

*А.В. Снегуров, В.С. Снегуров, Г.Г. Щукин*

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРОЗАМИ,  
СИСТЕМАМИ ПЕЛЕНГАЦИИ ГРОЗ И МРЛ**

*A.V. Snegurov, V.S. Snegurov, G.G. Shchukin*

**METHODS AND RESULTS OF LIGHTNING OBSERVATIONS  
WITH LIGHTNING DETECTION NETWORKS  
AND WEATHER RADARS**

*Приведена методика обработки данных совместных измерений МРЛ с различными системами пеленгации гроз. Применение однопунктового грозопеленгатора и дальномеров увеличивает на 10–15 % вероятность распознавания гроз МРЛ. Использование многопунктовой системы пеленгации гроз повышает точность измерения координат грозовых разрядов до 1 км, исключает появление ложных тревог, характерных однопунктовыми системами, и увеличивает вероятность распознавания гроз МРЛ на 25–30 %.*

*Ключевые слова: метеорологические радиолокаторы, грозопеленгаторы, пеленгация гроз.*

*The paper presents results of data processing of simultaneous lightning registration with the help of weather radars and lightning detection networks. Analysis shows that application of a one-station direction range finder increases efficiency of lightning detection with weather radars by 10%–15%. Simultaneous operation of a lightning detection network and weather radars allows us to achieve 1 km accuracy of radar thunderstorm detection, excludes instances of false alarms and increases thunderstorm detection efficiency with weather radars by 25–30 %.*

*Key words: weather radars, thunderstorm detection stations, thunderstorm detection.*

В развитие радиолокационно-пеленгационного метода наблюдений за грозами, подробно изложенного в работах [Бару, 1975; Болондинская, 1978; Гальперин, 1964; 1969, 2001; Корниенко, Павлова, 1975; Методические указания, 1974; Руководство, 1974, 1993; Снегуров, 2001, 1997; Степаненко, 1983], в грозовые сезоны 2004–2005 гг. в п. Воейково Ленинградской области на базе НИЦ ДЗА были проведены совместные наблюдения за конвективными облаками радиолокационной станцией МРЛ-5 (далее по тексту МРЛ) и однопунктовым грозопеленгатором-дальномером (ОГПД) версии «Алвес 2» [Снегуров, 2001, 1997]. В 2004 г. дополнительно привлекались данные визуальных наблюдений наземных метеорологических станций и пеленгационной системы местоопределения гроз (ПСМГ).

Опыт обработки данных совместных наблюдений за грозами наземными метеостанциями и МРЛ в зоне до 200 км за 20 августа 2004 г. показал, что они совместно распознают правильно грозы в 14 % случаев, метеостанции фиксируют грозы, а МРЛ их не «видит» в 2 % случаев и в 84 % случаев МРЛ «видит» грозы, а метеостанции нет. Аналогичные цифры получены при обработке ре-

зультатов наблюдений за другие грозовые дни августа и сентября 2004 г. Низкая эффективность наземных наблюдений – а этим только можно объяснить приведенные выше цифры – не позволила объективно дать оценку вероятности правильного распознавания грозовых очагов МРЛ и системами пеленгации гроз. По этой причине в дальнейших исследованиях использовались только данные измерений МРЛ, ОГПД и ПСМГ.

МРЛ оснащен аппаратно-программным обеспечением «Мерком», которое позволяет проводить аналогово-цифровую обработку видеосигнала, вычисление основных радиолокационных критериев грозовой опасности конвективных облаков, формировать файлы с данными измерений основных радиолокационных параметров и специальные файлы, содержащие информацию по ячейкам  $4 \times 4$  км о радиолокационной отражаемости конвективных облаков на уровнях  $Lg(z) > -2,4$  за сеанс наблюдений. МРЛ, ОГПД с аппаратно-программным обеспечением «Алвес 2» и ПСМГ работали независимо. ОГПД ежеминутно формировал текстовые файлы, которые по локальной сети транслировались на сервер, куда также переписывались файлы с данными МРЛ. На сервере специальная программа версии «Алвес 2,3» объединяла данные измерений МРЛ и ОГПД. Интервал измерений радиолокационной станцией составлял 3–4 мин. Объединенный файл данных МРЛ и ОГПД обобщал данные за такой же период измерений.

Для определения вероятностных параметров распознавания гроз МРЛ использовались четыре варианта обработки информации.

