействий на облачные образования основаны на воздействиях на «фидерные» облака, т.е. на вновь образующиеся периферийные, растущие ячейки, которые затем могут сливаться с ячейками существующего облачного образования. Углубление понимания происходящих при этом процессов позволит совершенствовать методики АВ. Такие же процессы имеют место и при развитии суперячейковых градовых облаков, когда периферийные фидерные облака вовлекаются в систему основного восходящего потока, являющегося мощным генератором электрического поля и зарядов [1, 6, 7, 8].

Сравнительный анализ эволюции радиолокационных и электрических параметров.

Проводится сравнительный анализ результатов непрерывных наблюдений с помощью двухволнового метеорологического радиолокатора МРЛ-5, оснащенного автоматизированной системой сбора, обработки и анализа радиолокационной информации и грозопеленгационной системы LS-8000 одноячейкового облака, развивавшегося в районе городов Эссентуки –

Пятигорск 29 мая 2012 года (облако 1) и многоячейковой облачной системы, развивавшейся в районе Кисловодска 29.06.2015, (облако2) [1, 5].

В работах [2, 3, 5] предлагается использовать интегральные радиолокационные параметры, характеризующие количество крупных ледяных частиц в облаке, для диагноза электрического состояния облака. К таким параметрам относится объем переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ (V_{35} , км³).

В облаке 1 первые разряды в СВЧ диапазоне наблюдались на ранней стадии развития облака через 3 минуты после появления облака на экране МРЛ при высоте верхней границы (Н) 8 км, максимальной отражаемости (Z_m) 29 дБZ, интенсивности осадков по р/л данным SRI=1.16 мм/час и $V_{35}=0$ км³ [5]. Разряды в НЧ диапазоне были зафиксированы через 12 минут, т.е. на 15 минуте. При этом Н=8.2км., $Z_m=42$ дБZ, SRI=15.4 мм/час, $V_{35}=72$ км³. В это время $F_{свч}=44$ л/мин. Максимальные частоты разрядов в НЧ и СВЧ диапазонах (23 и 448) зафиксированы на 68 минуте развития облака при Н= 13.7 км, $Z_m=60$ дБZ, SRI=100 мм/час, $V_{35}=587$ км³, причем все эти значения также являются максимальными. Средний градиент частот от появления разрядов до достижения максимумов составлял 1.1 и 12.4 соответственно.

В облаке 2, эволюция радиолокационной структуры которого представлена на Рисунке 1, первые разряды в СВЧ диапазоне наблюдались также на ранней стадии развития облака, через 8 минут после появления облака на экране МРЛ, при высоте верхней границы (Н) 8.5 км, максимальной отражаемости (Z_m) 41 дБZ, SRI=17.8 мм/час $V_{35}=68$ км³[1]. Разряды в НЧ диапазоне были зафиксированы через 22 минуты, т.е. на 30 минуте. При этом Н=10.2 км и $Z_m=49$ дБZ, SRI=36 мм/час – максимальное по ячейкам и 90 мм/час – суммарное по всем ячейкам, $V_{35}=507$ км³. Максимальные частоты разрядов в НЧ и СВЧ диапазонах (10 и 217) зафиксированы на 64 минуте развития облака при Н= 10.3 км., $Z_m=59$ дБZ, SRI= 87 мм/час максимальное и 107 мм/час суммарное, $V_{35}=970$ км³. Средний градиент частот в НЧ и СВЧ диапазонах составлял 0.3 и 3.9 соответственно.

Были определены статистические связи частоты разрядов в СВЧ и НЧ диапазоне с объемом переохлажденной части для обоих облаков. Уравнения линейной регрессии и коэффициенты корреляции для одноячейкового облака за все время его существования представлены

$$F_{нч} = -0.04 + 0.03V_{35}; r = 0.88; F_{свч} = 9.7 + 0.58V_{35}; r = 0.77; (\text{Облако 1})$$

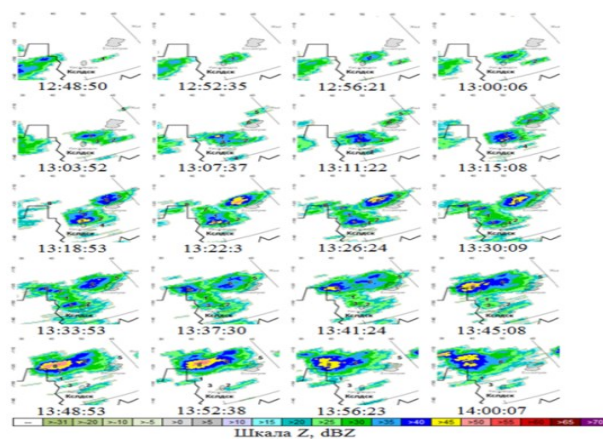


Рис. 1. Развитие многоячейкового облака 2

Важным фактором, влияющим на взаимосвязь характеристик облака, является период его существования, состоящий из стадий развития, зрелости и разрушения. Для целей сверхкраткосрочного прогноза особый интерес представляет стадия развития [4,5]. Поэтому отдельно были определены связи частот молниевых разрядов в НЧ и СВЧ диапазоне с объемом переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития для каждого из выбранных облаков.

