

Пространственный анализ надежности сети ДМРЛ

Кочеев Д.М

Научный руководитель Симакина Т.Е.

Введение

С развитием промышленности человек становится все менее защищенным перед силами природы. Все больший экономический ущерб наносят природные катастрофы. На одном из первых мест по частоте стоят опасные явления погоды: катастрофические ливни, грозы, град, шквал, смерчи. Для наблюдения за изменением погоды и анализом ее состояния в конкретный срок по всей территории земного шара расположены метеорологические наблюдательные станции, работающие по единой программе. В России до 1990 г. действовало 7332 метеостанции, в 1992 г. – 5654, а в 2002 г. – лишь 4898. Сокращение количества метеостанций в настоящее время прекратилось, однако это не могло не сказаться на качестве прогноза погоды, поскольку редкая сеть гидрометеостанций не всегда позволяет предсказать опасное явление, особенно если оно формируется на территории, не оснащенной метеостанциями. Согласно данным А.И. Бедрицкого оправдываемость опасных явлений с 1993 по 2002 г. снизилась с 96 до 86%.

Особую сложность представляет прогноз конвективных явлений (грозы, ливней, града, шквала), масштаб которых десятки – первые сотни километров. Такие явления связаны с кучево-дождевыми облаками (Сб). Основным источником получения информации о пространственном распределении конвективных явлений служит метеорологический радиолокатор, позволяющий обнаруживать эти явления в радиусе 200 км от МРЛ. Данные радиолокационных наблюдений одного МРЛ предупреждают о появлении конвективного явления с заблаговременностью 1–3 ч, а несколько МРЛ, обзор которых перекрывает друг друга, дают возможность прогнозировать такие явления на срок до 12 ч.

Запланированное для установки количество радиолокаторов в нашей стране составляет 140 радиолокаторов ДМРЛ-С. Места установки радиолокаторов определены Приложением к Приказу Росгидромета № 239 от 16.05.2011 г. Работы по выбору позиций проводились ФГБУ «ЦАО», ФГБУ «ГГО» и ФГБУ «ВГИ» в соответствии с требованиями документа «Порядок проведения работ по выбору позиций для размещения доплеровских метеорологических радиолокаторов наблюдательной сети Росгидромета», утвержденного и введенного в действие Приказом Росгидромета № 257 от 30.09.2009 г. Радиолокаторы ДМРЛ-С не входят в состав оборудования аэродромов, и по этой причине для их эксплуатации не требуется оформления дополнительных документов, предусмотренных Правилами эксплуатации метеорологического оборудования аэродромов гражданской авиации. План размещения радиолокационных позиций ДМРЛ-С был разработан с учетом:

– распределения плотности населения по территории РФ

- наличия аэропортов (в соответствии с ФЦП «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации») и объектов транспортной инфраструктуры (Транссибирская магистраль),
- установки ДМРЛ на направлении преобладающего западного переноса воздушных масс на ЕТР.

Радиолокационная карта метеоявлений в настоящее время является одним из основных вторичных продуктов.

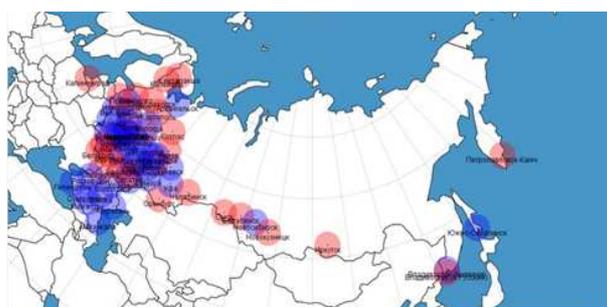
Динамика развития сети ДМРЛ представлена на рис. 1.