**Первый вариант.** Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и пеленгатора, работающего в составе ОГПД. Другими словами, направление на грозовые разряды (грозовой очаг) определялось пеленгатором, а дальность – МРЛ. В определенной степени этот вариант повторял методики обработки данных совместных наблюдений МРЛ с МАРП СДВ [Гальперин, 1964] и ПАГ-1 [Бару, 1975; Гальперин, 1969]. Различие состоит в том, что в данном эксперименте исключены результаты визуальных наблюдений, обработка и представление информации полностью автоматизированы.

Программа-обработчик пеленгатора ОГПД автоматически проводит в объединенных файлах поиск ячеек  $4 \times 4$  км с отражаемостью  $Lg(z) > 0,6$ , находящихся по азимутам на грозовые разряды и вписывающихся в указанные размеры ячеек. При совпадении данных измерений ячейки на карте выделялись контуром красного цвета. Сравнение данных пеленгатора ОГПД и МРЛ проводилось по интервалам длительностью 3–4 мин, соответствующей времени одного сеанса МРЛ. Количество сеансов МРЛ определялось дежурным оператором в зависимости от метеорологической обстановки. ОГПД работал круглосуточно. Время обновления информации было постоянным и составляло одну минуту. Сопоставление данных МРЛ и пеленгатора проводилось следующим образом. В тех случаях, когда на карте МРЛ в ячейках  $30 \times 30$  км наблюдались зоны радиоэхо, которые идентифицировались как грозы с различной вероятностью (на

карте отмечались значками R, R] и [R]), и в эти ячейки вписывались ячейки 4×4 км с отметкой грозы (с контуром красного цвета), по данным пеленгатора считалось, что данные о местоположении грозовых очагов совпадают и они распознаны. Если ячейки 4×4 км с отметкой грозы по данным пеленгатора, вписывающиеся в ячейки 30×30 км на карте МРЛ, не подтверждались отметкой МРЛ о грозе, то считалось, что МРЛ пропустил грозу. Третий случай, когда очаги в ячейках 30×30 км по данным МРЛ идентифицировались с различной вероятностью как грозовые, а пеленгатор не регистрировал гроз по этим направлениям, то считалось, что МРЛ дает ложные тревоги. Последние два случая можно интерпретировать с другой точки зрения. Если ячейки 4×4 км с отметкой грозы по данным пеленгатора, находящиеся в ячейках 30×30 км МРЛ, не подтверждаются его отметкой о грозе, то следует считать, что пеленгатор ОГПД дает ложную тревогу. Если в ячейках 30×30 км по данным МРЛ наблюдалась гроза, а пеленгатор ОГПД ее не отмечал, то следует считать, что пеленгатор ОГПД дает пропуски.

**Второй вариант.** Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и данные пеленгатора-дальномера (в нашем случае использовался вариант широкополосного амплитудного Е-дальномера), работающего в составе ОГПД. Направление на грозовые разряды и дальность определялись независимо от МРЛ. Этот вариант повторял методику обработки данных совместных наблюдений МРЛ и ОГПД «Очаг-2П» [Болондинская, 1978]. Отличался полной автоматизацией измерений МРЛ и аппаратно-программным обеспечением ОГПД «Алвес 2» [Снегуров, 1997]. В последнем, в зоне до 210 км, использовались ячейки 30×30 км, в которых накапливалась информация о молниевых разрядах за интервалы наблюдений от одной минуты и более. Считалось, что в ячейке наблюдается грозовой очаг, если за интервал наблюдений ОГПД зарегистрировано 2 и более грозовых разрядов. В этом случае ячейка выделялась контуром красного цвета и в ней указывалось число грозовых разрядов. Наличие гроз в ячейках отмечалось контуром красного цвета независимо от того, совпадает ли она с ячейками 4×4 км или 30×30 км на карте МРЛ, показывающих степень радиолокационной отражаемости, или нет. Сравнение данных пеленгатора-дальномера и МРЛ проводилось по интервалам длительностью 3–4 мин. Сопоставление данных МРЛ и пеленгатора-дальномера проводилось следующим образом. Грозовые очаги по данным МРЛ, идентифицированные с различной вероятностью опасности, считались распознанными правильно, если ячейки по данным МРЛ и пеленгатора-дальномера совпадали. В тех случаях, когда на карте МРЛ в ячейках 30×30 км наблюдались зоны радиоэхо, которые идентифицировались как грозы с различной вероятностью, но они не подтверждались данными пеленгатора-дальномера, считалось, что МРЛ дает ложные тревоги. Если ячейки 30×30 км с отметкой грозы по данным пеленгатора-дальномера не подтверждались отметкой МРЛ о грозе, то считалось, что МРЛ пропустил грозу.

