

Валидация радиолокационных наблюдений опасных явлений погоды на сети ДМРЛ по данным наземной наблюдательной сети Росгидромета в 2014 – 2015 гг

Ю.Б.Павлюков, Н.И. Серебрянник, Б.Н.Карпов

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральная Аэрологическая Обсерватория», 141700, г. Долгопрудный, Московская обл., ул. Первомайская, 3, serna@orm.mipt.ru

Представлена автоматизированная система «ВАЛИРАД», разработанная в ФГБУ «ЦАО» Росгидромета и предназначенная для обеспечения валидации информации метеорологических радиолокаторов об опасных явлениях погоды по данным наземных наблюдений погодных условий на сети метеостанций Росгидромета. Приводятся результаты сравнительного анализа информации 24 ДМРЛ и данных наблюдений на сети метеостанций в 2014-2015 гг.

This article reviews automated system «VALIRAD» developed in FSBI «CAO» and designed to provide validation of weather radar information about dangerous weather event according to ground-based observations of weather conditions on the network of meteorological stations of Roshydromet. The results of 24 DMRL's information comparative analysis and data of observations at meteorological stations network in 2014-2015 are presented.

1. Введение

В жизни современного общества значительное место занимают вопросы безопасности жизнедеятельности, в том числе, и предупреждения населения и предприятий промышленности об опасных явлениях погоды – грозах, мощных и катастрофических ливнях, вызывающих оползни и наводнения, градобитиях, смерчах и пр. В условиях климатических изменений частота таких опасных явлений погоды (ОЯП) нарастает год от года, что фиксируется в документах Всемирной Метеорологической Организации (ВМО). Особое место при решении этой задачи занимают средства дистанционного зондирования, обеспечивающие оперативный контроль ОЯП на значительных территориях. Наземные наблюдения за погодой на метеостанциях решить эту задачу из-за относительной малочисленности и разреженности наблюдательной сети, особенно, в российских условиях, решить не в состоянии и могут использоваться только для контроля и валидации дистанционных наблюдений. Во всех развитых странах для мониторинга ОЯП, включая сверхкраткосрочный прогноз (наукастинг), успешно используются сети метеорологических радиолокаторов (далее – ДМРЛ), в задачу которых входят круглосуточные наблюдения за облачной атмосферой и осадками и связанными с ними ОЯП, а также измерения осадков радиолокационным методом. В России с 2012 года также начато развертывание сети современных метеорологических радиолокаторов отечественного производства [1], задачами которой является, в частности, идентификация явлений погоды, в том числе опасных (ОЯП), получение сумм выпавших осадков и построение объединенных карт этих и других, получаемых с помощью ДМРЛ, продуктов (Рис. 1.).

Для успешного решения этих задач очень важна валидация радиолокационных наблюдений по данным независимых метеорологических наблюдений (эталонных), таких как наблюдения за явлениями погоды на метеостанциях, регистрация времени и координат молниевых разрядов современными сетями грозопеленгаторов, самолетных наблюдений и др.

При этом значительной организационной и технической проблемой является создание автоматизированной системы валидации, которая обеспечивала выполнение

сбора, накопления наблюдений ДМРЛ и эталонных наблюдательных систем, сопоставления данных наблюдений и анализ полученных результатов.

В данной работе описываются возможности такой системы и первые результаты, полученные в Центральной Аэрологической Обсерватории (ФГБУ «ЦАО») Росгидромета (г. Долгопрудный).

На сегодняшний день радиолокационная сеть состоит из 27 ДМРЛ с двойной поляризацией, каждый из которых проводит круглосуточные, в автоматизированном режиме, с периодичностью 10 минут, обзоры верхней полусферы в радиусе 250 км от ДМРЛ, от поверхности земли до высоты примерно 20 км. 24