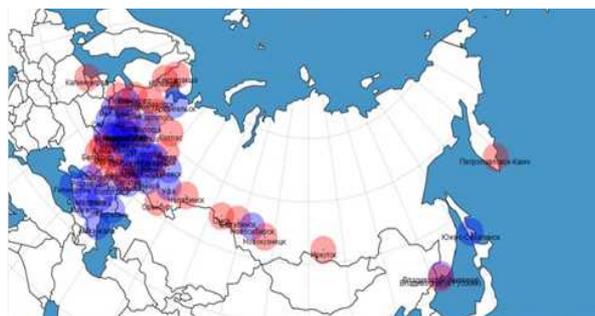
3а 2012



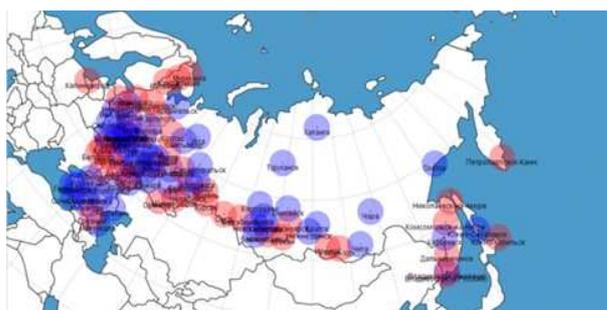
3а 2013



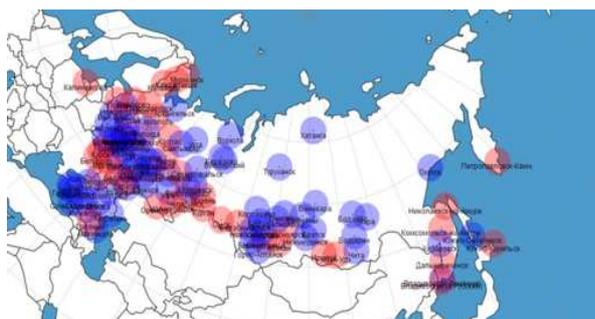
3а 2014



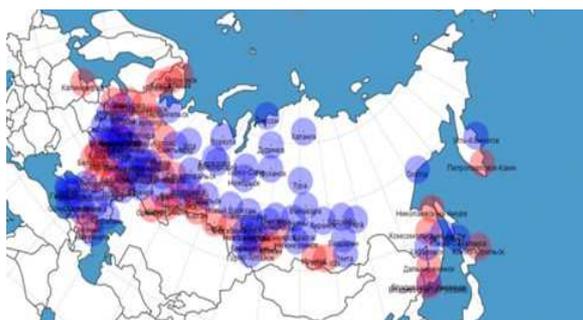
3а 2015



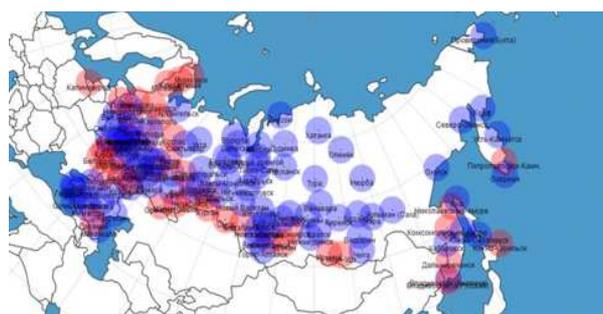
3а 2016



3а 2017



3а 2018



3а 2019

Рис. 1 Увеличение количества ДМРЛ по годам

Для оценки качества радиолокационных наблюдений необходимо проводить по данным независимых наблюдений метеорологических параметров, полученных с использованием источников эталонной информации с доказанными и проверяемыми характеристиками надежности и точности. Основным эталонным источником информации для верификации ДМРЛ в настоящее время является наземная наблюдательная сеть и аэрологическая сеть Росгидромета. В качестве дополнительных источников эталонной информации могут использоваться данные грозопеленгационной сети, и атмосферных профиломеров, данные метеорологических спутников Земли об облачности и осадках, которые должны быть обеспечены надежными методиками оценки точности измерений характеристик облачности и осадков.

Для контроля абсолютной калибровки ДМРЛ используются данные наземной осадкомерной сети (МС). Точность абсолютной калибровки должна контролироваться на временном интервале не менее месяца, с числом дней с осадками (более 0.4 мм за 12 часов) – не менее 10.

В качестве эталонной информации при определении оправдываемости гроз по ДМРЛ-С привлекаются данные наблюдений метеостанций Росгидромета. В качестве эталонной информации для оценки достоверности гроз по ДМРЛ-С привлекаются данные наблюдений метеостанций Росгидромета, грозопеленгаторов и действующих АМРК (АКСОПРИ, «Метеоячейка» и др.).