**Третий вариант.** Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и данные пеленгатора-дальномера ОГПД. Третий вариант отличался от второго тем, что в нем обязательным условием является совпадение данных по ячейкам  $30 \times 30$  км с данными МРЛ по ячейкам  $4 \times 4$  км на карте пеленгатора-дальномера. При этом в ячейку  $30 \times 30$  км карты пеленгатора-дальномера должна попадать хотя бы одна ячейка  $4 \times 4$  км с отражаемостью  $Lg(z) > 0,6$ . Если в предыдущем варианте обработки данных условием выделения ячейки являлось наличие в ней двух и более грозовых разрядов, то в этом случае достаточно зарегистрировать только один разряд. Грозовой очаг считался определенным правильно, если ячейка  $30 \times 30$  км, выделенная по данным пеленгатора-дальномера зеленым цветом, совпадала с ячейкой  $30 \times 30$  км, которая по данным МРЛ идентифицировалась как грозовая с любой степенью вероятности. В том случае, когда ячейка  $30 \times 30$  км выделена пеленгатором-дальномером зеленым цветом и в нее попадает одна и более ячеек  $4 \times 4$  км с некоторой радиолокационной отражаемостью на карте пеленгатора-дальномера, но МРЛ их не идентифицирует как грозовые, считалось, что МРЛ пропустил грозу. Случаи, когда МРЛ идентифицировал очаг как грозовой с различной степенью опасности, а пеленгатор-дальномер не отмечал грозу в этот период измерений считалось, что МРЛ дает ложные тревоги.

**Четвертый вариант.** Сравнивались между собой данные наблюдений МРЛ и данные ПСМГ. Координаты грозовых разрядов определялись независимо от МРЛ. Этот случай повторяет вариант 2 совместной, но независимой регистрации гроз пеленгатором-дальномером и МРЛ. При обработке данных совместных измерений считалось достаточным наличие только одного разряда для подтверждения данных МРЛ по ячейкам  $30 \times 30$  км. Сравнение данных ПСМГ и МРЛ проводилось по интервалам длительностью 3–4 мин.

Рассмотрим результаты обработки данных наблюдений пеленгатором ОГПД с МРЛ и ПСМГ с МРЛ за май–июнь 2004 г. Они представлены в табл. 1 и 2. В примечании таблиц отмечается, что когда данные МРЛ не подтверждены данными пеленгатора (ПСМГ), можно говорить о ложных тревогах МРЛ или эти грозовые очаги не «видит» пеленгатор ОГПД или ПСМГ и он является источником ложных тревог МРЛ. В этой ситуации говорят о пропусках гроз пеленгатором ОГПД или ПСМГ. Сравнение показаний МРЛ относительно различных систем пеленгации гроз интересно тем, что данные этих систем по разным вариантам увязываются с данными МРЛ. В первом случае данные МРЛ сравниваются с пеленгатором (первый вариант), во втором – с ПСМГ (четвертый вариант). Результаты обработки, представленные в табл. 1, показывают, что данные МРЛ о местоположении грозовых очагов с различной вероятностью (30–70, 70–90 % и более 90 %) подтверждены данными измерения пеленгов ОГПД в 38 % случаев. В 53 % случаев МРЛ давал с различной достоверностью отметку о грозе, в то время как пеленгатор ОГПД их не подтверждал и в 9 % случаев ОГПД отмечал грозу в конвективных облаках, которые по данным МРЛ не были грозовыми.

Если сравнивать данные в таблиц 1 и 2 в относительных единицах, то пеленгатор с МРЛ совместно обнаруживают на 18 % грозовых очагов больше, чем ПСМГ с МРЛ. Число случаев обнаружения грозовых очагов только МРЛ в первом варианте (возможно, это ложные тревоги МРЛ или пропуски пеленгатора) на 25 % меньше, чем при обработке данных по четвертому варианту (ПСМГ с МРЛ). Число обнаруженных грозовых очагов только пеленгатором и только ПСМГ составляет 9 и 2 % соответственно. Так как ПСМГ обладает высокими точностными характеристиками обнаружения грозовых разрядов, количество ложных тревог ПСМГ (пропусков МРЛ), случаев, когда ПСМГ регистрирует разряды за пределами контролируемой территории, не должно быть.

