

Л.И. Дивинский, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова, А.С. Солонин, Т.Е. Симакина

**К ВОПРОСУ ОБ ОБНАРУЖЕНИИ ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ
ПО ДАННЫМ ДОПЛЕРОВСКОГО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
РАДИОЛОКАТОРА**

L.I. Divinsky, A.D. Kuznetsov, O.S. Seroukhova, A.S. Solonin, T.E. Simakina

**TO THE PROBLEM OF DETECTION CLOUDINESS AND PRECIPITATION
ACCORDING TO THE DOPPLER WEATHER RADAR DATA**

В статье представлены результаты исследования вероятности распознавания облачности и обнаружения осадков доплеровским локатором в летний период. Выявлены физико-географические особенности радиолокационного обнаружения осадков и распознавания облачности на территории исследования.

Ключевые слова: доплеровский метеорологический радиолокатор, достоверность обнаружения зон осадков, распознавание форм облачности.

The article presents the results of the study of probability and reliability of cloud recognition and detection Doppler locator precipitation in summer. Revealed physiographic features of radar detection and recognition of clouds and precipitation in the study area.

Key words: Doppler weather radar, the accuracy of detection of zones of precipitation, cloud shape recognition.

Введение

Несмотря на научно-технический прогресс, непрерывное развитие средств и методов анализа и прогноза атмосферных процессов, природные катастрофы продолжают наносить ощутимый ущерб экономике различных стран. Первые места занимают такие опасные явления погоды как катастрофические ливни, грозы, град, шквал, смерчи. При этом величина экономического ущерба, причиняемого этими явлениями, во многом зависит от заблаговременности их предсказания. Последнее определяет ту важную роль, которую играют технические средства, позволяющие оперативно обнаружить указанные опасные явления. Одним из таких наиболее эффективных средств является доплеровский метеорологический радиолокатор (ДМРЛ) [4, 5, 8].

Для наблюдения за изменением погоды и анализом ее состояния по всей территории земного шара расположены метеорологические станции и посты, проводящие в конкретные синоптические сроки наблюдения по единой программе. На сегодняшний момент общая тенденция направлена на сокращение постоянно обслуживаемых метеорологических станций и постов. Так в России до 1990 г. действовало 7 332 метеостанции, в 1992 г. — 5 654, а в 2002 г. — 4 898. В конце 2005 г. наземная наблюдательная сеть состояла уже только из 1 862 метеорологических станций и 3 097 гидрологических постов. Не исключено, что общая тенденция сокращения числа обслуживаемых метеорологических станций и постов будет продолжаться, и они будут заменяться

автоматическими станциями, не требующими повседневной работы специалистов и способными самостоятельно производить измерения основных параметров атмосферы, архивировать их и распространять информацию заинтересованным потребителям. Однако, на таких автоматизированных станциях нет возможности решать некоторые задачи распознавания погодных явлений, в том числе отмечать типы облачности, время начала и завершения ливня, грозы, града и т.д., особенно в тех случаях, когда эти процессы наблюдаются на некотором удалении от станции или поста. Ввод в эксплуатацию новых или модернизированных технических средств наблюдений требует разработки новых алгоритмов распознавания опасных природных явлений, проверка эффективности которых затруднена в связи с сократившимся количеством обслуживаемых метеорологических станций и постов. Приходится изыскивать, как это сделано в данной работе, специальные методы обработки информации для того, чтобы в условиях разряжённой сети наземных метеоизмерений можно было определить особенности и качество работы алгоритмов новых или модернизированных средств наблюдений.

Вместе с тем, заниматься подобного рода анализом рационально. Проведенные исследования позволят с приемлимой степенью надёжности проверить эффективность алгоритмов, в частности, использованных в новом доплеровском метеорологическом радиолокаторе ДМРЛ при распознавании опасных погодных явлений. И тогда, в какой-то мере, происходящее сокращение наблюдательной сети может быть скомпенсировано за счет все более широкого использования ДМРЛ, являющихся ценным источником метеорологической информации в режиме реального времени [2, 3, 6] и получающим в настоящее время широкое применение во всем мире. Они обладают обширным диапазоном возможностей и приспособлены к нуждам конкретной страны.