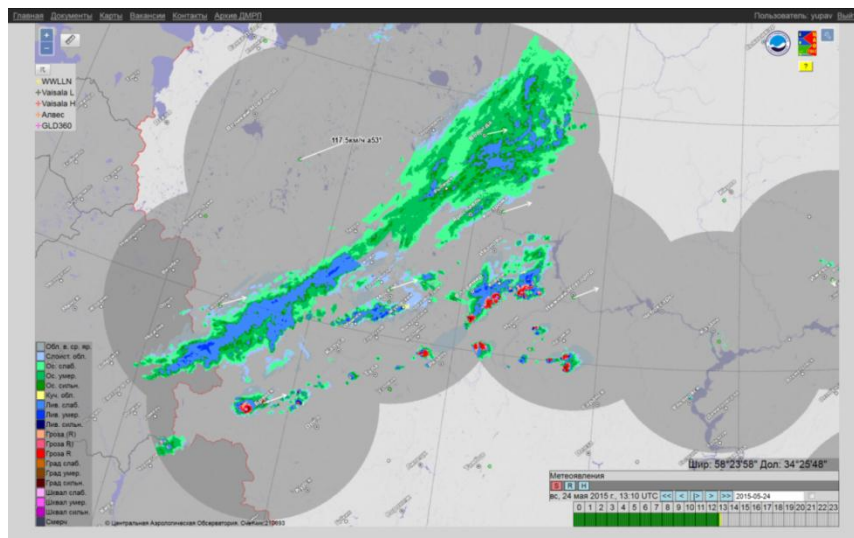


Рис. 1. Объединенная карта метеоявлений сети ДМРЛ Росгидромета

На основе анализа полученных данных строятся карты метеорологических характеристик атмосферы, включая карты высоты верхней границы облачности, интенсивности и накопленной суммы осадков, а также - в результате решения задачи распознавания – карта метеорологических явлений. ДМРЛ позволяет идентифицировать местоположение зон следующих опасных явлений погоды (ОЯП): смерч, град, гроза, шквалы, связанные с грозами; интенсивные ливни. Пространственное разрешение полученных карт составляет 1x1 км. Полученный в результате наблюдений набор карт передается на автоматизированные рабочие места специализированных потребителей, в основном, в оперативные прогностические подразделения Росгидромета и используется ими для выдачи штормпредупреждений и сверхкраткосрочного прогнозирования погодных условий, для метеообеспечения авионавигации и др.

2. Система валидации данных ДМРЛ «ВАЛИРАД»

Поскольку, с учетом важности метеорологической радиолокационной информации сети ДМРЛ, остро стоит вопрос ее качества и достоверности, в ФГБУ «ЦАО», отвечающем за методическое руководство сетью ДМРЛ, создана автоматизированная система «ВАЛИРАД» для валидации данных наблюдений сети ДМРЛ [1].

В задачу системы «ВАЛИРАД» входит проведение оценок точности радиолокационных наблюдений на ДМРЛ с привлечением различных эталонов. В статье пойдет речь о сопоставлении с наблюдениями текущих метеоявлений на сети метеостанций (МС) Росгидромета, которых в настоящее время насчитывается на территории РФ около 3.5 тысяч.

Эталонные данные передаются в различных цифровых кодах по специализированным каналам связи и представляют собой сообщения о времени наблюдения грозы метеорологом наблюдателем на МС. В ФГБУ «ЦАО» поступают два вида эталонных метеоданных:

- в коде КН-01 (данные низкого разрешения) – оперативные, поступающие в течение 2 часов после проведения наблюдений;
- данные в виде метеорологических таблиц ТМС (данные высокого разрешения – «апостериорные»), содержащие время начала и окончания явления, поступающие с задержкой в 1.5 месяца по электронной почте.

Коды явлений об ОЯП в КН-01 делятся на группы – явления в срок (в последние 10 минут до срока), явления в последний час, явления между сроками. Поскольку междусрочные данные обладают низкой локализацией ОЯП во времени и не содержат информации о его продолжительности, они были исключены из анализа.

В задачу «ВАЛИРАД» входит сбор, обработка и накопление информации в базе данных (БД) для последующего использования.

Система «ВАЛИРАД» функционирует в среде ОС Linux на базе аппаратно-программного комплекса Центра сбора и обработки радиолокационной информации сети ДМРЛ ЦАО.

