

Оценка возможности прогноза формирования условий опасных метеоявлений по результатам многочастотных СВЧ радиометрических измерений с помощью методов машинного обучения

М.А.Матюков¹, Е.В.Федосеева¹, И.Н.Ростокин¹, Г.Г.Щукин²

¹Муромский институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23

E-mail: maks.matyukov@mail.ru

²АО «Государственный научно- исследовательский навигационно- гидрографический институт (АО «ГНИНГИ»), 199106, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 41,

E-mail: ggshchukin@mail.ru

Представлены результаты оценки возможности прогнозирования предикторов опасных метеоявлений по данным многочастотных СВЧ радиометрических измерений с применением методов машинного обучения (МО). Успешно реализован прогноз процента облачности, подтверждена его значимость в качестве условий изменения погоды и развития опасных метеорологических явлений.

Ключевые слова: многочастотные СВЧ радиометрические измерения, машинное обучение, облачность, предикторы опасных метеоявлений, прогноз погоды

Assessing the feasibility of forecasting the formation of hazardous meteorological conditions based on the results of multi-frequency microwave radiometric measurements using machine learning methods

M.A.Matyukov, E.V.Fedoseeva, I.N.Rostokin

Murom Institute (branch) of Vladimir State University.

The results of an assessment of the feasibility of forecasting hazardous meteorological event predictors based on multi-frequency microwave radiometric measurements using machine learning (ML) methods are presented. A cloud cover percentage forecast was successfully implemented, confirming its significance as a predictor of weather change and the development of hazardous meteorological events.

Keywords: multi-frequency microwave radiometric measurements, machine learning, cloudiness, predictors of dangerous meteorological phenomena, weather forecasting

Введение

Решение актуальных задач атмосферной науки и климатического мониторинга неразрывно связано с потребностью в максимально достоверных данных о состоянии окружающей среды. В этом контексте особую роль играют технологии бесконтактного зондирования, среди которых выделяются многочастотные микроволновые радиометрические комплексы. Благодаря способности фиксировать изменения термодинамических характеристик атмосферы, включая параметры облачного покрова, подобные системы стали важнейшим инструментом для раннего выявления неблагоприятных погодных сценариев. Необходимость прогнозирования опасных метеорологических явлений с разной степенью заблаговременности — от текущего момента до трёх суток — закреплена в новом ГОСТ Р 22.1.07-2023 [1].

Современная метеорологическая СВЧ-радиометрическая установка представляет собой пассивный измерительный комплекс, предназначенный для дистанционного анализа структуры гидрометеоров, траекторий их перемещения и фазового состава осадков. Принцип действия опирается на сбор данных о мощности собственного радиошумового излучения атмосферы рефлекторной антенной с последующей маршрутизацией сигналов по трём частотным каналам в специализированном модуле-разделителе. Важной конструктивной особенностью является наличие в каждом канале опорного тракта, позволяющего эффективно подавлять помехи, проникающие через боковые лепестки антенной системы [2,3,4]. Современный этап развития подобных измерительных платформ характеризуется активной интеграцией интеллектуальных алгоритмов анализа данных. Внедрение методов машинного обучения позволяет не только автоматизировать обработку радиометрических наблюдений, но и строить прогностические модели, выявляющие скрытые закономерности во временных рядах. В рамках настоящего исследования демонстрируется эффективность такого подхода для предсказания динамики облачности, что подтверждает его статус значимого индикатора формирования экстремальных метеорологических ситуаций.

В результате проведенных измерений в августе 2023 года – декабре 2024 года были сформированы массивы данных, представляющие собой значения выходных сигналов одиннадцати каналов СВЧ радиометрической системы.

Определение доступных метеоданных в период измерений

Для решения задачи прогнозирования метеопараметров приземного слоя атмосферы были собраны данные с метеостанции в городе Муром. Информация доступна с периодичностью в 5 минут - 288 значений в день. [5]. Кроме того, использовались также данные со сторонних сайтов, которые предоставляют архив фактической погоды для города Муром. Результаты поиска такой информации показаны в Таблице 1. Частота обновления данных измеряется в минутах – м, или часах – ч.

Таблица 1. Анализ доступных метеоданных для города Муром за период август 2023-декабрь 2024 г.

