

Краткосрочное прогнозирование метеопараметров атмосферы по результатам работы нейронной сети трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы

В.В.Каряев¹, И.Н. Ростокин¹, Е.В.Федосеева¹, Г.Г.Щукин², Е.А. Ростоккина¹

¹Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г.Столетовых»,
602264, г.Муром, Владимирской обл., ул. Орловская 23
E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

²Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул.
Ждановская, 13
E-mail: ggshchukin@mail.ru

*В работе рассмотрен вопрос построения нейронной сети для СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы для решения задачи краткосрочного прогнозирования метеопараметров. Определена процедура обучения нейронной сети по данным суточных многочастотных СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения атмосферы с предварительной оценкой наличия корреляции между величиной выходных сигналов радиометра и медианными численными данными значений метеопараметров, фиксируемых мобильной метеостанцией. Получены результаты численного эксперимента с нейронной сетью, выполнено прогнозирование выходных параметров системы для текущего момента и с упреждением на два часа
Ключевые слова: нейронная сеть, мониторинг атмосферы, многочастотная СВЧ радиометрическая система, прогнозирование метеопараметров.*

Short-term forecasting of atmospheric meteorological parameters based on the results of the neural network of a three-band microwave radiometric system

V.V. Karyayev¹, I.N. Rostokin¹, E.V. Fedoseeva¹, G.G. Shchukin², E.A. Rostokina¹

¹Murom Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University", 602264, Murom, 23, Orlovskaya str.

²Academy of Space and Military Sciences. A.F.Mozhaisky, 191198, St.-Petersburg, Zhdanovskaya, 13

*The paper considers the issue of constructing a neural network for a microwave radiometric system for remote sensing of the atmosphere to solve the problem of short-term forecasting of meteorological parameters. The procedure for training a neural network based on the data of daily multi-frequency microwave radiometric measurements of atmospheric radiothermal radiation with a preliminary assessment of the correlation between the value of the radiometer output signals and the median numerical data of the values of meteorological parameters recorded by the mobile weather station is determined. The results of a numerical experiment with a neural network are obtained, and the output parameters of the system are predicted for the current moment and with a two-hour advance.
Keywords: neural network, atmospheric monitoring, multi-frequency microwave radiometric system, weather forecasting.*

Введение

Задача краткосрочного прогнозирования метеопараметров атмосферы по данным СВЧ радиометрического зондирования может быть решена при включении в состав системы нейронной сети, обеспечивающей построение наиболее вероятностных данных по метеообстановке при соответствующей ее подготовке и обучении [1].

При построении нейронной сети для СВЧ радиометрической системы необходимо учитывать специфические условия ее функционирования: большой объем непрерывно поступающих данных измерений, как выходных сигналов СВЧ радиометрической системы, так и данных измерений метеопараметров метеостанцией в приземном слое атмосферы с необходимостью оперативного решения задачи автоматического выделения из массива данных ключевых признаков и построения наиболее вероятностных взаимосвязей [2-4].

Определение основных закономерностей выходных сигналов СВЧ радиометрических систем при измерении радиотеплового излучения атмосферы при действии различных дестабилизирующих факторов зависит от большого числа неодинаковых по значимости факторов, поэтому для их выявления возможно использование нейросетевых технологий.

Применение нейронных сетей позволит значительно сократить время на поиск зависимостей результирующих данных от входных параметров, за счет переобучения сети и подбора входных весовых коэффициентов каждого из нейронов на каждом слое сети на всем этапе обучения при возможности их дообучения, на основе вновь полученных фактических данных.

Принципы построения и функционирования нейронной сети СВЧ радиометрической системы

Включение нейронной сети в состав систем дистанционного зондирования является современным направлением их совершенствования, так в GoogleResearch применяется нейронная сеть MetNet для прогнозирования осадков с интервалом от 2 мин до 8 часов [5-9], а NOAA использует физическую модель для прогнозирования осадков с упреждением 7-8 часов.

Была построена нейронная сеть для трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы, задача которой в конечном итоге - составление сверхкраткосрочных прогнозов опасных явлений, при установлении зависимости уровня микроволновых радиометрических сигналов системы мониторинга атмосферы от состояния атмосферы, что позволит осуществлять прогнозирование с учетом «местных особенностей», характерных только для конкретного географического района размещения системы.

В процессе разработки нейронной сети создан прототип информационной базы данных, на основе PostgreSQL, в которую было загружено 99 миллионов записей данных с аналого-цифрового преобразователя выходного блока СВЧ радиометрической системы, включающих данные величины сигнала по 8 радиометрическим каналам, а также приблизительно 21 тысяча измерений погодных условий (температура, влажность, скорость ветра, осадки и т.д.).