В данной работе выполнен анализ возможностей радиолокационного обнаружения осадков и распознавания облачности в летний период по данным ДМРЛ, расположенного в аэропорту Пулково Санкт-Петербурга [1]. В качестве эталонных данных была использована информация с расположенных в зоне обзора ДМРЛ метеостанций [7].

Для выполнения поставленной задачи были:

- проведены исследования полей облачности и осадков на основе сопоставления синхронных радиолокационных и станционных наблюдений на территории, ограниченной радиусом 150 км от ДМРЛ;
- проведены анализ пространственной структуры ошибок распознавания облачности и ошибок обнаружения осадков на территории исследования;
- выявлены физико-географические особенности радиолокационного обнаружения и распознавания облачности и осадков.

Вероятность распознавания облачности и обнаружения осадков доплеровским метеорологическим радиолокатором в летний период

При проведении исследования использовались синхронные радиолокационные и станционные наблюдения за два летних месяца 2012 г.: июль и август. Радиолокационные данные, полученные ДМРЛ с помощью автоматизированной системы

«Метеоячейка» [1] сравнивались с данными 12 наземных метеорологических станций Ленинградской области, находящихся в радиусе 150 км от ДМРЛ, по восьми стандартным синоптическим срокам. При этом фиксировались: тип облачности, наличие осадков, азимут и удаление явления от ДМРЛ.

На рис. 1 представлена карта расположения наземных метеорологических станций, данные которых использовались в настоящей работе, а в табл. 1 представлены основные характеристики этих станций.



Рис. 1. Карта расположения метеорологических станций в Ленинградской области

На основе сопоставления радиолокационной и станционной информации оценивалась вероятность радиолокационного распознавания облаков вида Q (Cb , Cu), N (Ns - As), S (St , Sc) и наличия осадков (здесь использована радиолокационная классификация облачности: Q — кучевая облачность; N — слоисто-дождевая облачность; S — слоистая облачность [1]). При этом принимались следующие условия:

- тип облачности считался распознанным ДМРЛ, если он подтверждался данными визуальных наблюдений на метеостанции;
- осадки считались обнаруженными ДМРЛ, если они подтверждались данными наблюдений на метеостанции;
- результаты наблюдений считались совпадающими, если максимальное расстояние между облачностью или осадками, обнаруженными ДМРЛ и метеостанцией, не превышало в горизонтальном направлении 4 км;
- результаты наблюдений считались совпадающими, если время регистрации облачности или осадков на метеостанции отличалось от срока радиолокационного наблюдения не более чем на 10 мин.

**Характеристики метеорологических станций,
данные наблюдений которых использовались в работе**

Местонахождение метеостанции	Географические координаты	Удаление станции от ДМРЛ, км	Направление станции от Пулково	Высота над уровнем моря, м
Кронштадт	N = 59°57'44' E = 30°41'05'	33	Запад	3
Шлиссельбург	N = 60°12'52' E = 31°29'10'	48	Восток	5
Белогорка	N = 59°20'58' E = 30°06'38'	51	Юг	101
Волосово	N = 59°25'18' E = 29°28'22'	58	Юго-Запад	117
Любань	N = 59°20'58' E = 31°14'30'	78	Юго-Восток	22
Озерки	N = 60°12'52' E = 29°01'11'	81	Северо-Запад	11
Сосново	N = 60°32'19' E = 30°19'36'	83	Север	40
Кингисепп	N = 59°20'58' E = 28°33'20'	104	Запад	27
Кириши	N = 59°20'58' E = 32°01'09'	113	Юго-Восток	29
Новая Ладога	N = 60°06'23' E = 32°20'59'	121	Северо-Восток	13
Выборг	N = 60°03'48' E = 28°42'22'	130	Северо-Запад	28
Николаевское	N = 58°33'24' E = 29°50'12'	139	Юг	26

Всего было рассмотрено 2085 сроков совместного наблюдения облачности и осадков. Количество рассмотренных объектов в анализируемый период составило 505 случаев конвективной облачности, 562 — слоистообразной, 626 — слоисто-дождевой, 392 — осадков. Полученное в результате проведенного сравнения количество зафиксированных случаев обнаружения кучевой, слоистой и слоисто-дождевой облачности, а также наличия осадков представлено в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, показал, что средняя достоверность обнаружения осадков составила 59,1 %, распознавания типов облаков: конвективной — 52,8 %, слоисто-дождевой — 64,3 %, слоистой — 69 %.