Метеоданные	Источник метеоданных	Частота обновления	Число значений	Доля (от всех)
Температура, влажность, давление, ветер	Метеостанция	5м	90500	100%
	Rp5.ru	3ч	4129	
	Meteo9.ru		4105	
	pogodaiklimat.ru		2434	
Осадки	Метеостанция	5м	650	0.72%
	Meteo9.ru	12ч	291	7.09%
	pogodaiklimat.ru		248	10.19%
	Rp5.ru		220	5.33%
Облачность	Meteo9.ru	3ч	4105	100%
Тип облаков, их высота	pogodaiklimat.ru		2434	
	Rp5.ru		1364	33.03%
Горизонтальная видимость	Meteo9.ru		4105	100%
	pogodaiklimat.ru		2434	
	Rp5.ru		1592	38.56%
Горизонтальная видимость (нестандартная)	pogodaiklimat.ru		669	27.49%
	Rp5.ru		370	23.24%
	Meteo9.ru		285	6.94%
Погода	Rp5.ru		1199	29.04%
	pogodaiklimat.ru		796	32.7%
	Meteo9.ru		255	6.21%

Определение опасных метеоявлений

Для определения опасных метеоявлений использовался ГОСТ Р 22.1.07-2023 «Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений и процессов», результаты сведены в Таблицу 2.

Из таблицы исключены смерч (торнадо, тромб, вихрь) и сильный ветер (включая шторм, шквал, ураган). Также был исключён суховей, по причине того, что требуемая заблаговременность прогноза для него составляет не менее 24 часов, в то время как рассматриваемая СВЧ радиометрическая система рассчитана на краткосрочный период (nowcasting), т.е. заблаговременность прогноза не превышает 12 часов. Важно отметить, что облачность не является в прямом смысле индикатором опасной погоды, но ее формирование обязательное условие для метеоявлений - снега, продолжительных дождей, ливня и града.

Таблица 2. Требования ГОСТ Р 22.1.07-2023 к прогнозированию опасных метеорологических явлений

Название опасного метеоявления	Метеопараметр						Дополнительно
	Тв	СВ	КО	ИО	НВ	ГВ	
Засуха	+	+			+		
Сильный мороз	+						
Сильный дождь			+	мм/мин, мм/ч			
Сильные пыльные (песчаные) бури		+			+	+	
Сильная метель		+	+		+	+	Высота снежных заносов, см, м.
Продолжительные дожди			+	мм/ч, мм/сут			
Снег, сильный снегопад			+	мм/ч			
Сильный продолжительный туман						+	
Гроза		+	+		+		
Волны тепла и холода	+						Температура поверхности земли, °С
Ливень			+	мм/мин			
Крупный град	Период выпадения: с, мин. Диаметр, мм, Площадь покрытия градом поверхности Земли, м ²						

Примечание: Тв — температура воздуха, °С; СВ — скорость ветра, м/с; КО — количество осадков, мм; ИО — интенсивность осадков; НВ — направление ветра, градусы; ГВ — горизонтальная видимость, м.

Прогноз облачности на основе данных, полученных с СВЧ радиометрической системы

Были выполнены действия по получению прогноза различных метеопараметров с помощью методов машинного обучения. Для формирования модели машинного обучения использовалась программа KNIME, базовая модель – «tree ensemble» - ансамбль решающих деревьев [5]. На данный момент не удаётся стабильно определить будущие значения осадков, горизонтальной видимости, типа облачности, а также состояния погоды из-за малого числа доступных данных. Ниже представлены

результаты прогнозирования облачности. Прогнозирование осуществлялось для четырёх временных отрезков – последние числа марта, августа, ноября, декабря – по 8 отсчётов для каждого случая. Номера отсчётов представлены на горизонтальной оси каждого из графиков рис 1. и рис 2.