Для контроля точности измерения параметров горизонтального ветра в доплеровском канале ДМРЛ-С необходимо привлекать данные сети АЭ и других надежных источников информации о ветре.

Целью исследования была оценка надежности работы установленных к настоящему времени 36-ти ДМРЛ по статистике пропусков потоков данных. Надежность работы сети локаторов влияет на эффективность обнаружения опасных явлений погоды на рассматриваемой территории.

Основные технические характеристики ДМРЛ-С представлены в табл. 1
Таблица 1 Основные технические характеристики ДМРЛ-С

| | |
|--|---|
| Диапазон рабочих частот, МГц | 5600 – 5650 |
| Антенна коэффициент усиления антенны, дБ уровень боковых лепестков, дБ | зеркальная, параболическая не менее 45 не хуже минус 29 |
| Передатчик импульсная мощность, кВт, не менее длительность импульса, мкс частота зондирования, Гц | клистронный 15 1,0-60,0 300-1500 |
| Приемник динамический диапазон каждой поляризации, дБ | 2/4 канала (1/2 поляризации) не менее 100 |
| Коэффициент подавления отражений от неподвижных местных предметов, дБ | не менее 50 |
| Потребляемая мощность, кВт, не более | 10 |

Методика исследования

Для характеристики безотказности приборов используют следующие показатели [2]:

- вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \exp \left\{ - \int_0^t \lambda(t) dt \right\} = e^{-\lambda t},$$

где λ - интенсивность отказов, в 1/ч;

-средняя наработка на отказ:

$$T_{CP} = - \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda},$$

- коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{CP}}{T_{CP} + T_B},$$

где T_B – время восстановления датчика, которое вычислялось как отношение времени простоя датчика к числу его отказов.

Нарботка ДМРЛ определяется средним временем между отказами (т.е. пропусками данных), время восстановления – продолжительностью периода пропуска. Коэффициент готовности – вероятность того, что система окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени – определяется соотношением между этими показателями. Он включает в себя информацию как об отказах, так и о времени ремонта или замены, поэтому является комплексной, наиболее эффективной характеристикой надежности.

Исходные данные

Исходным материалом для исследования послужили отчеты о работе 35 доплеровских локаторов за ноябрь 2019 г.

Результаты радиолокационных обзоров поставляются в виде двух файлов с интервалом 10 мин. В табл. 2 приведены количество файлов по плану и количество фактически полученных файлов.

Таблица 2 Объем данных сети ДМРЛ

| № | Наименование ДМРЛ | Дата ввода в эксплуатацию | План | Получено |
|----|-----------------------|---------------------------|------|----------|
| 1 | Архангельск | 01.07.2015 | 8640 | 8638 |
| 2 | Ахун | нет данных | 8640 | 8639 |
| 3 | Барабинск | 01.02.2014 | 8640 | 6894 |
| 4 | Белгород | 15.06.2017 | 8640 | 8500 |
| 5 | Брянск | 18.10.2012 | 8640 | 8631 |
| 6 | Валдай | 13.08.2012 | 8640 | 0 |
| 7 | Великие Луки | 28.02.2019 | 8640 | 8225 |
| 8 | Владивосток (Кневичи) | 18.11.2016 | 8640 | 6107 |
| 9 | Внуково | 25.03.2014 | 8640 | 8635 |
| 10 | Воейково | 27.02.2017 | 8640 | 8626 |
| 11 | Волгоград | 18.0.2013 | 8640 | 8636 |