Для решения задачи введения соответствия измерений метеопараметров атмосферы метеостанцией, выполняемых с периодом равным 5 минутам, и данных сигналов СВЧ радиометрической системы, получаемых через 0.1 секунды, выполнялось сопоставление метеоданных и медианных значений выходных сигналов в диапазоне ± 2.5 минуты (что соответствует приблизительно 3000 измерений), что позволило снизить влияние на результаты прогнозирования статистического характера данных измерений СВЧ радиометрической системы.

На рис. 1 и 2 приведены результаты применения медианы к радиометрическим данным (данные отображены за одни сутки). На рис. 2 представлены графические зависимости, наглядно отображающие взаимосвязь данных радиометрических измерений и значений метеопараметров при применении корреляционной обработки медианных значений.

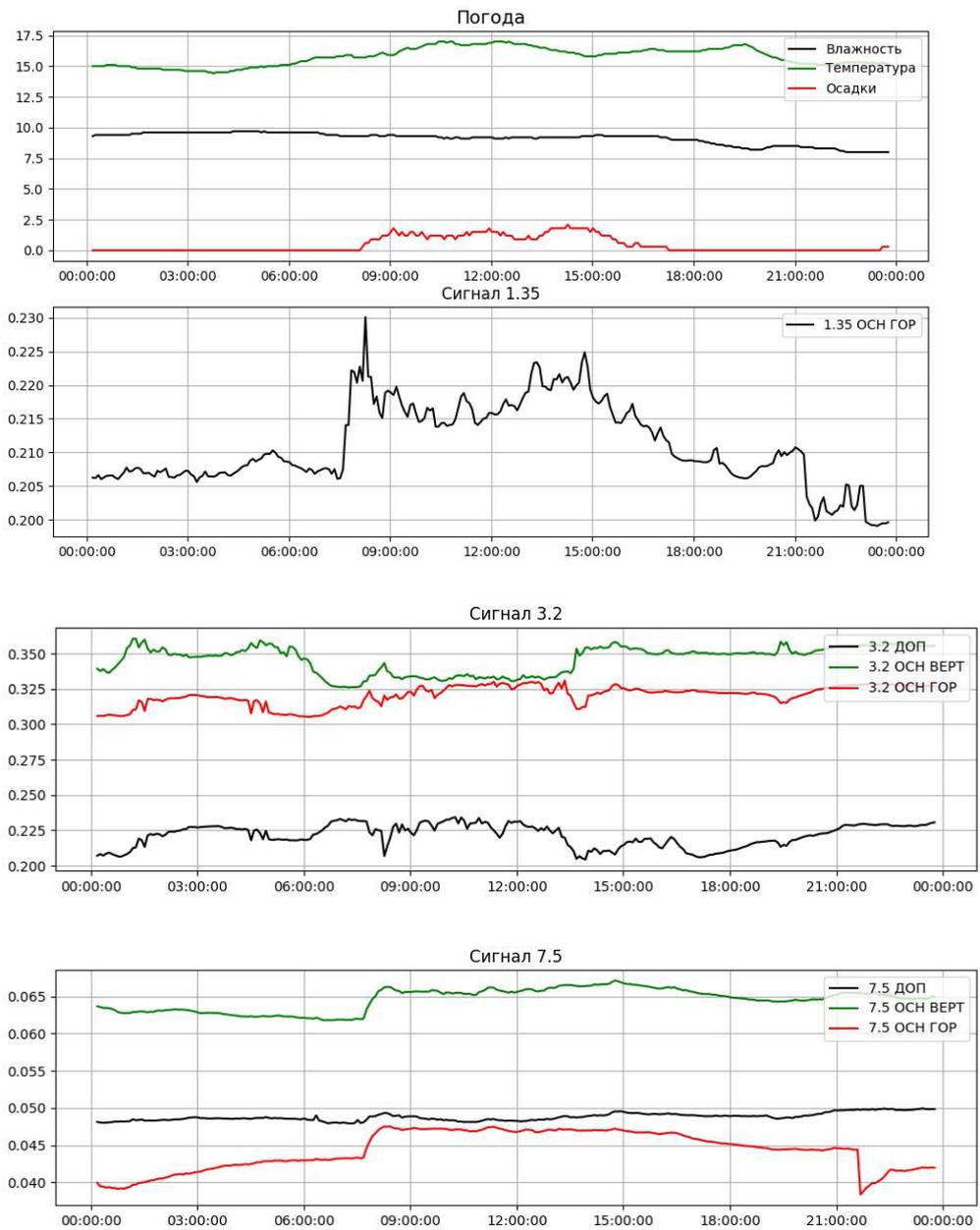


Рис. 1. Усредненные данные каждого из каналов радиометрических измерений по медианному значению (показания влажности сокращены в 10 раз для наглядности)

