

**Об интеграции данных автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса (АМРК) и многопозиционной системы наблюдения (МПСН) в автоматизированную метеорологическую систему «МетеоКуб» для повышения точности прогноза конвективной облачности**

С.Ю. Михайлушкин<sup>1</sup>, А.Д. Кузнецов<sup>2</sup>, А.С. Солонин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Общество с ограниченной ответственностью «Агентство Поддержки Бизнеса» (Санкт – Петербург)*

*E-mail: [bsameteo@gmail.com](mailto:bsameteo@gmail.com)*

<sup>2</sup> *Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение «Российский Государственный Гидрометеорологический Университет»*

*(Санкт – Петербург)*

*E-mail: [kuznetsov1946@inbox.ru](mailto:kuznetsov1946@inbox.ru)*

<sup>3</sup> *Общество с ограниченной ответственностью «Институт радарной метеорологии» (Санкт – Петербург)*

*E-mail: [iram@iram.ru](mailto:iram@iram.ru)*

*Представлены результаты исследования процесса развития мощных кучево – дождевых облаков и его связи с аэрозольным загрязнением атмосферы, образовавшимся от сгорания авиационного топлива при интенсивном движении воздушных судов в зоне взлёта - посадки. Синхронное наложение траекторий движения воздушных судов (данные многопозиционной системы наблюдения - МПСН) и движения контуров опасных явлений (данные автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса - АМРК) проведено при помощи инструментов цифровой платформы АИС «МетеоКуб».*

**On the integration of data from the automated weather surveillance complex (AWSC) and the multilateration (MLAT) – digital surveillance technology into the automated meteorological system “MeteoCube” to improve the accuracy of the forecast of convective clouds**

S.Y. Mikhaylushkin<sup>1</sup>, A.D. Kuznetsov<sup>3</sup>, A.S. Solonin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> “BSA” PLC, <sup>2</sup> “IRAM” LLC, <sup>3</sup> “RSHU” State University

*The results of the study of the development of powerful cumulonimbus clouds and its connection with aerosol pollution of the atmosphere formed from the combustion of aviation fuel during heavy aircraft traffic in the take-off and landing zone are presented. Synchronous overlap of the trajectories of aircraft movement (data of multilateration automated dependent surveillance – MLAT/ADS-B) and the movement of the contours of dangerous phenomena (data of automated weather surveillance complex - AWSC) was carried out using the tools of the digital platform AIS "MeteoCube".*

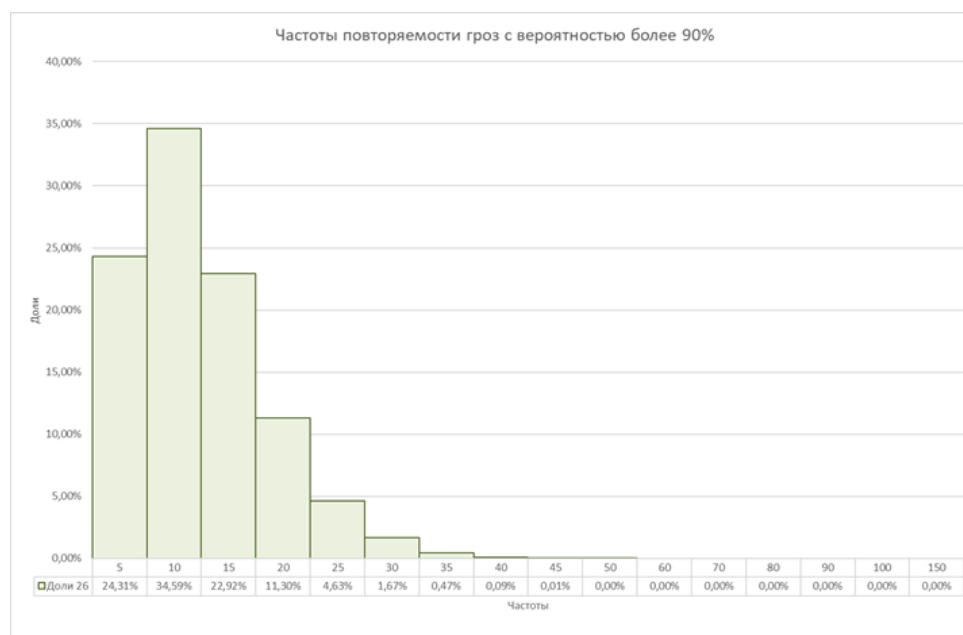
**1. Цифровая платформа «МетеоКуб» и особенности усвоения информации от АМРК и МПСН.**