Как видно из рисунка 2, для облака 1 на стадии развития связь $F_{нч}$ с V_{35} близка к линейной, а связь $F_{свч}$ с V_{35} лучше описывается квадратичным полиномом. Линейные и квадратичные регрессионные уравнения, аппроксимирующие эти связи, представлены ниже:

$$F_{нч} = -0.21 + 0.031V_{35} r = 0.81$$

$$F_{свч} = -25.5 + 0.55V_{35} r = 0.82$$

$$F_{\text{СВЧ}} = 22.7 - 0.36V_{35} + 0.0016(V_{35})^2$$

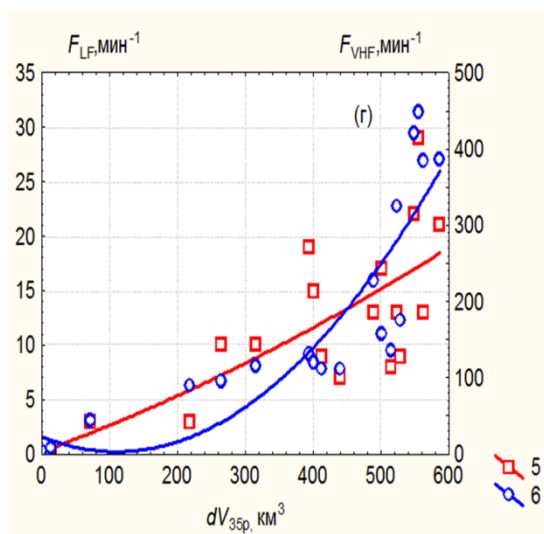


Рис. 2. Статистические связи частот молний в низко- и высокочастотном диапазонах (кривые 5 и 6 соответственно) с объемом переохлажденной части одноячейкового облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития.

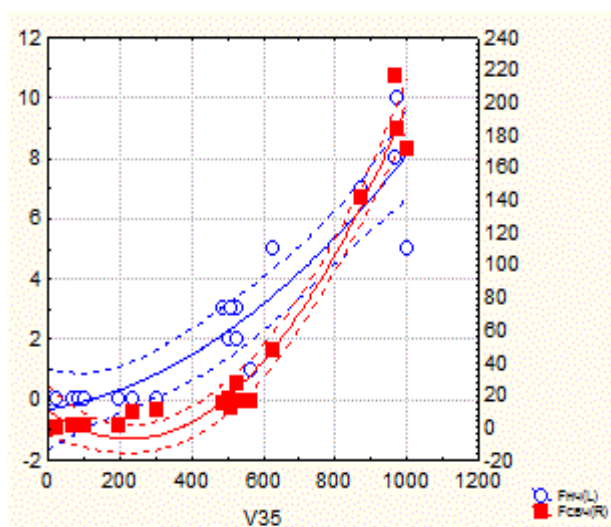


Рис. 3. Статистические связи частот молний в низко- и высокочастотном диапазонах с объемом переохлажденной части многоячейкового облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития.

На Рисунке 3 представлены аналогичные связи для многоячейкового облака (2). Рассчитаны линейные и квадратичные регрессионные уравнения для многоячейкового облака.

$$F_{\text{НЧ}} = -1.2 + 0.0084 V_{35} \quad r = 0.90$$

$$F_{\text{СВЧ}} = -37 + 0.19 V_{35} \quad r = 0.86$$

$$F_{\text{НЧ}} = -0.31 + 0.002V_{35} + 0.0000065(V_{35})^2$$

$$F_{\text{СВЧ}} = 11 - 0.16V_{35} + 0.00012(V_{35})^2$$

Из сравнения представленных рисунков и регрессионных уравнений видно, что исследуемые связи частот молний с объемом переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ существенно различаются для облаков 1 и 2. Одноячейковое облако генерирует в несколько раз больше молний, чем многоячейковое, имеющее одинаковую суммарную переохлажденную зону с отражаемостью более 35 дБZ, т.е. сумму переохлажденных частей всех ячеек, входящих в облако с соответствующими отражаемостями на данном обзоре. Сравнивая параметры анализируемых облаков во время максимальных значений (смотри выше), можно заметить, облако 1 имеет практически одинаковые значения с облаком 2 Zm и SRI, существенно выше облака 2 (на 3.4 км.) и имеет существенно меньший объем V_{35} (587 км³ против 970). При этом частоты молний в одноячейковом облаке в 2 раза выше. Существенно (более чем в 3 раза) различаются также средние скорости увеличения частот молний за время от начала молниевой активности до достижения максимальных значений. Таким образом, на основании анализа развития этих облаков можно сделать предварительный вывод, что одноячейковые облака более электрически активны, чем многоячейковые, имеющие аналогичные суммарные переохлажденные части. Необходимо отметить, что эти предварительные выводы сделаны на основании анализа развития 2-х облаков. Анализ развития и взаимодействия ячеек данного многоячейкового облака, проведенный ранее, показал, что в данном облаке не наблюдалось классического явления «слияния» ячеек [1]. Отдельные ячейки сохраняли признаки обособленности, несмотря на наличие общих контуров отражаемости [1].

