

Т.Е. Данова, к.г.н.

Одесский государственный экологический университет

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОЧНЫХ ГРОЗ В ПРИЧЕРНОМОРЬЕ

Исследуются радиолокационные характеристики ночных гроз в Причерноморье, обнаруженных и локализованных их с помощью разработанного критерия: $Y_{\lambda 10 \max}$. Определены статистические характеристики основных параметров радиоэха. Проведена классификация ночных гроз по структурно-морфологическим признакам, выявлены направление и скорость перемещения облачных ячеек.

Ключевые слова: *ночные грозы, радиолокационные характеристики, критерий грозоопасности, классификация ночных гроз*

Введение. Ночные грозы в Причерноморье – явление малоизученное. В настоящее время существует целый ряд разработок, позволяющих с высокой степенью вероятности обнаруживать и локализовать по косвенным признакам грозовые облака с помощью метеорологического радиолокатора. Характерной особенностью радиоэха кучево-дождевых облаков является высокая отражаемость от таких облаков электромагнитных сигналов.

Индикация радиоэха облаков обычно исключает непосредственное разделение их на грозовые и ливневые, использование ряда радиолокационных параметров, отражающих физический механизм возникновения грозы, позволяет решать эту задачу довольно успешно [1, 2]. Для Причерноморья, где индикация града проводится на длине волны 10 см, был рассчитан критерий грозоопасности для МРЛ-5 в виде (1)

$$Y_{\lambda 10 \max} = H_e \lg Z_{10 \max} \cdot \quad (1)$$

Величина отраженного максимального сигнала радиоэха облаков, полученная на длине волны 3,2 см, что характерно для МРЛ-2, в большей степени подвержена изменчивости, в силу поглощения сигнала в области крупных капель, чем $\lg Z_{10 \max}$. Использование критерия грозоопасности $Y_{\lambda 10 \max}$ позволяет обнаруживать практически все грозы в радиусе до 100 км [3]. Основной задачей данной работы является обнаружение ночных гроз в Причерноморье и локализация их с помощью $Y_{\lambda 10 \max}$.

Исходные данные и методика исследования. В качестве исходного материала послужили данные непрерывных радиолокационных наблюдений за эволюцией конвективных облаков на противоградовом полигоне и прилегающей к нему территории площадью около 30 000 км², в комплексе с материалами температурно-ветрового зондирования, аэросиноптическими данными и результатами наземных наблюдений за грозой в период апрель-сентябрь 1986-1994гг. Достаточно высокая плотность наземных пунктов наблюдения, сравнимая с размерами радиоэха конвективных облаков, и темное время суток наблюдения (21-06^h) позволили зафиксировать практически все случаи гроз. За случай с грозой принималась дата обнаружения хотя бы одной грозовой облачной ячейки, локализованной с помощью критерия грозоопасности $Y_{\lambda 10 \max}$.

Результаты исследования и их анализ. Используемые для анализа радиолокационные характеристики ночных гроз включали:

- максимальную радиолокационную отражаемость $\eta_{\max 10}$, см^{-1} ;
- высоту верхней границы радиоэха облака $H_в$, км;
- площадь радиоэха облаков с изоконтурными $\eta = 10^{-12}; 10^{-11}; 10^{-9}$, см^2 ;
- превышение зоны повышенной отражаемости $\Delta H_{\Delta\eta}$, км, над уровнем H_0 .

Время наблюдения за облачной ячейкой составляло от нескольких десятков минут до 1,5-2,5 часов. Однородность радиолокационной информации обеспечивалась калибровкой станции по эталонной цели с известным поперечным сечением.

В соответствии с табл. 1, число дней с грозой n обладает значительной изменчивостью в течение теплого полугодия: от нуля в отдельные годы в апреле и сентябре и до 14 случаев (май 1993 года). За исследуемый период число ночных гроз за сезон колеблется от 22 (1988г.) до 31 (1989г.).

Еще большей изменчивостью характеризуется количество грозовых ячеек N , обнаруженных в одну дату. Так, если в апреле и сентябре число таких радиоэхо меняется в пределах 0-7 и 0-13 соответственно, то в летние месяцы границы изменчивости гораздо шире – от 14- до 51 в июне, от 9 до 41 в июле и от 4 до 34 в августе. Наибольшее отклонение N_{\max} и N_{\min} равно 60, приходится на май. В среднем за одну ночную грозу в регионе обнаруживается пять грозовых ячеек.

Установлено, что летние ночные грозы имеют в основном фронтальный характер, причем в 76% случаев это холодные атмосферные фронты различного генезиса, в 15% случаев грозы возникают на фронтах окклюзии, в 5% – на теплых фронтах. В отдельных случаях, в основном во второй половине сентября, ночные грозы могут возникнуть в результате внутримассового развития облаков над теплой морской поверхностью. На долю таких процессов приходится 4% случаев от всех ночных гроз.