Таблица 1

**Результаты обработки данных наблюдений МРЛ и пеленгатором ОГПД  
в п. Воейково за май–июнь 2004 г.**

Вариант	Вероятность					Примечание
	[R]	R]	R	Сумма	%	
Число случаев регистрации гроз МРЛ и пеленгатором, %	41	36	23	100 %	38	Правильно обнаружены
Число случаев регистрации гроз только МРЛ, %	81	18	1	100 %	53	Ложные МРЛ или пропуски пеленгатора
Число случаев регистрации гроз только пеленгатором, %					9	Пропуски МРЛ или ложные пеленгатора
Сумма					100	

Таблица 2

**Результаты обработки данных наблюдений МРЛ и ПСМГ за май–июнь 2004 г.**

Вариант	Вероятность					Примечание
	[R]	R]	R	Сумма	%	
Число случаев регистрации гроз МРЛ и ПСМГ, %	37	40	23	100 %	20	Правильно обнаружены
Число случаев регистрации гроз только МРЛ, %	71	23	6	100 %	78	Ложные МРЛ или пропуски ПСМГ
Число случаев регистрации гроз только ПСМГ, %					2	Пропуски МРЛ или ложные ПСМГ
Сумма					100	

Следовательно, 2 % пропуска грозовых очагов МРЛ соответствует действительности. Эта цифра для пеленгатора составляет 9 %. Видимо, она несколько завышена из-за реальной регистрации пеленгатором удаленных гроз. Аналогично можно объяснить значительное различие числа случаев совместного обнаружения гроз МРЛ с пеленгатором (38 %), МРЛ с ПСМГ (20 %) и соответствующее число регистраций только МРЛ (число ложных тревог МРЛ или пропусков пеленгатором и ПСМГ) 53 и 78 % соответственно.

Отчасти это различие можно отнести за счет пропусков гроз ПСМГ на краях зоны контроля, но большая часть приходится на случаи, когда грозовые очаги находятся за пределами зоны контроля. Пеленгатор регистрирует и увязывает их (в соответствии с методикой обработки данных по первому варианту)

с ближайшими зонами радиоэхо негрозовых конвективных облаков. В результате количество совместно МРЛ с пеленгатором ОГПД обнаруженных очагов должно быть больше, чем МРЛ и ПСМГ. Этот вывод подтверждается данными таблиц 1 и 2. Рассмотрим возможные причины низкого числа совместных обнаружений грозовых очагов МРЛ с пеленгатором и МРЛ с ПСМГ. На рис. 1 приведены распределения вероятности распознавания гроз и ливней по критерию грозоопасности  $Y$ . Графики на рис. 1, обозначенные сплошными линиями, характеризуют вероятность правильного распознавания ливней (вероятность убывает от 70 % при  $Y = 10$  до 10 % при  $Y = 14$ ) и гроз (вероятность возрастает от 30 % при  $Y = 10$  до 90 % при  $Y = 14$ ). Эти данные взяты из Руководства по производству наблюдений с неавтоматизированных радиолокаторов [Руководство..., 1993]. Для сравнения пунктирными линиями обозначены данные по числу случаев (в %) совместного обнаружения грозовых очагов МРЛ с ПСМГ для трех значений  $Y$ , соответствующих вероятности правильного распознавания гроз  $R$ ,  $R]$  и  $[R$ , и аналогичные данные только по МРЛ, взятые из табл. 2. Первая пара кривых [Руководство..., 1993] пересекается при  $Y = 11$  на уровне 50 %-ной вероятности обнаружения гроз и ливней. Вторая пара кривых следует изменениям первой пары.

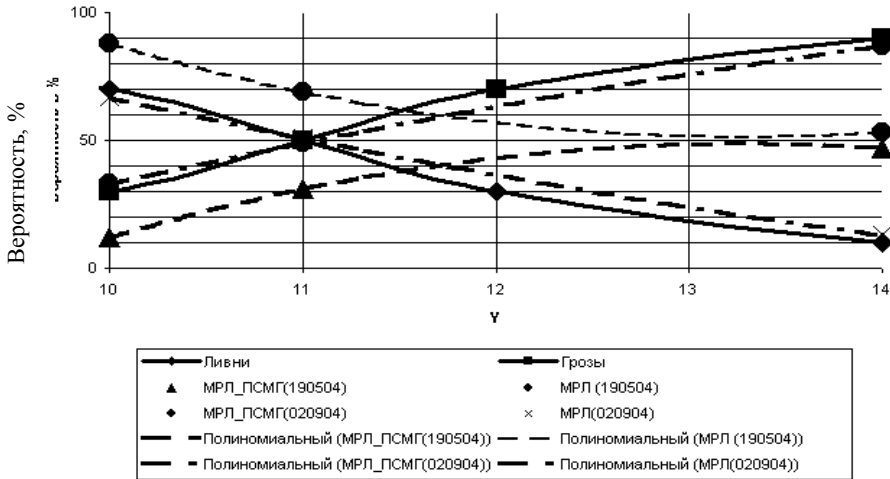


Рис. 1. Вероятность распознавания гроз и ливней в зависимости от критерия грозоопасности