| № | Наименование ДМРЛ | Дата ввода в эксплуатацию | План | Получено |
|----|--------------------------|---------------------------|--------|----------|
| 12 | Вологда | 24.10.2016 | 8640 | 8318 |
| 13 | Ижевск | 10.08.2012 | 8640 | 8637 |
| 14 | Казань | 19.01.2013 | 8640 | 8554 |
| 15 | Киров | 25.03.2016 | 8640 | 8632 |
| 16 | Кострома | 20.12.2013 | 8640 | 8637 |
| 17 | Котлас | 01.05.2016 | 8640 | 3941 |
| 18 | Краснодар | 30.06.2015 | 8640 | 8397 |
| 19 | Курск | 22.04.2016 | 8640 | 8502 |
| 20 | Миллерово | 07.08.2017 | 8640 | 8354 |
| 21 | Мин.Воды | 18.05.2012 | 8640 | 8637 |
| 22 | Москва | нет данных | 8640 | 8638 |
| 23 | Н.Новгород | 05.03.2015 | 8640 | 8586 |
| 24 | Новосибирск | нет данных | 8640 | 8638 |
| 25 | Оренбург | 05.03.2014 | 8640 | 8603 |
| 26 | Петрозаводск | 03.03.2014 | 8640 | 8624 |
| 27 | Петропавловск-Камчатский | 01.04.2014 | 8640 | 8508 |
| 28 | Самара | 06.08.2015 | 8640 | 8637 |
| 29 | Смоленск | 25.07.2012 | 8640 | 8596 |
| 30 | Ставрополь | 18.11.2013 | 8640 | 8627 |
| 31 | Тамбов | 12.01.2018 | 8640 | 8638 |
| 32 | Тула | 15.07.2016 | 8640 | 6966 |
| 33 | Уфа | 29.04.2015 | 8640 | 8636 |
| 34 | ЦАО Шереметьево | 15.01.2015 | 8640 | 0 |
| 35 | Элиста | 27.06.2017 | 8640 | 8586 |
| | Всего | 302400 | 272423 | |

Для каждого ДМРЛ были рассчитаны количество отказов (пропусков) и длина пропусков (временной период отсутствия данных). Число отказов за час определяет интенсивность отказов. Среднее значение времени работы ДМРЛ между отказами является наработкой на отказ. Средняя длина пропусков в часах определяет время восстановления.

Результаты исследования

Результаты расчета основных показателей безотказности и ремонтпригодности ДМРЛ представлены в табл.3. Два локатора (в Шереметьево и на Валдае) не работали в ноябре.

Таблица 3 Результаты расчета показателей надежности ДМРЛ

| № | Наименование ДМРЛ | T_{cp} , ч | T_v , ч | λ , $\cdot 10^{-3}$ ч ⁻¹ | μ , ч ⁻¹ | K_r |
|---|-----------------------|--------------|-----------|---|-------------------------|-------|
| 1 | Архангельск | 719,8 | 0,2 | 1,39 | 6,00 | 1,00 |
| 2 | Ахун | 719,9 | 0,1 | 1,39 | 12,00 | 1,00 |
| 3 | Барабинск | 30,2 | 7,7 | 33,07 | 0,13 | 0,80 |
| 4 | Белгород | 141,7 | 2,3 | 7,06 | 0,43 | 0,98 |
| 5 | Брянск | 359,6 | 0,4 | 2,78 | 2,67 | 1,00 |
| 6 | Валдай | 0,0 | 720,0 | | 0,00 | 0,00 |
| 7 | Великие Луки | 68,5 | 3,5 | 14,59 | 0,29 | 0,95 |
| 8 | Владивосток (Кневичи) | 12,4 | 5,1 | 80,56 | 0,19 | 0,71 |

