

# Алгоритмическая модель краткосрочного прогнозирования полей метеовеличин на основе полученных данных радиолокационных и наземных наблюдений

И.Е. Кузнецов, e-mail: vaiumet@mail.ru  
Д.В. Булгин, e-mail: d.bulgin77@yandex.ru  
С.Ю. Суворов

Военный учебный научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского  
и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Аннотация.** *На основе комплексирования данных, получаемых от метеорологических радиолокационных станций и наземных наблюдений в статье предлагается модель краткосрочного прогнозирования полей метеовеличин.*

**Ключевые слова:** *Метеорологические радиолокационные данные, данные наземных наблюдений, фильтр Калмана.*

## Введение

В настоящее время информация, полученная с помощью метеорологических радиолокаторов обладает своими преимуществами и недостатками. Наиболее важным преимуществом является возможность получения сведения о количестве облачности (N), водности облаков (F), интенсивности осадков (I) и видимости (V) на достаточно большой территории с хорошим пространственным (4x4 км) и временным (10 минут) разрешением. Одним из основных недостатков подобного рода данных является то, что они являются косвенными и зависят от факторов, определяющих распределение частиц по размерам и их фазовое состояние [1].

Совместное использование наземных и радиолокационных наблюдений позволит повысить качество прогнозирования и требует разработки алгоритмов согласования этих данных, поэтому задачу прогнозирования мезометеорологических полей на их основе необходимо решать в три этапа [2].

На первом этапе необходимо провести моделирование процесса получения информации о пространственно-временном распределении рассматриваемых МЭ с использованием статистических характеристик, а также построить модель радиолокационных измерений и модель аппроксимации данных наземных измерений.

На втором этапе необходимо разработать алгоритм коррекции поля радиолокационных измерений количества облачности, водности облаков, интенсивности осадков и видимости по данным наземных наблюдений. На третьем этапе оценить эффективность предлагаемой процедуры. Перейдем к рассмотрению данных вопросов.

### 1. Разработка алгоритмической модели

Предлагаемый алгоритм построен на основе использования статистических зависимостей между данными радиолокационных измерений отражательной способности метеорообъектов, полученными с метеорологических радиолокационных станций, и значениями интенсивности осадков), видимости, измеренных на метеостанциях, а также водностью облаков, восстановленной по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы, и количеством облачности реализуется следующим образом:

1. На основе данных наземных наблюдений, полученных от метеостанций и постов, восстанавливается поле значений метеовеличин первого приближения с использованием метода сплайновой интерполяции.

2. По данным радиолокационных измерений ( $Z$ ) в каждой точке пространства (ячейке 20x20 км для количества облачности и 4x4 км для метеовеличин) рассчитываются значения метеоэлементов по формулам [3]:

$$I_{(x,y)} = 10^{\frac{1}{\beta_1} \lg \frac{Z_{(x,y)}}{\alpha_1}} \quad (1)$$

$$F_{(x,y)} = 10^{\frac{1}{\beta_2} \lg \frac{Z_{(x,y)}}{\alpha_2}} \quad (2)$$

$$V_{(x,y)} = 10^{\frac{1}{V_{0(x,y)}} \lg \frac{I_{(x,y)}}{-0.74}} \quad (3)$$

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  – коэффициенты, зависящие от вида и интенсивности осадков.

3. Проводится вариационный анализ радиолокационных и наземных измерений метеовеличин с использованием модели:

$$J = \int \int_{x_j, y_j}^{x_{j+1}, y_{j+1}} \left[ A(Q_{(x,y)} - Q_{0(x,y)})^2 + B(Q_{(x,y)} - Q_{1(x,y)})^2 + C \left( \frac{\partial(Q_{(x)} - Q_{1(x)})}{\partial x} + \frac{\partial(Q_{(y)} - Q_{1(y)})}{\partial y} \right)^2 \right] \cdot dx dy \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $Q$  – искомое значение, которое является конечным результатом процедуры вариационного согласования;  $Q_0$  – значение первого приближения, учитывающее информацию, полученную с сети метеорологических станций;  $Q_1$  – значение, полученное по данным радиолокационных наблюдений;  $A, B$  – весовые коэффициенты, определяющие вклад каждого из слагаемых в вариационный анализ;  $x$  и  $y$  – координаты точки пространства, в которой определяется искомый метеоэлемент.

4. Разрабатывается прогноз искомого метеоэлемента ( $Q$ ) на основе модели оптимальной линейной фильтрации (фильтра Калмана), адаптированной к решению поставленной задачи по алгоритму, представленному на рисунке.



*Рисунок.* Алгоритм разработки прогноза искомого метеоэлемента

Отличительной особенностью предложенного алгоритма является учет физико-географических и климатических особенностей района исследования, а также использование моделей комплексирования разнородной метеорологической информации на основе данных радиолокационных и наземных наблюдений с учетом ошибок измерения метеопараметров.

Реализация данного алгоритма была осуществлена на основе архивных данных по территории Краснодарского края за период с 2015 по 2020 год. Полученные результаты были сравнены с измеренными

значениями искомым метеовеличин на станциях наблюдений, не включенных в общий расчет.

### **Заключение**

Полученная в ходе исследования алгоритмическая модель краткосрочного прогнозирования полей метеовеличин на основе полученных данных радиолокационных и наземных наблюдений может быть использована в прогностической практике метеорологических подразделений.

### **Список литературы**

1. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминова Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 231 с.
2. Кузнецов И.Е. Алгоритмическая модель анализа поля метеорологической дальности видимости на основе комплексации радиолокационных и аэросиноптических данных /И.Е. Кузнецов, Д.В. Булгин, А.А Насонов// Сборник статей по материалам XIX Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы методология, технологии». Ч. 2. Воронеж: ВГУ, 2019. С. 409-413.
3. Булгин Д.В. Методика оценки интенсивности осадков и водности облаков на основе данных дистанционных измерений /Д.В. Булгин, И.Е. Кузнецов// Сборник статей по материалам XXI Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы методология, технологии». Воронеж: ООО «ВЭЛБОРН», 2021. С. 420-426.