В последние годы в связи с непрерывным ростом количества рейсов воздушных судов (ВС) ужесточились требования к качеству оперативного прогноза погоды для авиации (наукастинга). Для автоматизированной обработки поступающей разнообразной метеорологической информации и преобразования её в единый формат,

пригодный для наукастинга, специалистами ООО «Институт радарной метеорологии» разработана и поддерживается цифровая платформа АИС «МетеоКуб».

### 1.1. Учёт многолетних закономерностей развития конвективной облачности в АИС «МетеоКуб»

Известно, что одна из основных задач наукастинга - определение времени и места возникновения очагов опасных явлений (ОЯ), связанных с кучево-дождевой облачностью (сильные ливни, грозы, град, шквалы, сдвиги ветра и т.д.), мониторинг их развития и передача результатов в автоматизированную систему управления воздушным движением (АС УВД). В рамках данной работы для АИС «МетеоКуб» задачу получения информации о расположении в пространстве и интенсивности опасных для полётов явлений погоды решил автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК), расположенный в аэропорту Пулково (Санкт - Петербург). Долговременные многолетние закономерности развития конвективной облачности учтены в системе наукастинга через расчёт повторяемости ОЯ по территории обзора АМРК за летние сезоны 2014 – 2020 годов. Общее количество сканирований (в ячейках 30\*30 секунд) составило за этот период около 50 млрд. В 360 тысячах случаев появления радиоэхо в ячейках были зафиксированы грозы с вероятностью более 90% и град различной интенсивности. Частоты появления радиоэхо гроз и града в уникальных ячейках представлены на рис 1. Количество ячеек с повторяемостью радиоэхо гроз в 20 – 25 сканированиях составляет 5,85%, а более чем в 25 сканированиях - 3% от общего числа ячеек с зафиксированными грозами.



**Рис.1** Повторяемость радиоэхо гроз с вероятностью более 90% и града

На схеме пространственного распределения повторяемости радиоэхо гроз в ближней зоне аэропорта «Пулково» (рис. 2) ячейки с частотами повторяемости радиоэхо в 20-25 сканированиях показаны светло - коричневым цветом, а более 25 раз – розовым. Несколько областей повышенной повторяемости радиоэхо гроз совпали с зонами маневрирования ВС на подходах к аэропорту «Пулково» (контур бордового цвета). Появилась гипотеза о возможном влиянии выбросов авиационных двигателей на частоту образования и интенсивность развития грозово-градовых Сб. Полноценная

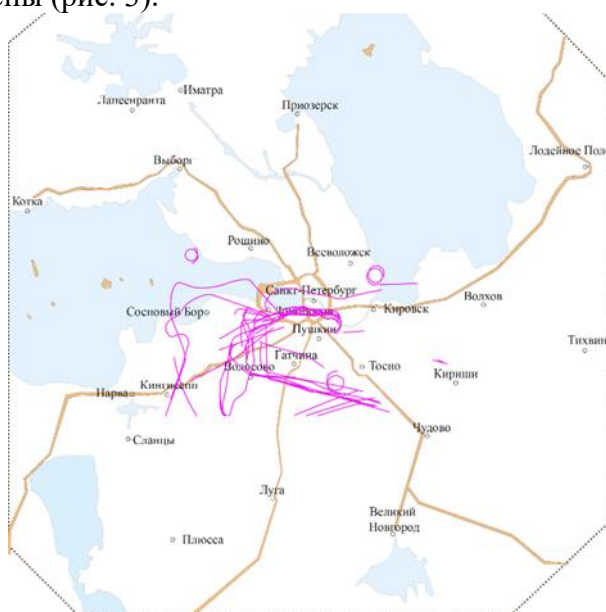
проверка этой гипотезы, безусловно, требует значительного количества времени для рассмотрения репрезентативной выборки синоптических ситуаций.