3. Характеристики качества информации ДМРЛ

Для характеристики качества радиолокационных наблюдений используются такие индикаторы, как **оправдываемость**(P_o) и **достоверность**(P_d) обнаружения ОЯП по ДМРЛ [2]. P_o есть вероятность обнаружения с помощью ДМРЛ гроз, зафиксированных эталоном (наблюдателем МС). За 100% принимается число эталонных наблюдений; Рассчитывается как отношение числа зафиксированных эталоном и совпавших с грозами по ДМРЛ-С – $N_{э-дмрл}$, к числу случаев гроз по данным эталонных наблюдений – $N_э$, выраженное в %:

$$P_o = (N_{э-дмрл} / N_э) / 100\% \quad (1)$$

P_d – вероятность подтвержденных эталоном (наблюдателем МС) гроз, отмеченных на ДМРЛ-С; за 100% принимается число наблюдений гроз по ДМРЛ. P_d рассчитывается как отношение числа случаев гроз по ДМРЛ-С, подтвержденных грозами по эталону – $N_{дмрл-э}$, к числу случаев гроз по ДМРЛ-С – $N_{дмрл}$, в %:

$$P_d = (N_{дмрл-э} / N_{дмрл}) * 100\% \quad (2)$$

Соответственно, величина $P_{лт} = 100\% - P_d$ - характеризует вероятность «ложных тревог».

Методика сопоставления подробно изложена в [2]. При расчете P_o сопоставление данных МС и ДМРЛ проводилось в радиусе 220 км относительно ДМРЛ, радиус контрольного круга (РКК) выбора радиолокационной информации об ОЯП в окрестности МС задавался равным 30 км и представлял собой радиус **возможного** наблюдения грозы наблюдателем МС. Если в срок ТТ ч tt мин наблюдателем МС «Х» зафиксирована гроза, а по карте ОЯП ДМРЛ в пределах РКК = 30 км от МС «Х» в интервале времени (ТТ ч tt мин ± 10 мин) наблюдался хотя бы один пиксель с грозой, считалось, что в срок ТТ ч tt мин гроза, зафиксированная наблюдателем, оправдалась, в противном случае – не оправдалась.

При расчете P_d сопоставление радиолокационных данных и данных МС проводилось в радиусе 240 км, РКК задавался равным 10 км и представлял собой радиус **достоверной** фиксации грозы наблюдателем МС. Если в срок РР ч рр мин по ДМРЛ в радиусе 10 км от МС «У» идентифицировано явление грозы, и наблюдателем МС «У» в период времени (РР ч рр мин ± 10 мин) была зафиксирована гроза, явление грозы по ДМРЛ считается подтвержденным (достоверным), в противном случае –

«ложной тревогой».

4. Результаты

Далее представлены некоторые результаты валидации наблюдений сети ДМРЛ за летние периоды 2014 - 2015 годов.

Таблица 1. Значения P_o и P_d , рассчитанные по КН-01 за период май-сентябрь 2015г.

	ДМРЛ	ТМС				КН-01			
		P_o	N	P_d	N	P_o	N	P_d	N
1	Архангельск	83	930	59	580	70	106	75	137
2	Барабинск	87	1238	79	591	85	285	82	315
3	Брянск	78	4150	82	1645	74	579	82	437
4	Валдай	81	1009	63	566	81	87	77	116
5	Владивосток	77	1297	55	606	77	68	58	119
6	Внуково	83	4955	64	3539	85	369	76	860
7	Воейково	79	798	55	498	83	67	66	151
8	Волгоград	75	4726	78	2469	79	368	88	580
9	Вологда	83	2199	57	1816	88	134	63	380
10	Ижевск	81	2114	72	1251	84	202	89	363
11	Казань	73	2972	78	1364	81	197	86	336
12	Киров	88	1549	45	1782	92	63	48	223
13	Кострома	75	2774	73	1748	81	190	80	369
14	Краснодар	89	12958	67	12016	88	948	73	2225
15	Мин. Воды	78	6832	72	4160	77	435	83	592
16	Н. Новгород	89	3434	58	3215	90	186	63	548
17	Оренбург	72	2954	86	1048	63	217	86	253
18	Петрозаводск	93	389	54	271	97	44	61	92
19	Профсоюзная	77	4122	76	2069	80	297	85	518
20	Смоленск	76	2259	75	1152	79	229	84	429
21	Самара	83	690	76	430	83	54	81	102
22	Ставрополь	89	10721	71	7991	89	711	78	1416
23	Уфа	92	3999	66	3368	93	209	77	534
24	Шереметьево	72	2393	77	973	79	177	90	265
	Среднее взвешенное	82	81462	68	55148	83	6222	78	11447