Таблица 1 – Число дней с ночной грозой n (числитель) и количеством обнаруженных грозовых ячеек N (знаменатель) за период апрель-сентябрь 1988-1994гг.

Годы	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Сумма за период	\bar{n} грозовых ячеек за один процесс
1988	0/0	1/3	9/43	7/41	4/20	1/2	22/109	5
1989	1/6	7/31	11/51	5/32	5/22	2/5	31/147	4,7
1990	0	6/22	5/41	4/26	6/34	5/13	26/136	5,2
1991	1/1	4/20	4/33	7/47	6/24	2/5	24/130	5,4
1992	1/4	10/39	6/39	6/27	4/21	2/7	29/137	4,7
1993	0	14/63	3/14	1/9	2/4	3/13	23/103	4,8
1994	1/7	6/38	7/47	5/24	5/24	0/0	24/140	5,8
Сумма за месяц	4/18	48/216	45/268	35/206	32/149	15/45	179/902	35,6
\bar{n}	4,5	4,5	6,0	5,9	4,7	3,0	5,0	5,0

Для выявления статистических закономерностей основных параметров радиоэха ночных гроз рассчитывались их максимальные и минимальные значения, определяющие границы изменчивости, дисперсия σ^2 , среднее квадратическое отклонение σ , коэффициент асимметрии As и эксцесс E.

Для удобства расчетов значений радиолокационной отражаемости $\eta_{\max 10}$ (см⁻¹) принималось в виде 10^{-8} , помноженное на коэффициент, соответствующий отражательной способности облачной ячейки. Результаты расчета статистических характеристик параметров радиоэха для ночных грозовых ячеек приведены в табл 2.

В соответствии с приведенными данными, среднее значение H_g для грозовых ячеек, наблюдаемых в ночное время суток, составляет 11,2 км, а диапазон изменения – от 18,2 км до 5,9 км. Такой разброс значений H_g объясняется тем, что выборка ночных гроз включает в себя как грозы с ливнями, так и грозы с градом. По аналогии с H_g большой изменчивостью обладают значения, как вертикальной мощности радиоэха облаков, так и вертикальной протяженности холодной части ΔH_- . Мощность зоны повышенного радиоэха $\Delta H_{\Delta\eta}$, соответствующей области наиболее крупных частиц в облаке, подвержена значительно меньшей изменчивости. Расположенная выше уровня H_0 , она практически характеризует переохлажденную крупнокапельную часть облака.

Таблица 2 – Статистические характеристики параметров радиоэха облачных ячеек при ночных грозах

Параметры радиоэха	Среднее	Max	Min	σ	σ^2	As	E
H_g , км	11,2	18,2	5,9	2,9	8,4	0,61	0
ΔH , км	9,6	16,5	4,9	2,0	4,1	0,14	-0,9
ΔH_- , км	8,1	15,3	3,6	2,6	6,8	0,69	1,2
$\Delta H_{\Delta\eta}$, км	4,9	10,6	2,2	1,9	3,9	-0,17	-1,0
$\eta_{\max 10} (10^{-8})$	0,3	70	0,03	13	162	3,1	15,6

Для распознавания явления «гроза» необходимо учитывать значение максимальной радиолокационной отражаемости $\eta_{\max 10}$. Эта характеристика является самой информативной; отражая спектр облачных частиц и количество, она косвенно определяет водность облаков. Максимальная отражаемость грозовых ячеек приходится на интервал $2 \cdot 10^{-10} \dots 7 \cdot 10^{-7}$, см⁻¹, а минимальное за исследуемый период составило $2 \cdot 10^{-11}$, см⁻¹.

Площадь радиоэха грозовых ячеек, снятая на высотах в интервале температур от +5 до -5°C при значениях изоэха $1 \cdot 10^{-11} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ (см⁻¹), также подвержена значительной изменчивости. Анализ показало, что площади облачных ячеек с ночными грозами, полученные при значениях изоконтур радиоэха, равного $1 \cdot 10^{-10}$ (см⁻¹), могут меняться в широком диапазоне от 85 до 1260 км².

Независимо от типа синоптического процесса, для возникновения грозовых облаков необходимо наличие высотного циклона или термодинамической ложбины над Черным морем и неустойчивая стратификация атмосферы.

Ночные грозы в Причерноморье можно разделить на три группы: грозы, возникающие непосредственно в ночное время, составляют около 33% от всех ночных гроз; дневные грозоградовые процессы, сохраняющие активность и в ночные часы (58%), и чрезвычайно мощные, интенсивные процессы, наблюдающиеся в течение длительного времени (сутки, иногда двое-трое суток). На долю таких гроз приходится 9%.