**Рис. 2** Пространственное распределение повторяемости радиозхот гроз (>90%) и града в ближней зоне аэропорта «Пулково».

### **1.2. Получение АИС «МетеоКуб» информации о траекториях движения воздушных судов (ВС)**

Существуют различные системы зависимого наблюдения. Наибольшее распространение получили многопозиционная система и система на базе вторичной локации. Процесс зависимого наблюдения состоит в контроле координат активного передатчика (транспондера), расположенного на движущемся объекте, и определении с высокой точностью положения транспондера ВС в пространстве и времени. Задача получения информации о траекториях движения ВС для АИС «МетеоКуб» в зоне маневрирования аэропорта (круг и глиссады), где двигатели работают в форсированных режимах и образование частиц несгоревшего топлива максимально была решена через использование данных многопозиционной системы наблюдения (МПСН) за воздушным движением. Использованы данные о треках ниже 3000 метров. Транзитные траектории ВС (выше 3 км) удалены (рис. 3).



**Рис.3** Траектории воздушных судов на высоте менее 3000 метров

## **2. Экологические аспекты полётов ВС**

Специалисты Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова на протяжении многих лет всесторонне изучают влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на процессы, происходящие в кучево-дождевых облаках (Сб). Исследования показали, что непосредственное воздействие на микроструктуру конвективных облаков зависит не только от концентрации аэрозольного вещества, но и от пространственного распределения аэрозолей, их физико-химических свойств и времени существования. Взаимодействие облаков и аэрозолей носит сложный характер. Имеет место не только влияние аэрозолей на эволюцию облаков и осадков, но и обратное влияние. Выпадающие из облаков осадки вымывают аэрозоли из атмосферы на подстилающую поверхность и, тем самым, изменяют аэрозольный состав воздуха. При исследовании физических воздействий на атмосферные процессы указывалось, что при прохождении самолётом нижней части облака на высоте 1 – 3 км нагрева воздуха в струе, выбрасываемой соплом двигателя, обычно оказывается недостаточно для полного испарения облачной влаги уже на расстоянии в несколько калибров сопла, и за самолётом на этих высотах образуется длинный след испарения, увеличивая количество мелких капель в атмосфере.

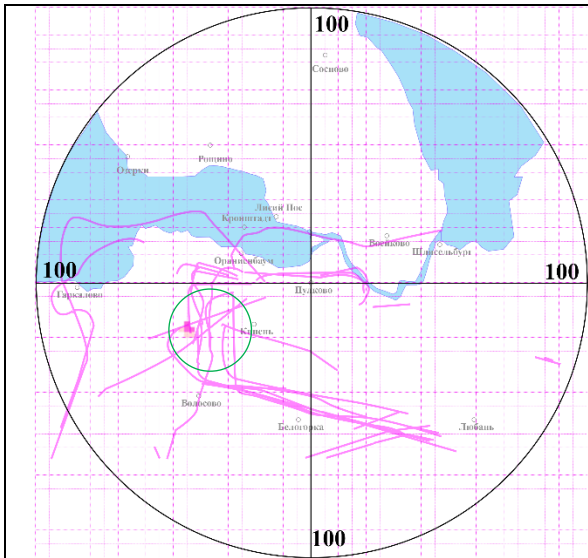
Из работ по авиационной экологии известно, что интенсивное движение ВС является причиной повышенного загрязнения атмосферы продуктами сгорания топлива. Аэропорт на 100 рейсов в сутки даёт следующую картину суточного выброса вредных веществ: оксиды азота (NO) - 8 т, оксиды углерода (CO) – 9,6 т, углеводороды (HC) – 1,6 т и т. д. Все они могут стимулировать в атмосфере химические реакции, поглощать или рассеивать радиацию и изменять свойства облаков. Аэрозоли являются источниками образования конденсационных следов или перистых облаков и могут являться одним из факторов увеличения облачности.