Наилучшее совпадение данных локатора с наблюдениями на станциях выявлено для пунктов Любань и Выборг. Вероятность обнаружения всех типов объектов здесь оказалась более 60 %. В районе следующих метеорологических станций: Кингисепп, Белогорка, Кириши, Новая Ладога, Озерки вероятность распознавания по всем типам объектов не превысила 60 %.

Таблица 2

Результаты сопоставления радиолокационных и станционных наблюдений

Удаление от ДМРЛ, км	По станциям	По данным МРЛ					Всего случаев	Достоверн., %
		Q	N	S	осадки	Р/э не обнаруж.		
0–50								
Кронштадт	Q	16	4		2	2	24	67
$R = 33$	N	1	24	15	1	1	42	57
	S		12	22			34	65
	осадки	8			13		21	62
Шлиссельбург	Q	12	1	3	1		17	71
$R = 48$	N		28	14		4	46	61
	S		9	24	2	2	37	65
	осадки	5		1	12		18	67
							239	
50–100								
Белогорка	Q	28	25	11	8	7	79	35
$R = 51$	N	9	47	9	2	6	73	64
	S	6	13	44		12	75	59
	осадки	17		2	25	4	48	52
Волосово	Q	27	6	2		11	46	59
$R = 58$	N	5	28	5			38	74
	S	8	12	45	4		69	65
	осадки	2		5	26	4	37	70
Любань	Q	28	5	2	2		37	76
$R = 78$	N	5	38	6	2	3	54	70
	S		9	36			45	80
	осадки	1	2	6	22		31	71
Озерки	Q	17	8	9		2	36	47
$R = 81$	N	7	29	12		6	54	54
	S		17	45			62	73
	осадки	12	3		17		32	53
50–100								
Сосново	Q	20	8	10	13	1	52	38
$R = 83$	N	1	34	9	1	2	47	72
	S		10	45		7	62	73
	осадки	9			17		26	65
							1003	
100–150								
Кингисепп	Q	18	31	13	6	10	78	23
$R = 104$	N	10	37	9		8	64	58
	S	3	20	44		10	77	57
	осадки	13		2	17	7	39	44

Продолжение таблицы 2

Удаление от ДМРЛ, км	По станциям	По данным МРЛ					Всего случаев	Достоверн., %
		<i>Q</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	осадки	Р/э не обнар.		
Кириши	<i>Q</i>	15	4			9	28	54
<i>R</i> = 113	<i>N</i>	3	16	2			21	76
	<i>S</i>	2	12	21	4	1	40	53
	осадки	8		7	16	7	38	42
Новая Ладога	<i>Q</i>	16	9	2	2		29	55
<i>R</i> = 121	<i>N</i>	9	19	6		1	35	54
	<i>S</i>		7	24		3	34	71
	осадки		4	11	21		36	58
Выборг	<i>Q</i>	19	6	7			32	59
<i>R</i> = 130	<i>N</i>	7	29	8		8	52	56
	<i>S</i>		2	33			35	94
	осадки	11			22		33	67
Николаевское	<i>Q</i>	23	7	7	10		47	49
<i>R</i> = 139	<i>N</i>		27	5		4	36	75
	<i>S</i>		8	42		6	56	75
	осадки	12		2	19		33	58
							843	

Если рассматривать отдельные типы облачности, то для кучевой облачности наибольшие значения вероятности правильного распознавания получены в районе станций Любань (76 %) и Шлиссельбург (71 %). Для слоисто-дождевой облачности наибольшие значения вероятности правильного распознавания получены в районе станций Кириши (76 %) и Волосово (74 %), а для слоистой облачности — в районе станций Выборг (94 %) и Любань (80 %).