Для многоячейковых облаков, также, как и для одноячейковых, наблюдается тесная корреляционная связь частот молний в НЧ и СВЧ диапазонах с V_{35} коэффициентами корреляции 0.90 и 0.86 соответственно.

При предварительном анализе отмечено, что временной интервал между началом молниевой активности в СВЧ и НЧ диапазонах для облака 1 значительно короче. Учитывая, что разряды в НЧ диапазоне обычно ассоциируются с разрядами «облако – земля», а разряды в СВЧ диапазоне

с внутриоблачными или «облако – облако», можно предположить, что в многоячейковом облаке условия для развития разрядов между соседними ячейками более благоприятны, чем для разрядов на землю. Этот тезис является следствием исследования 2-х облаков и, конечно, нуждается в дальнейшей проверке.

Выводы.

Анализ связей электрических характеристик с радиолокационными для одно- и многоячейкового облака показал, что они достаточно тесно связаны друг с другом для обоих облаков, в частности частоты молний в НЧ и СВЧ диапазонах коррелируют с объемом переохлажденной части с отражаемостью более 35 дБZс $r = 0.8 - 0.9$ и эти связи могут быть объяснены в рамках неиндукционного контактного механизма электризации, с решающей ролью крупных ледяных частиц.

Установленные линейные и квадратичные регрессионные связи частот и объемов существенно различаются для одно – и многоячейкового облака.

Сравнительный анализ особенностей развития выбранных облаков показал, что одноячейковые облака более электрически активны, чем многоячейковые, имеющие аналогичные суммарные переохлажденные частицы отражаемостью более 35 дБZ.

При предварительном анализе отмечено, что в многоячейковом облаке молниевая активность также начинается с регистрации молний в СВЧ диапазоне, но временной интервал между началом молниевой активности в СВЧ и НЧ диапазонах для него значительно длиннее (12 и 22 минуты). Можно предположить, что в многоячейковом облаке условия для развития разрядов между соседними ячейками более благоприятны, чем для разрядов на землю.

Развитие ячеек, проходящее под влиянием электрических полей, более развитых в электрическом смысле ячеек, отличается более интенсивными процессами осадкообразования и динамики.

Литература

1. А. М. Абшаев, М. Т. Абшаев, А.Х. Аджиев, Я. А. Садыхов, А. Б. Чочаев, А. А. Синькевич, Ю. П. Михайловский. Анализ развития и взаимодействия ячеек в грозоградовых облаках. Тр. ГГО, 2017, вып. 586, с. 93-116).
 2. Аджиев А. Х., Тапасханов В. О., Стасенко В. Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе. — Метеорология и гидрология, 2013, №1, с. 5—11.
 3. Михайловский Ю. П. Методика и результаты самолетных воздействий на электризацию конвективных облаков. — Труды ГГО, 2015, вып. 577, с. 197—211.
 4. Михайловский Ю. П., Синькевич А. А. Абшаев А.М., Аджиев А.Х., Кашлева Л.В. О контроле электрического генератора конвективных облаков для прогноза и диагноза опасных явлений погоды. Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Часть 1. Изд. АЭТЕРНА, Нальчик, 2017, с.320- 327.
 5. Михайловский Ю.П., А. А. Синькевич, С. Д. Павар, В. Гопалакришнан, Ю. А. Довгалюк, Н. Е. Веремей, Е. В. Богданов, А. Б. Куров, А. Х. Аджиев, А. М. Малкарова, А. М. Абшаев. Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза и диагноза электрического состояния облаков. — Метеорология и гидрология, 2017, № 6, с. 31—45
 6. Синькевич А. А., Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Михайловский Ю. П. Слияние конвективных облаков. – СПб. 2018. – 280 с.
 7. Синькевич А.А., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Михайловский Ю.П., Попов В.Б. Слияние конвективных облаков. Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Часть 1. Изд. АЭТЕРНА, Часть 1. Нальчик, 2017, с.141- 146.
 8. Sinkevich A.A. , T.W. Krauss Changes in thunderstorm characteristics due to feeder cloud merging. J. of Atmospheric Research., Volume 142, 1 June 2014, Pages 124–132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres>.
- Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 16-05-00197_a, 17-05-00965_a, БРИКС_t 18-55-80020.*

The work was prepared with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, grants 16-05-00197_a, 17-05-00965_a, BRICS_t 18-55-80020.