## **3. Совместный анализ данных АЗН и АМРК.**

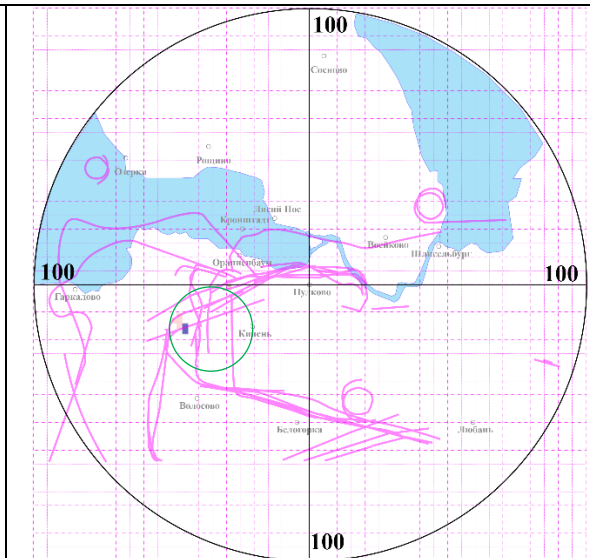
Совместный анализ данных АЗН и АМРК позволяет на одной карте синхронно отобразить области, «засеянные» пассивным аэрозолем в результате работы двигателей ВС и контуры ОЯ по данным АМРК. Для примера взята синоптическая ситуация первой половины дня 7 июня 2019 года. ВС заходили на посадку через Гатчину - Ломоносов, с курса 280 градусов, а взлетали по курсу 100 градусов, затем, по мере развития Сб, вылеты и прилёты были переведены на безопасный курс. На схемах представлены треки ВС, оставленные не более чем за 30 минут до срока локационного наблюдения, и восстановлена картина развития ОЯ (от сильного ливня и выше).

Схемы, приведённые на рисунке 4, по нашему мнению, показывают, что распылённый двигателями ВС аэрозоль усиливает процессы, происходящие в конвективной облачности на стадии перехода их из мощных кучевых облаков (CuCong) в Сб. На схемах (рис 4 а-д) наблюдается образование контуров ОЯ непосредственно вдоль треков движения ВС, оставленных не более чем за 30 минут до времени локационного обзора (зарождающиеся контуры обведены зелёными окружностями).

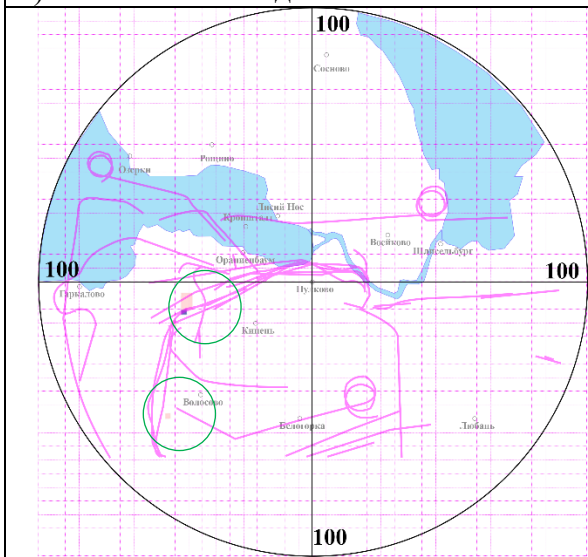
Первый контур ОЯ появляется в 10:50 (UTC) по азимуту 250 градусов в области сгущения посадочных треков ВС в районе Гостилиц, а к 14:00 образовавшаяся впоследствии суперячейка разрушается, оставив слабеющие очаги умеренного града в районах Копорья и Кронштадта.