Наибольшие вероятности обнаружения осадков получены в районе станций Любань (71 %) и Волосово (70 %).

Необнаруженные локатором конвективные облака относятся в большинстве случаев к слоисто-дождевым, особенно в радиусе до 50 км. Это может быть связано с неточностью критериев распознавания облачности. Велика вероятность случаев, когда радиолокатор классифицировал слоисто-дождевые облака как слоистые. В данном случае большее доверие следует оказывать наблюдениям локатора, так как в случае наличия сплошной облачности нижнего яруса облачность среднего яруса может быть не видима наблюдателем на станции. При «пропуске» осадков они распознаются в большинстве случаев как радиоэхо кучевых облаков.

Оценка вероятности радиолокационного распознавания типа облачности от радиуса обзора и направления на станции

Были проведены исследования зависимости вероятности радиолокационного распознавания типа облачности от расстояния между ДМРЛ и метеостанцией. В табл. 3

представлены полученные в результате такого исследования средние значения вероятности распознавания облачности в зависимости от указанного расстояния.

Таблица 3

Зависимость вероятности распознавания типа облачности (%) от расстояния между ДМРЛ и метеостанцией

Расстояние между ДМРЛ и метеостанцией, км	Достоверность, %		
	<i>Q</i>	<i>N</i>	<i>S</i>
0–50	69	59	65
50–100	51	67	70
100–150	48	64	70

На основании анализа данных таблицы можно отметить, что средние значения вероятности не превышают 70 %. При этом достоверность обнаружения слоистой облачности (*S*) с увеличением расстояния почти не изменяется, а для слоисто-дождевой облачности (*N*) наилучшая достоверность находится в радиусе 50–100 км. Неожиданным результатом оказалась низкая вероятность обнаружения кучевой облачности, причем последняя заметно снижается с увеличением расстояния от локатора.

На основе собранного материала был проведен анализ зависимости вероятности обнаружения осадков и распознавания облачности от азимута направления от ДМРЛ на метеостанцию и расстояния между ДМРЛ и метеостанцией. На его основе были построены диаграммы, представленные на рис. 2.

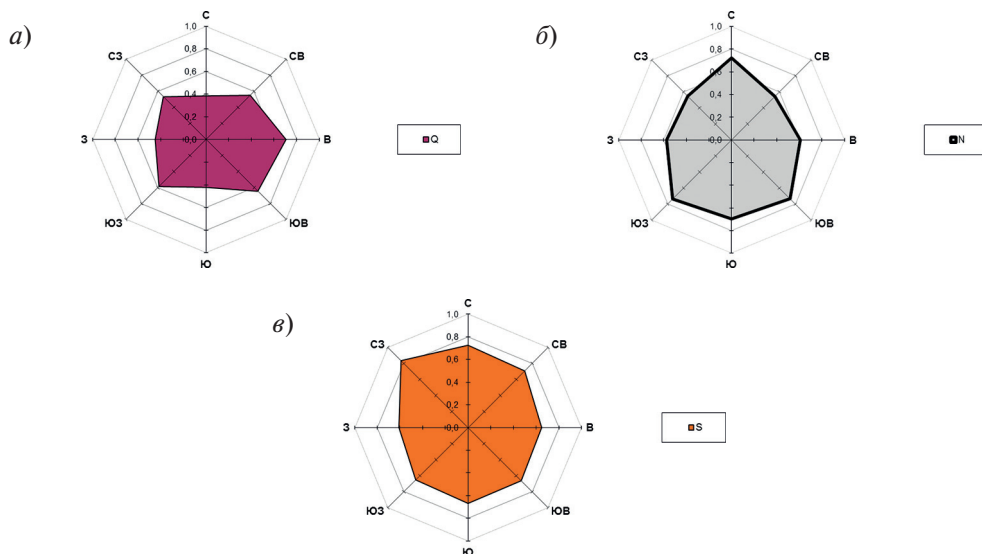


Рис. 2. Зависимость вероятности распознавания кучевой (а), слоисто-дождевой (б) и слоистой (в) облачности от азимута направления от ДМРЛ на метеостанцию

Диаграмма достоверности обнаружения кучевой облачности (Q) на рис. 2а показывает максимальное значение (71 %) в восточном направлении, минимальное значение (38 %) — в северном направлении. Аналогичные диаграммы были построены для облачности N и S (рис. 2б,в).