Линии этой пары приближаются к уровню 50 %-ной вероятности при  $Y = 13$  и смещены вверх и вниз относительно линий первой пары от 18–20 % при  $Y = 10–11$  и до 40 % при  $Y = 14$ . Графики на рис. 1 показывают степень рассогласования рабочих и принятых в руководстве [Руководство, 1993] критериев грозоопасности.

Столь значительные вариации вероятности распознавания гроз МРЛ можно отнести в большей степени к нестабильности работы МРЛ, условиями развития грозовой активности в мае–июне 2004 г. и правильности выбора критерия грозоопасности. В меньшей мере это связано с нестабильностью работы пеленгатора ОГПД, в котором вероятностные характеристики обнаружения зависят только от изменения порогового уровня запуска регистрирующих устройств. В рабочей зоне пеленгатора до 200–300 км, на частотах от 0,3 до 60 кГц условия распространения радиоволн почти не влияют на характеристики приема сигналов.

В начале июля 2004 г. была проведена корректировка критерия грозоопасности «У» в программном обеспечении МРЛ. На рис. 1 приведены графики (третья пара отмечена штрих-пунктирными линиями), характеризующие вероятностные параметры обнаружения грозовых облаков совместно МРЛ с ПСМГ и МРЛ после корректировки У. Линии этой пары близки к линиям первой пары. Это говорит об увеличении вероятности правильного распознавания гроз МРЛ. Аналогичные изменения наблюдаются при сравнении данных МРЛ с пеленгатором ОГПД.



Рис. 2. Изменение вероятности правильного распознавания гроз (1), вероятности ложных тревог (2) и пропусков (3) МРЛ относительно данных пеленгатора ОГПД, совмещенного с МРЛ, до и после корректировки параметра грозоопасности «У»

На рис. 2 приведен пример гистограмм распределения вероятности правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропусков МРЛ по сравнению с данными пеленгатора ОГПД, программно совмещенного с МРЛ до и после корректировки параметра грозоопасности У. Анализ данных рис. 2 показывает, что в результате корректировки параметра грозоопасности У количество правильно распознанных гроз МРЛ 8 августа 2004 г. возросло до 76 %. Количество ложных тревог снизилось до 19 %, а количество пропусков составило 5 %. Следовательно, основным источником погрешности правильного распознавания гроз МРЛ, на первом этапе совместного эксперимента, был неточно выбранный

критерий грозоопасности  $Y$ . Поскольку пеленгатор ОГПД программно совмещен с МРЛ и использовался только для определения направления на грозовые разряды, не исключались случаи, когда очаги гроз находились по одному направлению, но на различных расстояниях. При такой ситуации пеленгатор не выделял как грозовые очаги ячейки  $4 \times 4$  км, удаленные на большие расстояния, а МРЛ их мог определять как грозовые. В результате число ложных тревог МРЛ могло вырасти на несколько процентов. С другой стороны, пеленгатор ОГПД может часть грозовых разрядов пропускать, что должно приводить к росту количества ложных тревог МРЛ. Экспериментально выделить источник подобной ошибки достаточно сложно. Рассматриваемые параметры достаточно изменчивы не только в разные дни, но и в течение суток.