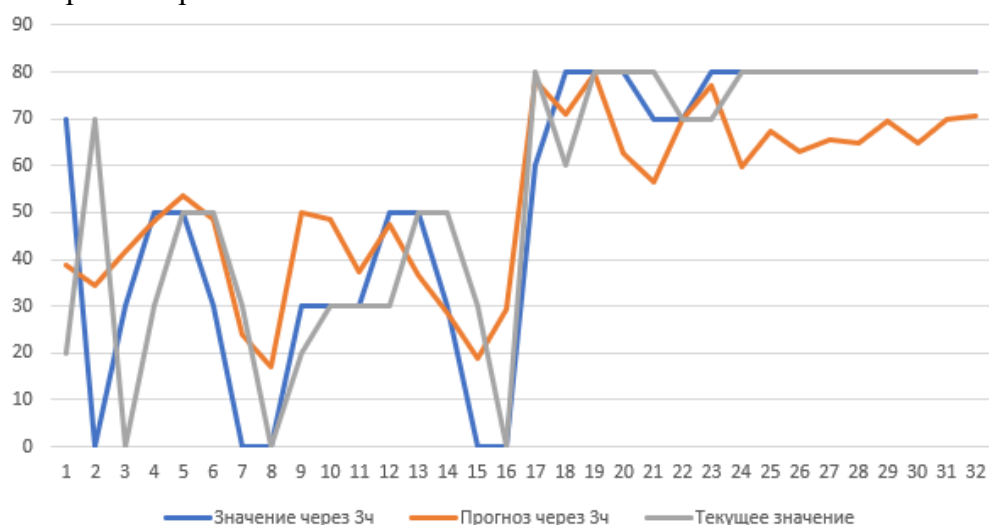


Рис. 1. Прогноз облачности, с шагом 3 часа, %

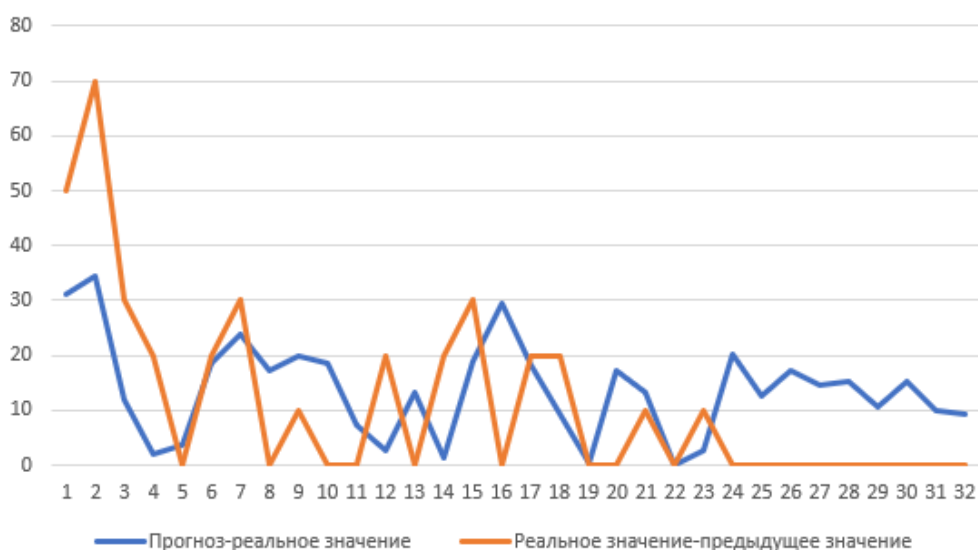


Рис. 2. К оценке точности прогноза облачности, с шагом 3 часа, %

Таблица 3. Анализ точности прогноза облачности

Рассматриваемые отсчёты	Метод	СКО	САО	СОМ	R
1-24	Прогноз tree ensemble	293.56	13.98	4.5	84.49%
	Новое значение = старому	533.33	15	1.67	65.55%
1-32	Прогноз tree ensemble	264.44	13.74	0.1218	87.83%
	Новое значение = старому	400	11.25	1.25	75.57%

Примечание: СКО — среднеквадратическое отклонение, °С; САО — средняя абсолютная ошибка; СОМ — средняя ошибка модели; R — коэффициент корреляции.

Выводы

На основе проведённого исследования и анализа представленных результатов можно сформулировать следующие выводы:

- использование методов - ансамбля решающих деревьев (tree ensemble) в среде KNIME позволило успешно реализовать прогноз процента облачности по данным многочастотных СВЧ радиометрических измерений. Коэффициент детерминации R достиг значений 84,49–87,83%, что подтверждает перспективность выбранного подхода;
- сравнительный анализ показал, что модель машинного обучения демонстрирует существенно лучшие метрики точности (СКО, САО, СОМ) по сравнению с методом персистентности («новое значение = старому»), что свидетельствует о способности алгоритма выявлять скрытые закономерности во временных рядах радиометрических данных.

Для повышения точности и расширения перечня прогнозируемых параметров целесообразно:

- увеличить объём и разнообразие обучающей выборки;
- интегрировать данные от дополнительных источников (спутниковые наблюдения, лидарные измерения);
- исследовать применение более сложных архитектур моделей машинного обучения (рекуррентные нейронные сети, градиентный бустинг).

Таким образом, полученные результаты подтверждают принципиальную возможность использования многочастотных СВЧ радиометрических измерений в сочетании с методами машинного обучения для решения задач краткосрочного прогнозирования условий возникновения опасных метеорологических явлений.

Литература

1. ГОСТ Р 22.1.07-2023. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных метеорологических явлений и процессов. Общие требования. — Введ. 2024-05-01. — М.: Стандартинформ, 2023.
2. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 283 с.
3. Радиоизлучение Земли как планеты/ А.Е. Башаринов, А.С.Гурвич, С.Т. Егоров. - М.: Наука, 1974. - 187 с.
4. Фалин В.В. Радиометрические системы СВЧ. - М.: Луч, 1997. - 440 с.
5. Исследование влияния горизонта прогнозирования на точность предсказания метеопараметров атмосферы моделями машинного обучения / М. А. Матюков, Е. В. Федосеева, И. Н. Ростокин, Г. Г. Щукин // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2026. – № 1(61). – С. 5-13. – DOI 10.66032/2221-2574-2026-1-1-5-13. – EDN TQTRYM.