На диаграмме рис. 2б достоверности обнаружения слоисто-дождевой облачности примерно с равными значениями (70–73 %) представлены станциями, расположенными в северном, южном и юго-западном направлениях. Минимальное значение (54 %) — в северо-восточном направлении, максимальное значение (74 %) — в юго-восточном направлении.

Достоверность обнаружения слоистой облачности (рис. 2в) — приблизительно одинакова во всех направлениях, за исключением северо-западного.

Анализ полученных диаграмм позволяет сделать вывод о том, что направление расположения станций никак не влияет на достоверность обнаружения облачности.

Были исследованы случаи отсутствия радиоэха при наличии облачности (табл. 4).

Таблица 4

Зависимость количества случаев необнаружения радиоэха при наличии облачности от расстояния до метеостанции

Расстояние, км	Количество случаев отсутствия радиоэха			
	Q	N	S	осадки
0–50	2	5	2	0
50–100	14	17	19	8
100–150	19	21	20	14

Как видно из анализа табл. 4, чем дальше станции расположены от ДМРЛ, тем больше вероятность ошибок. Большие значения могут свидетельствовать о расположении станций в зонах перепада рельефа, вследствие чего вершины облаков лежат ниже линии радиогоризонта. Наблюдается большое количество случаев не распознавания слоистой и слоисто-дождевой облачности. Возможной причиной этого является недостаточно адекватное разделение этих видов облачности используемыми алгоритмами их распознавания.

В табл. 5 представлены случаи необнаружения радиоэха облачности в зависимости от азимута направления от локатора на соответствующую наземную метеостанцию.

Таблица 5

Зависимость количества случаев отсутствия обнаружения радиоэха от азимута на метеостанцию

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Q	1			9	7	11	12	2
N	2	1	4	3	10		9	14
S	7	3	2	1	18		10	

Максимальное количество случаев находится в западном, юго-западном и южном направлениях. Это метеостанции Кингисеппа, Волосово, Белогорки. Минимальное

количество случаев необнаружения облачности — в северном, северо-восточном и восточном направлениях. Это станции, расположенные в Сосново, Новой Ладоге и Шлиссельбурге.

Оценка вероятности радиолокационного обнаружения осадков от радиуса обзора и направления на станции

Были выполнены исследования зависимости вероятности радиолокационного обнаружения осадков от радиуса обзора, направления расположения станций и расстояния от ДМРЛ Пулково. В табл. 6 представлены средние значения вероятности обнаружения осадков в зависимости от радиуса обзора локатора.

Таблица 6

Зависимость вероятности обнаружения осадков от их удаления от ДМРЛ

Удаление от ДМРЛ, км	Вероятность обнаружения осадков, %
0–50	64
50–100	62
100–150	54

Как видно из табл. 6, в радиусе 100–150 км высока вероятность «пропуска» осадков, они распознаются в большинстве случаев как радиоэхо кучевых. Это естественное ограничение радиолокационного метода наблюдений, так как МРЛ дает достоверную информацию об осадках в теплый период года на расстоянии до 60 км.

Зависимость достоверности обнаружения осадков от направления на станции представлена в табл. 7.

Таблица 7

Зависимость достоверности обнаружения осадков от направления на станции

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Осадки	0,65	0,58	0,67	0,57	0,55	0,70	0,53	0,60

Из анализа данных табл. 7 видно, что направление расположений станций не играет существенной роли в обнаружении осадков, как и в случае с распознаванием типа облачности. В табл. 8 представлены случаи необнаружения радиоэха.

Таблица 8

Зависимость случаев необнаружения р/э осадков от расстояния

Радиус, км	Количество случаев отсутствия р/э осадков
0–50	0
50–100	8
100–150	14

Чем дальше станции расположены от ДМРЛ, тем больше вероятность ошибок.