В соответствии с классификацией грозоградовых процессов, ранее проведенной для Причерноморья по структурно-морфологическим признакам радиоэха конвективных облаков [4], преимущественное большинство ночных гроз реализуется в виде многоячейковых мезоструктур. Примерно четверть всех гроз относится к одноячейковым процессам, состоящих из одной ячейки, продолжительность существования которой не превышает одного часа. На долю особо интенсивных и длительных суперячейковых процессов приходится около 5% ночных гроз. Наибольшую опасность представляют долгоживущие суперячейковые процессы. В табл. 3 приводятся основные характеристики радиоэха суперячейковых грозоградовых облаков, наблюдавшихся в ночные часы.

Таблица 3 – Основные характеристики радиоэха грозоградовых суперячеек за период 1988-1994гг.

Дата	Время	Длина траектории, км	$H_{в\ max}$, км	$H_{\Delta\eta\ max}$, км	Площадь, км ²		Ведущий поток
					S_{-12}	S_{-9}	
7.06. 1990г.	18 ⁵⁵ -22 ¹⁷	>200	17,6	11,8	2260	1180	290-75
	21 ⁵² -23 ⁴⁸	100	12,4	10,6	850	92	290-75
24.06. 1993г.	20 ³¹ -22 ⁴⁰	110	18,2	13,0	2100	990	260-60

В целом для всей выборки ячеек с ночными грозами характерно преобладание западного переноса, а наиболее часто встречающаяся скорость перемещения приходится на интервал 21-30 км/ч (табл. 4, 5).

Таблица 4 – Направление перемещения радиоэха облачных ячеек с ночными грозами (повторяемость в %)

Направление, румбы								Число случаев
С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
15	6	8	5	10	12	38	6	232

Таблица 5 – Скорость перемещения облачных ячеек с ночными грозами (повторяемость в %)

Скорость, км/ч						Число случаев
≤10	11-20	21-30	31-40	41-50	>50	
7	23	29	20	11	10	100

Выводы. Ночные грозы в Причерноморье – явление достаточно частое, примерно 35-40% грозовых ячеек приходится на ночные часы. В среднем, за процесс обнаруживается 52 грозовых ячейки, наибольшее их количество наблюдается в июне – 38 ячеек, наименьшее – в апреле и сентябре. В 25-30% случаев ночные грозы сопровождаются выпадением града.

Максимальная радиолокационная отражаемость $\eta_{\max 10}$ является самой информативной; отражая спектр облачных частиц и количество, она косвенно определяет водность облаков и изменяется в интервале $2 \cdot 10^{-10} \dots 7 \cdot 10^{-7}$, см^{-1} .

Площадь радиоэха грозовых ячеек, снятая на высотах в интервале температур от +5 до -5°C может меняться в широком диапазоне от 85 до 1260 км^2 .

Ночные грозы в Причерноморье можно разделить на три группы: грозы, возникающие непосредственно в ночное время – 33% от всех ночных гроз; дневные грозоградовые процессы, сохраняющие активность и в ночные часы – 58%, и мощные, наблюдающиеся в течение длительного времени (сутки, иногда двое, трое суток) – 9%.

В целом для всей выборки ячеек с ночными грозами характерно преобладание западного переноса, а наиболее часто встречающаяся скорость перемещения приходится на интервал 21-30 км/ч .

Список литературы

1. Руководство по производству наблюдений и применению радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 334с.
2. Гишина С.Б., Сальман Е.М. Статистические особенности радиолокационных характеристик конвективных облаков в различных физико-географических условиях. ТР. ГГО, 1960, вып.243, – с. 12-15.
3. Данова Т.Е. К вопросу об индикации гроз на юге Одесской области. «Метеорология и гидрология», 1999, вып.39, – с.70-74.

Radiolocation descriptions of nightly thunderstorms in region of coast of black sea.

DANOVA T.E.

Radiolocation descriptions of the nightly thunderstorms in the region of coast of black sea, discovered and localized them by the developed criterion, are explored: $Y_{\lambda 10 \max}$. Statistical descriptions of basic parameters of radioeha are definite. Classification of nightly thunderstorms on structural-morphological signs is conducted, direction and speed of moving of cloudy cells are exposed.

Keywords: radiolocation descriptions of the nightly thunderstorms, classification of nightly thunderstorms.

Радіолокаційні характеристики нічних гроз в причорномор'ї.

Данова Т.Є.

Досліджуються радіолокаційні характеристики нічних гроз в Причорномор'ї, які були виявлені та локалізовані за допомогою розробленого критерію: $Y_{\lambda 10 \max}$. Визначені статистичні характеристики параметрів радіолуни. Проведена класифікація нічних гроз за структурно-морфологічними признаками, виявлені напрям та швидкість переміщення хмарних осередків.

Ключові слова: нічні грози, радіолокаційні характеристики, критерій гроzoneбезпечності, класифікація нічних гроз