| № | Наименование ДМРЛ | T_{cp} , ч | T_b , ч | $\lambda, \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$ | $\mu, \text{ ч}^{-1}$ | K_r |
|----|--------------------------|--------------|-----------|---|-----------------------|-------|
| 9 | Внуково | 719,6 | 0,4 | 1,39 | 2,40 | 1,00 |
| 10 | Воейково | 359,4 | 0,6 | 2,78 | 1,71 | 1,00 |
| 11 | Волгоград | 359,8 | 0,2 | 2,78 | 6,00 | 1,00 |
| 12 | Вологда | 77,0 | 3,0 | 12,98 | 0,34 | 0,96 |
| 13 | Ижевск | 719,8 | 0,3 | 1,39 | 4,00 | 1,00 |
| 14 | Казань | 178,2 | 1,8 | 5,61 | 0,56 | 0,99 |
| 15 | Киров | 359,7 | 0,3 | 2,78 | 3,00 | 1,00 |
| 16 | Кострома | 719,8 | 0,3 | 1,39 | 4,00 | 1,00 |
| 17 | Котлас | 46,9 | 55,9 | 21,31 | 0,02 | 0,46 |
| 18 | Краснодар | 174,9 | 5,1 | 5,72 | 0,20 | 0,97 |
| 19 | Курск | 78,7 | 1,3 | 12,70 | 0,78 | 0,98 |
| 20 | Миллерово | 13,4 | 0,5 | 74,69 | 2,18 | 0,97 |
| 21 | Мин.Воды | 719,8 | 0,3 | 1,39 | 4,00 | 1,00 |
| 22 | Москва | 719,8 | 0,2 | 1,39 | 6,00 | 1,00 |
| 23 | Н.Новгород | 178,9 | 1,1 | 5,59 | 0,89 | 0,99 |
| 24 | Новосибирск | 719,8 | 0,2 | 1,39 | 6,00 | 1,00 |
| 25 | Оренбург | 143,4 | 0,6 | 6,97 | 1,62 | 1,00 |
| 26 | Петрозаводск | 359,3 | 0,7 | 2,78 | 1,50 | 1,00 |
| 27 | Петропавловск-Камчатский | 354,5 | 5,5 | 2,82 | 0,18 | 0,98 |
| 28 | Самара | 719,8 | 0,3 | 1,39 | 4,00 | 1,00 |
| 29 | Смоленск | 89,5 | 0,5 | 11,17 | 2,18 | 0,99 |
| 30 | Ставрополь | 359,5 | 0,5 | 2,78 | 1,85 | 1,00 |
| 31 | Тамбов | 719,8 | 0,2 | 1,39 | 6,00 | 1,00 |
| 32 | Тула | 38,7 | 9,3 | 25,84 | 0,11 | 0,81 |
| 33 | Уфа | 359,8 | 0,2 | 2,78 | 6,00 | 1,00 |
| 34 | ЦАО Шереметьево | 0,0 | 720,0 | | 0,00 | 0,00 |
| 35 | Элиста | 143,1 | 0,9 | 6,99 | 1,11 | 0,99 |
| | Всего | 11485,1 | 1549,0 | | | |

Практически все локации (32 из 35-ти) имели время восстановления до 10 часов, большинство – до 3х часов.

Поскольку наработка на отказ значительно превышает время восстановления, коэффициенты готовности получились большими, они распределились следующим образом: 29 ДМРЛ $K_r=1$; 1 ДМРЛ $K_r=0,9$; 2 ДМРЛ $K_r=0,8$. Два неработающих в ноябре локации ожидаемо имеют $K_r=0$.

Проведена интерполяция полученным значений интенсивности отказов и времени наработки на рассматриваемую территорию методом обратных расстояний. Изолинии интенсивности отказов ДМРЛ по 35 точкам представлены на рис. 2, времени наработки на рис. 3.