В табл. 9 представлена зависимость отсутствия случаев р/э осадков от направления на станции.

Таблица 9

Зависимость отсутствия случаев р/э осадков от азимута на метеостанцию

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Осадки	0	0	0	7	4	4	7	0

Отсутствие случаев р/э осадков зафиксировано в западном, юго-западном, южном и юго-восточном направлениях, как и в случае с необнаружением Q -облачности.

Зависимости достоверности обнаружения осадков от расстояния метеостанций до ДМРЛ (Пулково) представлены в табл. 10.

Таблица 10

Зависимость достоверности обнаружения осадков от расстояния

Расстояние, км	33	48	51	58	78	81	83	104	113	121	130	139
Достоверность, %	62	67	52	70	71	53	65	44	42	58	67	58

Как видно из анализа табл.10, максимальная достоверность 71 % наблюдается в районах станций г. Любань (78 км) и 70 % — в районе Волосово (58 км), минимальная достоверность 42 % — в районах станций г. Кириши (113 км) и 44 % — в районе г. Кингисепп (104 км).

Анализ полученного материала позволяет сделать следующие выводы:

- Наилучшее совпадение данных локатора с наблюдениями на станциях выявлено в районах Любани и Выборга. Вероятность обнаружения всех типов облачности здесь оказалась более 60 %. Заметно хуже вероятность распознавания оказалась в районе станций Кингисепп, Белогорка, Кириши, Новая Ладога, Озерки. По всем типам объектов здесь вероятность обнаружения не превысила 60 %.
- Зависимость вероятности радиолокационного распознавания типов облачности и обнаружения осадков от расстояния показала, что средние значения не превышают 70 %. Низкая достоверность обнаружения кучевой облачности наблюдалась в радиусе от 50 км. Большая вероятность пропуска осадков находится в радиусе от 100 км.
- Необнаруженные локатором конвективные облака относятся в большинстве случаев к слоисто-дождевым, особенно в радиусе до 50 км. Это может быть связано с неточностью критериев распознавания облачности. Велика вероятность случаев, когда радиолокатор классифицировал слоисто-дождевые облака как слоистые. В данном случае большее доверие следует оказывать наблюдениям локатора, так как в случае наличия сплошной облачности нижнего яруса облачность среднего яруса может быть не видима наблюдателем на станции. При «пропуске» осадков они распознаются в большинстве случаев как радиоэхо кучевых.

- Не было выявлено зависимости достоверности распознавания облачности и обнаружения осадков от направления обзора локатора.
- Чем дальше станции расположены от ДМРЛ, тем больше количество случаев не обнаружения облачности и осадков.

Выявление физико-географических особенностей радиолокационного обнаружения и распознавания облачности и осадков на территории исследования

На основе собранного материала была рассмотрена зависимость достоверности распознавания облачности и обнаружения осадков от физико-географических условий расположения метеостанций.

В Ленинградской области наблюдается равнинный характер рельефа с незначительными абсолютными высотами, в основном, 50–150 м над уровнем моря. Наивысшая точка области — гора Гапсельга (291 м над уровнем моря) находится на Вепсовской возвышенности. Наивысшая точка Карельского перешейка — гора Кивисюрья, высотой 203 м над уровнем моря в районе Лемболово, что недалеко от п. Сосново. Низменности в основном расположены по берегам Финского залива и Ладожского озера, а также в долинах крупных рек. Большая часть области покрыта сосновыми, еловыми и лиственными лесами.

Распознавание атмосферных явлений, связанных с облачностью, с помощью ДМРЛ проводилось по косвенным признакам. Причем, правильность распознавания существенно зависит от типа метеорологического объекта и его удаленности от ДМРЛ. Наиболее полную и точную информацию о метеорологических объектах можно увидеть на фрагменте карты в радиусе до 20 км от ДМРЛ. Средняя вероятная ошибка определения высоты верхней границы облачности по измерениям ДМРЛ в радиусе до 20 км составляет примерно $\pm(0,5-0,6)$ км. С увеличением расстояния от ДМРЛ ошибка возрастает из-за расширения диаграммы направленности антенны, уменьшения мощности сигнала, приходящего после отражения от гидрометеоров (особенно когда они находятся за зоной интенсивных и протяженных осадков), искажающего влияния боковых лепестков диаграммы направленности антенны, и ряда других факторов. Разное влияние этих факторов приводит к тому, что верхняя граница радиоэха удаленного облака может совпадать с его реальной верхней границей, а может быть значительно выше или ниже ее.