В таблице 1 приведены значения P_o и P_d , рассчитанные за период с 01 мая по 30 сентября 2015 г. по всем работавшим в течение летнего сезона ДМРЛ. В качестве средней оценки по всем ДМРЛ рассчитаны средние взвешенные значения P_o и P_d .

По таблице 1 можно оценить качество работы каждого ДМРЛ-С. Для большинства ДМРЛ P_o превышает 80%, P_d – чаще всего более 60%. Достаточно низкие значения P_d

для ДМРЛ «Воейково» и «Киров» свидетельствуют о том, что существует необходимость корректировки настроек этих ДМРЛ и пересмотра критериев идентификации ОЯП (грозы).

Можно отметить несущественные отличия значений P_o и P_d , рассчитанных по двум видам данных – оперативным (КН-01) и «апостериорным» - ТМС.

В таблице 2 приведены средневзвешенные значения P_o и P_d , рассчитанные по двум типам данных для 18 ДМРЛ в 2014 г. и для 24 ДМРЛ – в 2015 г. за теплые периоды - с 01 мая по 30 сентября, N – число случаев, по которому проведен расчет.

Как следует из таблицы 2, за 2014 г. значения P_o и P_d , рассчитанные по ТМС и оперативным данным в коде КН-01 с точностью до целых, оказались равны ($P_o=82$ и $P_d=68\%$, соответственно). За период с 01 мая по 30 сентября 2015 г. разброс значений P_o и P_d по ТМС и КН-01 оказался существеннее – разность значений P_o по ТМС и КН-01 составила 1% (размеры выборок различались при этом на порядок), разность в значениях P_d по ТМС и КН-01 составила 10%.

Но в целом можно отметить незначительные отличия значений P_o и P_d , рассчитанных по двум видам данных – оперативным (КН-01) и «апостериорным» - ТМС, что позволяет проводить ежедневный мониторинг качества радиолокационной метеоинформации по ДМРЛ-С с привлечением оперативных данных.

Таблица 1. Значения P_o и P_d , рассчитанные по ТМС и КН-01 за периоды май-сентябрь 2014 г. и май-июль 2015 г.

Год	ТМС				КН-01			
	P_o	N	P_d	N	P_o	N	P_d	N
2014	82	73393	69	44237	82	8057	69	11936
2015	82	81462	68	55148	83	6222	78	11447

На рис.2.приведена диаграмма распределения значений P_o (синий цвет) и P_d (красный цвет) по метеостанциям, расположенным на разных удалениях от ДМРЛ-С – от 0 до 250 км. Выборка была сформирована за период времени с 01 мая по 30 сентября 2014 г. по 13-ти ДМРЛ-С. Каждая точка характеризует одну метеостанцию.

Линии тренда на диаграммах показывают, что с удалением метеостанции от ДМРЛ от 0 км до 250 км наблюдается очень незначительное (порядка 5%) снижение значений P_o в силу уменьшения на таких удалениях разрешающей способности ДМРЛ, с одной стороны и влияния эффекта ослабления радиоизлучения – с другой.

Достоверность обнаружения ОЯП (грозы) на метеостанции, напротив, с ее удалением от ДМРЛ-С незначительно (порядка 8-10%) возрастает. Это можно объяснить тем, что, несмотря на ослабление радиоизлучения и ухудшение разрешения с расстоянием, для реально существующих гроз эти эффекты не оказывают столь сильного влияния, и реальные грозы идентифицируются с помощью ДМРЛ правильным образом.

В целом разброс значений P_o и P_d незначительно увеличивается с удалением от ДМРЛ.