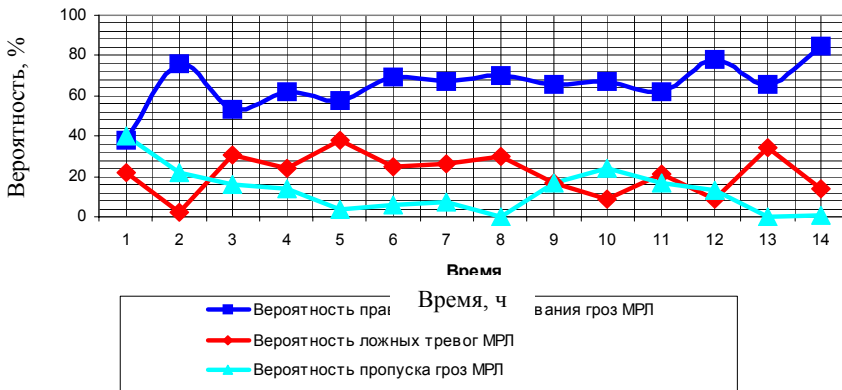


Рис. 3. Изменение во времени вероятности правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропусков МРЛ относительно данных пеленгатора ОГПД, программно совмещенного с МРЛ, в зоне до 200 км 2 сентября 2004 г.

На рис. 3 приведены графики изменения вероятностных характеристик обнаружения гроз МРЛ, программно совмещенного с пеленгатором в течение 14 ч совместных наблюдений 2 сентября 2004 г. Они показывают значительную изменчивость практически всех вероятностных параметров обнаружения гроз. Вероятность правильного распознавания грозовых очагов МРЛ изменяется от 38 до 85 %. Вероятности ложных тревог и пропусков меняются от 0 до 40 %, но в средних значениях вероятностные параметры составляют соответственно 68,9 % (вероятность правильного распознавания гроз МРЛ), 21,5 % (вероятность ложных тревог) и 9,6 % (вероятность пропусков). Так как вероятность пропуска грозовых разрядов пеленгатором может подниматься до 15 %, то количество ложных тревог МРЛ тоже может достигать этих значений. Следовательно, реальное число ложных тревог МРЛ в нашем случае составляет 5–6 %. Вероят-



ность пропуска грозовых очагов МРЛ 9–10 %, видимо, объясняется тем, что грозовые очаги на одном азимуте, но на различных расстояниях, не регистрируются. С другой стороны, значительное число ложных тревог пеленгатора (до 28 %) может полностью перекрыть потери данных за счет пропуска очагов, расположенных на одном азимуте.

Имеющиеся данные и соответствующее программное обеспечение позволили реализовать рассмотренные выше второй и третий варианты сравнения данных измерений координат молниевых разрядов с помощью грозопеленгатора-дальномера, программное обеспечение которого в одном варианте не учитывало зон радиоэхо по данным МРЛ (вариант второй) и при сравнении учитывало наличие зон радиоэхо МРЛ (третий вариант).

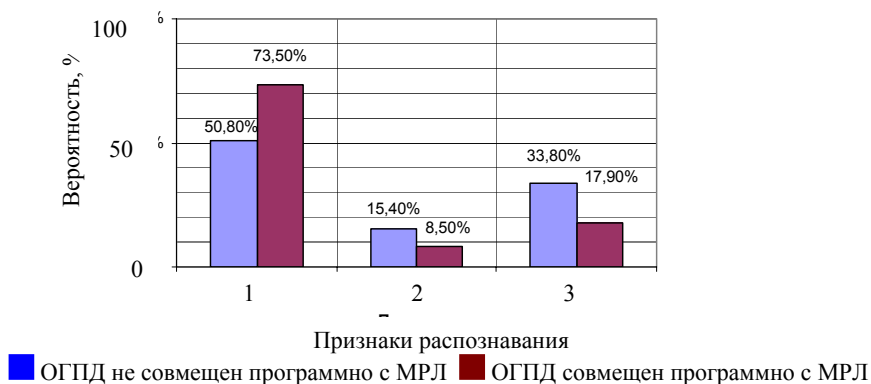


Рис. 4. Вероятности правильного распознавания (1), ложных тревог (2) и пропусков (3) МРЛ по отношению к данным ОГПД, программно не совмещенного с МРЛ

В результате обработки данных измерений были получены вероятностные параметры обнаружения гроз МРЛ, которые приведены на рис. 4. Вероятность правильного распознавания гроз МРЛ в первом случае на 22,7 % ниже, чем во втором. Вероятности ложных тревог и пропусков отличаются почти в два раза – 15,4; 8,5; 33,8 и 17,9 % соответственно. Значительные пропуски грозовых очагов по данным МРЛ относительно зарегистрированных очагов ОГПД могут объясняться тем, что ОГПД регистрирует почти до 28 % разрядов из зоны за пределами радиуса действия МРЛ. Более высокая вероятность распознавания гроз МРЛ по отношению к данным измерений ОГПД, программное обеспечение которого учитывает присутствие зон радиоэхо, объясняется тем, что привязка к этим зонам способствует снижению количества ложных тревог ОГПД и соответственно пропусков гроз МРЛ. Таким образом, происходит перераспределение вероятностных параметров обнаружения гроз МРЛ (вероятно-