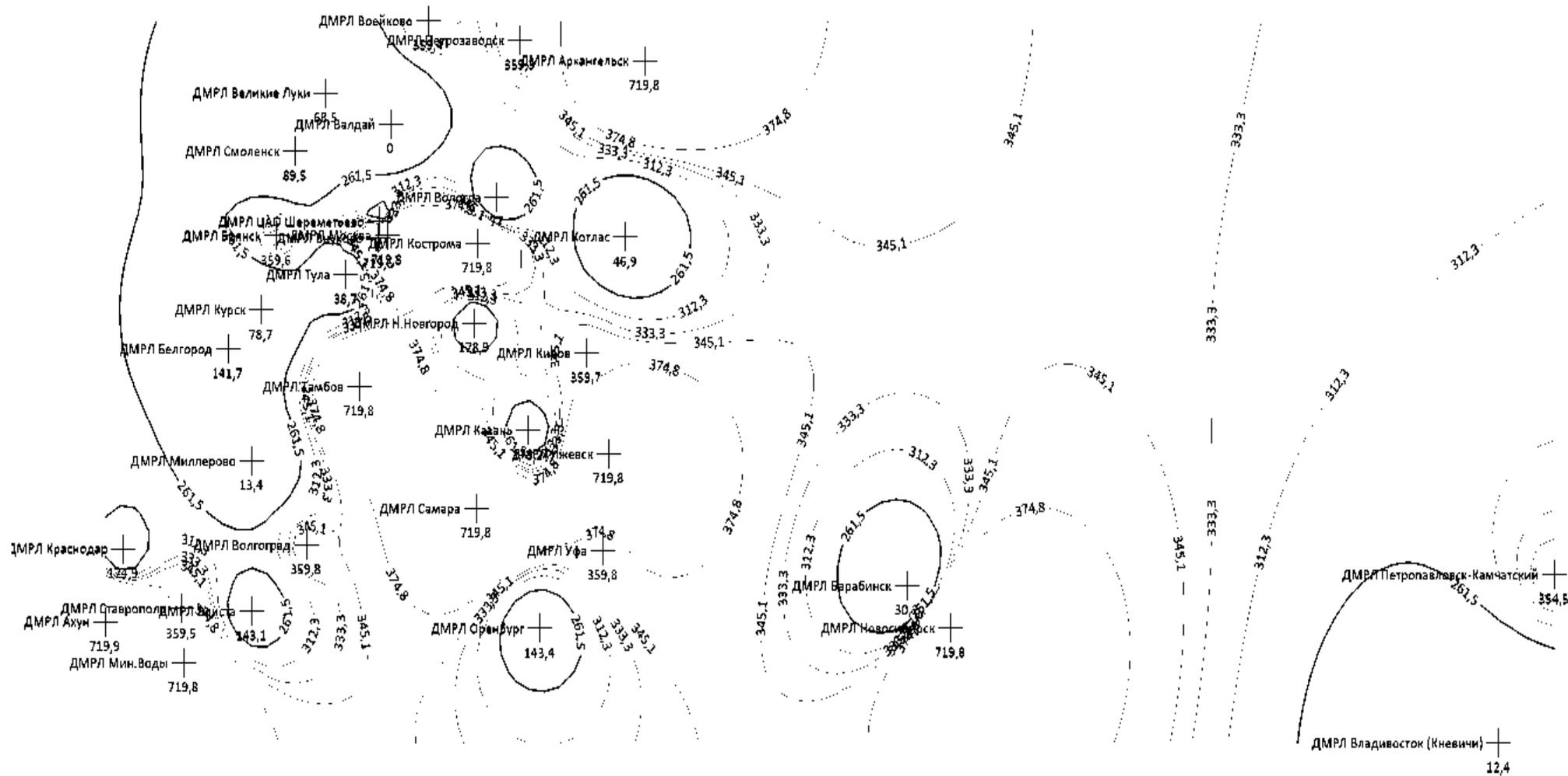


Рис. 3 Распределение времени наработки ДМРЛ

Вывод

Рис. 2 локализует области частых сбоях потока данных. Это южная часть рассматриваемой территории ЕТР. Отсутствие данных влияет на показатели качества ДМРЛ: оправдываемость и достоверность обнаружения опасных конвективных явлений. Рис. 3 выделяет области надежной работы ДМРЛ. Это северная и центральная часть ЕТР.

Зная интенсивности отказов ДМРЛ, можно вычислить вероятность их безотказной работы и вероятность отказа в определенный момент времени. Учитывая вероятность грозы в этот же момент, можно получить количественный показатель пропуска такого ОЯП как гроза на территории конкретного локатора, определяемый его метрологической надежностью.

Литература

1. ПРИКАЗ Росгидромета от 21 июня 2004 г. № 95 «О ВНЕДРЕНИИ НА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЕТИ РОСГИДРОМЕТА "ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ШТОРМОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ НА БАЗЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ».
2. Руководящий документ Росгидромета, РД 52.11.332-93 «Методика выполнения радиолокационных наблюдений с помощью комплекса АКСОПРИ», одобрены ЦМКП Росгидромета решением от 10.02.1993 г., 1993, 84 с.
3. Порядок проведения работ по выбору позиций для размещения доплеровских метеорологических радиолокаторов наблюдательной сети Росгидромета. Утвержден приказом Росгидромета от 30.09.2009 № 257.
4. Проект создания радиолокационного поля сети ДМРЛ-С в части вопросов организации связи. ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» Москва. 2014.
5. Жуков В.Ю., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Интерпретация данных доплеровских метеорологических радиолокаторов. Учебное пособие. Санкт-Петербург, РГГМУ, 2016.- 118 с.