Выводы

- Анализ результатов сопоставления радиолокационных и наземных наблюдений ОЯП с помощью системы «ВАЛИРАД» продемонстрировал высокий уровень согласования данных об опасных явлениях погоды по информации сети ДМРЛ-С и по данным на МС – Средние значения P_o за теплые периоды 2014 г. и 2015 г. превышают

80%, что соответствует оценке «хорошо» [2];

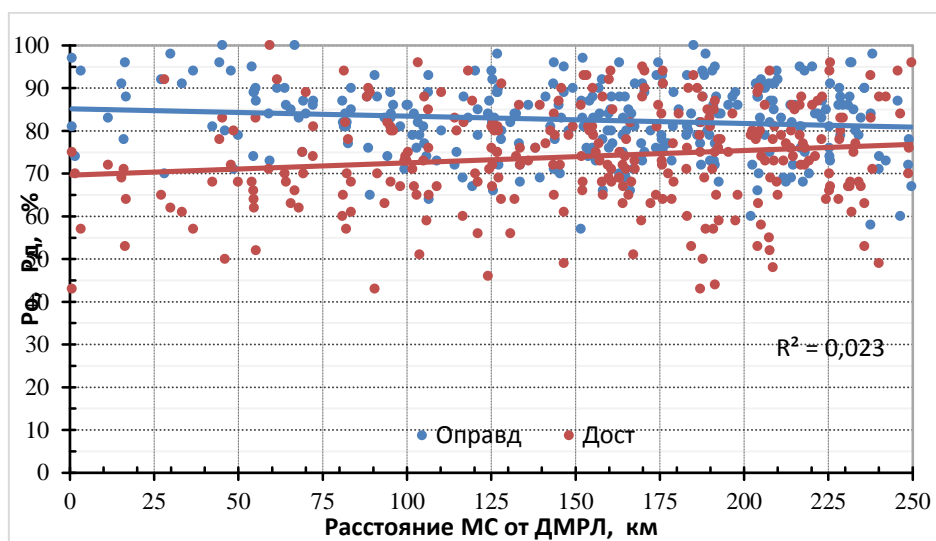


Рис. 2. Значения P_o и R_d в зависимости от удаления от ДМРЛ, май - сентябрь 2014г.

- Оценки оправдываемости и достоверности обнаружения ОЯП (гроз) по ДМРЛ-С хорошо согласуются при расчете их как по менее точным оперативным данным (в коде КН-01), так и по более точным апостериорным данным (по таблицам ТМС), что позволяет быть уверенным, что получаемые оценки P_o и R_d при ежедневно проводимом в ЦАО мониторинге информации ДМРЛ с использованием оперативных данных вполне адекватны;

- Показана возможность уверенной идентификации с помощью ДМРЛ-С ОЯП (гроз) до удалений в 250 км; с минимальным количеством «лишних гроз» («ложных тревог»). Радиус надежного обнаружения и распознавания ОЯП (гроз) по ДМРЛ-С составляет 250 км;

- Оправдываемость обнаружения ОЯП (гроз) P_o незначительно уменьшается с удалением от ДМРЛ: на 250 км она снижается на 5-7% в силу уменьшения разрешающей способности ДМРЛ и влияния эффекта ослабления радиоизлучения;

- Достоверность обнаружения ОЯП (гроз) R_d , напротив, увеличивается с удалением от ДМРЛ – на удалении 250 км от ДМРЛ она возрастает на 8-10% , т.к. с расстоянием, благодаря указанным эффектам ослабления радиоизлучения и уменьшения разрешающей способности ДМРЛ, в большей степени отбраковываются случаи «лишних» гроз, как правило, «слабых», а реальные грозы идентифицируются с помощью ДМРЛ правильным образом;

- Для повышения точности оценки достоверности требуется привлечение альтернативных источников объективных данных, таких как данные грозопеленгационных систем (ГПС).

Литература

1. Дядюченко В.Н., Вылегжанин И.С., Павлюков Ю.Б. Доплеровские радиолокаторы в России, «Наука в России», №1, 2014, 5 с.
2. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. М, Росгидромет, ФГБУ «ЦАО», 2014 г., 110 с.