сти правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропуска грозовых очагов) для вариантов обработки данных совмещенных и не совмещенных с данными ОГПД. Сравнение двух методик обработки данных говорит в пользу той, которая дает более высокие вероятностные параметры распознавания гроз МРЛ. Как первая методика, где используются данные пеленгатора, увязанные с зонами радиоэхо, так и третья методика, где данные амплитудного грозопеленгатора-дальномера ОГПД также увязаны с зонами радиоэхо, имеют существенный недостаток. Он сводится к простому случаю, когда не поступают данные МРЛ, практически отсутствует возможность определения местоположения зон грозовой активности. Этот эффект хорошо наблюдается при прохождении конвективных облаков с сильными ливневыми осадками над пунктом измерений. Осадки в значительной мере экранируют МРЛ. Это на некоторое время приводит к потере информации МРЛ, а вместе с ней при автоматизированной обработке данных измерений – и информации пеленгатора или пеленгатора-дальномера, данные которых увязываются с расположением зон радиоэхо. Видимо, наличие подобных явлений и, главное, достаточно низкие точностные параметры определения местоположения грозовых разрядов и облаков амплитудным методом в зоне до 300 км в итоге привели разработчиков новой версии методического руководства по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов [Руководство..., 1993] к мнению о нецелесообразности применения ОГПД в составе МРЛ. Это мнение является ошибочным уже по той причине, что применение однопунктовых пеленгаторов и пеленгаторов-дальномеров позволяет контролировать правильность работы МРЛ и его программного обеспечения. Примером этому служат данные, приведенные на рис. 2, где сравниваются показания МРЛ и пеленгатора ОГПД до и после корректировки параметра грозоопасности  $Y$ .

п

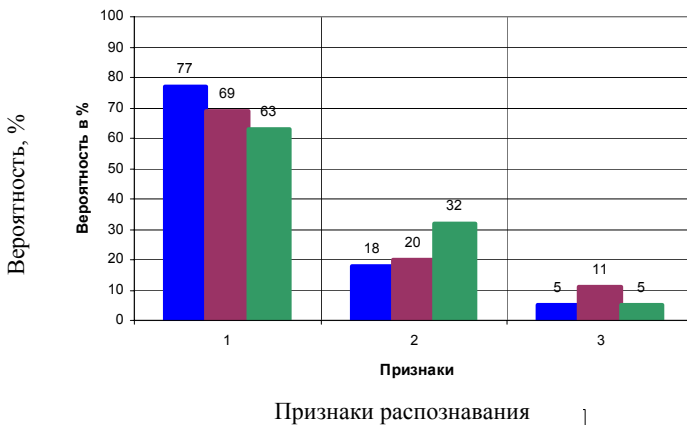


Рис. 5. Вероятность правильного распознавания гроз (1), ложных тревог (2) и пропусков (3) МРЛ по отношению к данным ПСМГ

Для определения координат молниевых разрядов ПСМГ использовалась избыточная информация. Это позволило провести отбраковку данных о координатах грозовых разрядов, пришедших от удаленных источников и с низкой точностью определения дальности. Методика обработки данных рассмотрена выше (четвертый вариант). Графики на рисунках 5 и 6 показывают, как меняются вероятности правильного обнаружения гроз, ложной тревоги и пропусков МРЛ в разные дни и часы. Вероятность правильного распознавания гроз МРЛ в разные дни меняется от 63 до 77 %, а в течение грозового дня может изменяться от 52 до 80 %. Причиной высокого числа ложных тревог МРЛ могут служить действительно его ложные тревоги и в 5–10 % случаев пропуски грозовых разрядов ПСМГ на краях зоны контроля. Существенным преимуществом ПСМГ является высокая точность измерения координат молний внутри системы и достаточно высокие вероятностные характеристики обнаружения гроз при правильном выборе схемы размещения базовых пунктов и расстояний между ними.