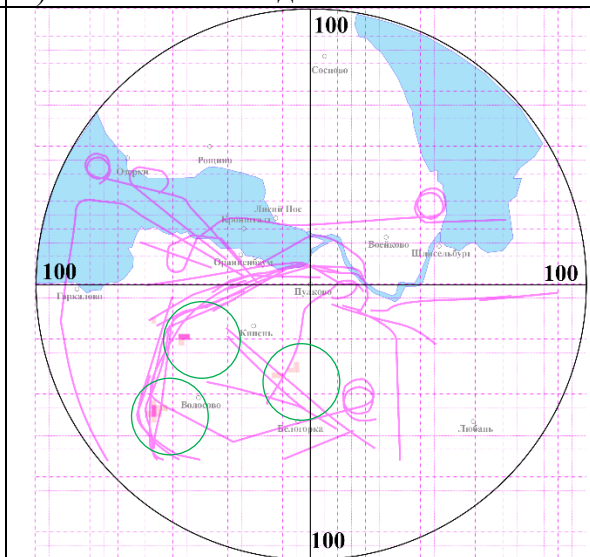
а) 07 июня 2019 года 10:50 UTC



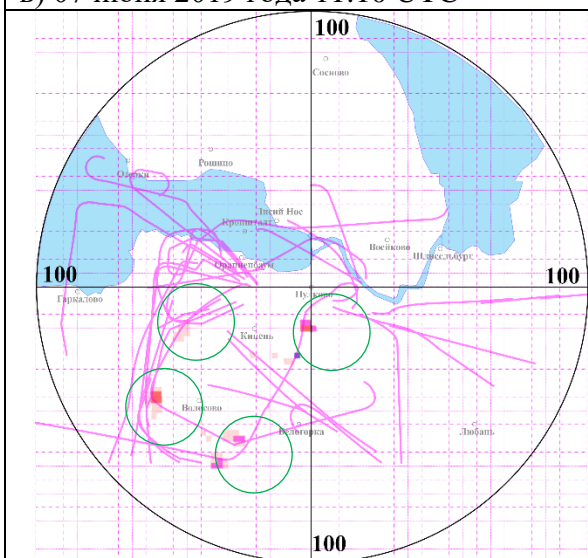
б) 07 июня 2019 года 11:00 UTC



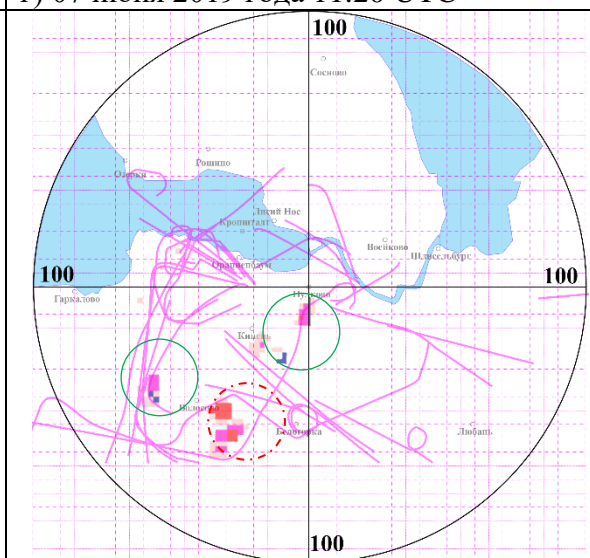
в) 07 июня 2019 года 11:10 UTC



г) 07 июня 2019 года 11:20 UTC



д) 07 июня 2019 года 11:30 UTC



е) 07 июня 2019 года 11:40 UTC

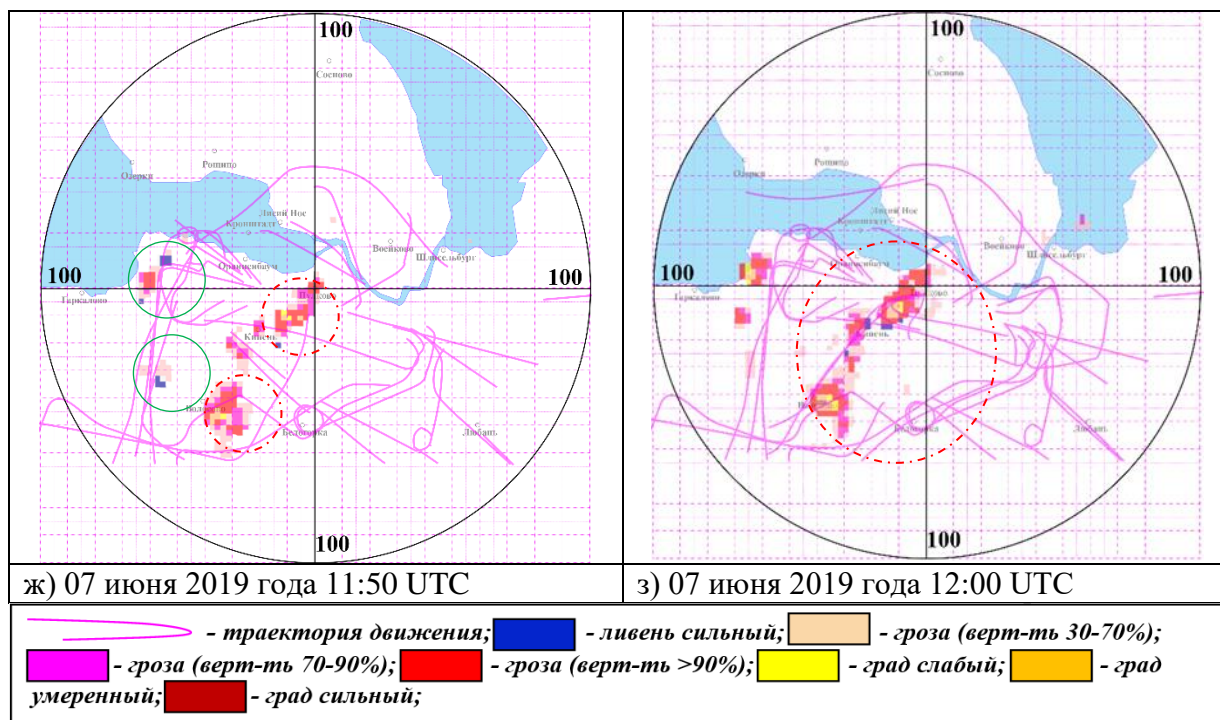


Рис. 4.

Отчётливо видно, как происходит зарождение большого числа ячеек ОЯ вдоль треков ВС. В 11:40 южнее Волосово - образование мощной грозово-градовой ячейки (область площадью примерно 30 кв км выделена красной штрихпунктирной линией). К 12:00 по азимуту 215 градусов на площади более 200 кв км образуется линия градовых ячеек с высотами верхней границы облачности (ВГО) достигающими 12 км. Далее ячейки Сb выстраиваются в единую дугу, образуя суперячейку. Высота ВГО выравнивается по фронту облаков и доходит местами до 13,5 км, а местами достигает 15,5 км. Фиксируется сильный град. После образования суперячейки влияние авиационного аэрозоля на процессы развития облачности, по-видимому, становится минимальным из-за значительной мощности слоя Сb и интенсивности природных процессов.

### Заключение

1. При увеличении плотности потока ВС и значительной неустойчивости атмосферы воздушное движение в зоне аэропорта может стать фактором образования ядер коагуляции в количестве, достаточном для перехода мощной конвективной облачности в стадию грозовых Сb. Однако, чтобы сказать об этом с уверенностью, необходима тщательная проверка этой гипотезы на репрезентативной выборке.

2. Задачу точного позиционирования ячеек ОЯ в системе цифровой платформы АИС «МетеоКуб» решает автоматизированный радиолокационный комплекс, а аналогичную задачу для воздушных судов и формируемых их двигателями шлейфов аэрозоля - многопозиционная система наблюдения за ВС.