Было исследовано географическое распределение вероятностей распознавания облачности и обнаружения осадков. Область удовлетворительного обнаружения осадков (вероятность больше 60 %) находится на севере Ленинградской области, захватывая большую часть Финского залива, Выборгский, Всеволожский и Приозерский районы. К югу вероятность падает, особенно интенсивно к Киришскому району. Заметно уменьшение правильного обнаружения осадков вглубь суши, в зоне же наличия больших водоемов (Финский залив, Ладожское озеро) вероятность ошибок мала. Максимумы вероятности располагаются в районе Невы и на западном берегу Ладожского озера.

Выполненный анализ влияния физико-географических условий обнаружения осадков с помощью радиолокационных наблюдений позволил сделать следующие выводы:

- Наблюдается хорошее совпадение с данными станций, расположенных в районе Кронштадта и Шлиссельбурга. Видимо, это зависит от того, что эти станции находятся вблизи от ДМРЛ (до 50 км), высота станций над уровнем моря не превышает 5 м и они находятся на минимальном расстоянии от крупных водоемов (Балтийского залива и Ладожского озера, соответственно).
- Станции, расположенные в районах Волосово и Любани, показывают совпадение с данными ДМРЛ лучше, чем в Кронштадте и Шлиссельбурге, хотя эти метеостанции находятся в радиусе 50–100 км от ДМРЛ. Объясняется, видимо, это тем, что, несмотря на расположение Волосово в небольшой низине, высота метеостанции — 117 м над уровнем моря, а также станции находятся на большом расстоянии от водоемов (16 км).
- Вблизи метеостанции в Белогорке резко меняется рельеф и имеются протяженные возвышенности более 100 м, что и повлияло, видимо, на низкое совпадение радиолокационных и наземных данных. В Сосново также наблюдается низкое совпадение данных, что вызвано близким расположением к Лемболовским возвышенностям, одна из которых превышает 200 м.
- Самое низкое совпадение с данными на станциях наблюдается в г. Кингисеппе и г. Кириши, хотя рядом со станциями нет возвышенностей, высота станций не превышает 30 м над уровнем моря, и расстояние до водоемов — небольшое. Причина состоит в том, что на снижение достоверности влияет расстояние до ДМРЛ (100–150 км). Кроме того, низкая достоверность на станциях может зависеть от неисправности приборов, от устаревшего оборудования и от человеческого фактора.

Литература

1. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка». Под ред. Н.В. Бочарникова, А.С. Солоница. — СПб.: Гидрометеиздат, 2007. — 236 с.
2. Войнов Н.Е., Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Методика текущего прогнозирования эволюции зон осадков по радиолокационным данным. // Вопросы радиометеорологии. — СПб.: изд. Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, 2013, с. 152–164.
3. Восканян К.Л., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Солонин А.С. К вопросу о методике радиолокационного измерения интенсивности атмосферных осадков. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 27, с. 63–70.
4. Готюр И.А., Девяткин А.М., Жуков В.Ю., Кулешов Ю.В., Шукин Г.Г. Информационные возможности доплеровских метеорологических радиолокаторов. // Учёные записки РГГМУ, 2013, № 21, с. 66–75.
5. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). — СПб.: РГГМУ, 2004. — 429 с.
6. Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Валидация измерений характеристик ветра в свободной атмосфере, полученных с помощью доплеровской МРЛ. // Учёные записки РГГМУ, 2015 (в печати).
7. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 4. Часть I. Метеорологические наблюдения на станциях. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 299 с.
8. Шукин Г.Г., Степаненко В.Д., Снегуров А.В. Перспективные направления радиолокационных наблюдений за атмосферой. // Труды ГГО, 2010, вып. 561, с. 223–241.