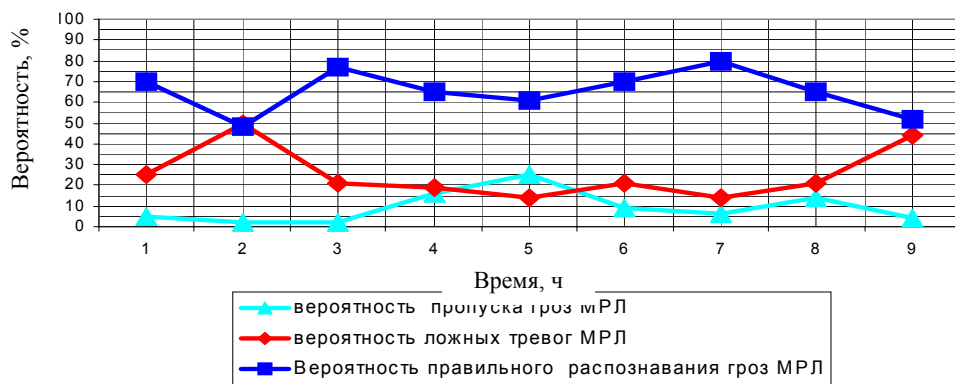


Рис. 6. Изменение во времени вероятности правильного распознавания гроз, ложных тревог и пропусков МРЛ относительно данных ПСМГ за 2 сентября 2004 г.

Наиболее важным условием является выбор расстояния между базовыми пунктами. Оно не должно превышать 200–300 км. В этом случае возможно построение многопунктовых систем, в том числе и ПСМГ, реализующих погрешность измерения дальности внутри системы в единицы километров. Высокую вероятность обнаружения грозовых разрядов (до 90–95 %) можно обеспечить за счет правильного выбора чувствительности пороговых устройств пеленгаторов и геометрии расположения базовых пунктов. Так как координаты грозовых разрядов определяются по пеленгам, измеренным минимум в двух пунктах, вероятность совместного обнаружения разряда будет более 90 %. Высокая точность измерения координат молний практически исключает появление ложных тревог

ПСМГ. От 2 до 10 % пропусков грозových очагов МРЛ будут переведены в вероятность правильного распознавания гроз. Таким образом, закрывается вопрос о правильности оценки вероятности пропуска грозových очагов МРЛ в зоне контроля ПСМГ. Высокая вероятность обнаружения грозových разрядов и точность измерения их координат позволяет проводить сравнение с данными МРЛ в тех случаях, когда ПСМГ за заданный временной интервал зарегистрировала один грозовой разряд. В результате вероятность правильного распознавания грозových очагов при совместной работе МРЛ и ПСМГ дополнительно увеличивается на 8–20 %. В итоге применение ПСМГ совместно с МРЛ позволит увеличить на 25–30 % вероятность распознавания гроз.

### Литература

1. *Гальперин С.М.* Распознавание грозových разрядов в ливневых очагах при радиолокационных наблюдениях атмосферных образований с помощью пеленгатора гроз // Информ. сб. НИО ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1964, № 68, с. 26–29.
2. *Гальперин С.М.* К вопросу о совместном использовании грозопеленгаторов-дальномеров и РЛС метеорологического назначения // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО), 2001, вып. 3(549), с. 147–153.
3. Грозопеленгатор-дальномер для систем метеообеспечения / *Снегуров А.В., Огуряева Л.В., Снегуров В.С., Щукин Г.Г.* // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО), 2001, вып. 3(549), с. 190–199.
4. Использование грозопеленгатора-дальномера совместно с метеорологическим радиолокатором в горных условиях / *Болондинская Л.С., Брылев Г.Б., Корниенко Г.Г., Плотников В.Д.* // Труды ГГО, 1978, вып. 411, с. 48–54.
5. *Корниенко Г.Г., Павлова Г.П.* Использование грозопеленгатора-дальномера совместно с метеорологическим радиолокатором МРЛ для повышения эффективности обнаружения гроз // Труды ГГО, 1975, вып. 358, с. 104–107.
6. Методические указания по применению грозопеленгатора ПАГ-1 совместно с МРЛ. – Л.: ГГО, 1974. – 26 с.
7. Результаты использования грозопеленгатора ПАГ-1 в составе метеорологического радиолокатора МРЛ-2 для обнаружения гроз / *Бару Н.В., Брылев Г.Б., Колоколов В.П., Корниенко Г.Г., Соломоник М.Е.* // Труды ГГО, 1975, вып. 358, с. 96–103.
8. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 344 с.
9. 9. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 358 с.
10. *Снегуров В.С.* Концепция сети пеленгации гроз // Труды НИЦ ДЗА (филиал ГГО), 1997, вып. 1(546), с. 92–104.
12. *Степаненко В.Д., Гальперин С.М.* Радиотехнические методы исследования гроз. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 204 с.