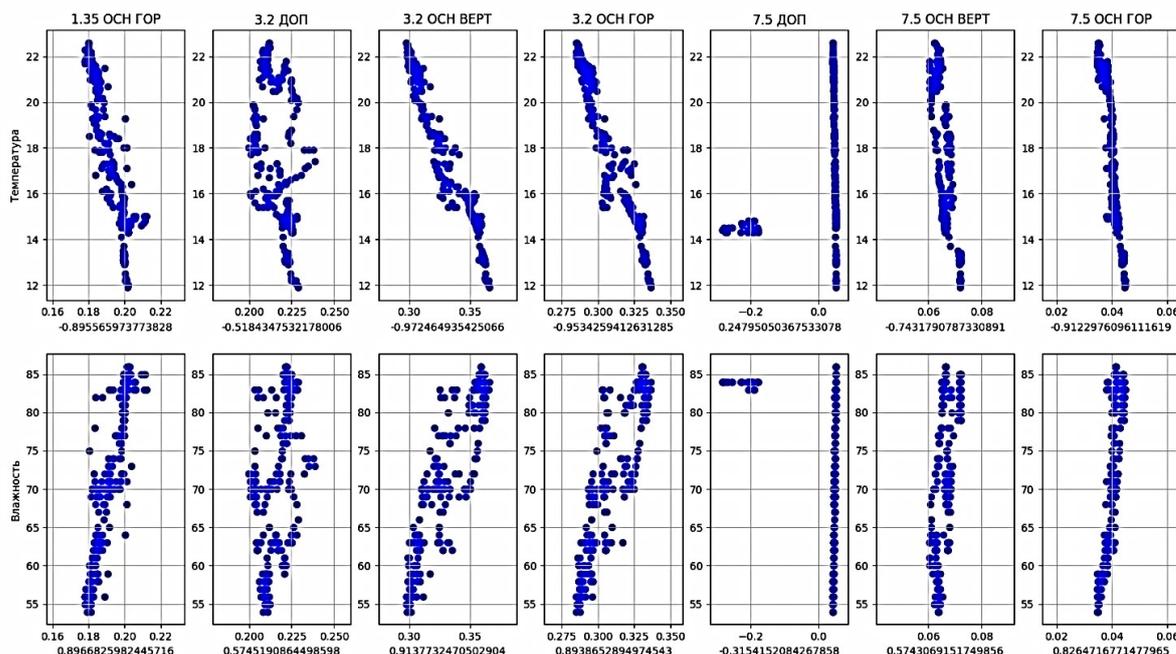


Рис. 2. Корреляционные зависимости величины сигнала и температуры и влажности для каждого из каналов СВЧ радиометрической системы за один день

Для СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы была спроектирована нейронная сеть прямого распространения, имеющая два скрытых слоя с функцией активации нейронов SoftMax, для которой входными данными были совокупность результатов СВЧ радиометрических за один год, а в качестве выходных – текущие значения метеопараметров и значения метеопараметров с упреждением в два часа.

Результаты функционирования нейронной сети СВЧ радиометрической системы

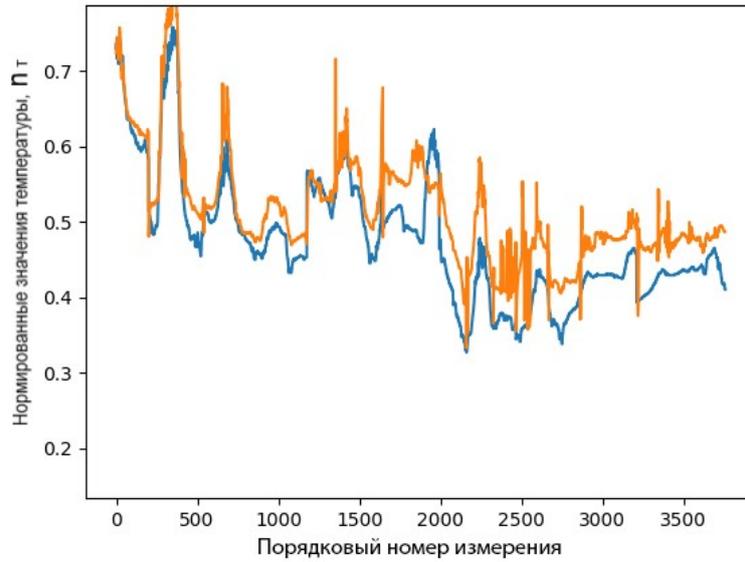
Для оценки эффективности функционирования нейронной сети были введены нормированные показатели метеопараметров - температуры и влажности, значения которых определялись по формуле:

$$n_{\text{иннор}} = \frac{n_i - \min(n)}{\max(n) - \min(n)} \quad (1)$$

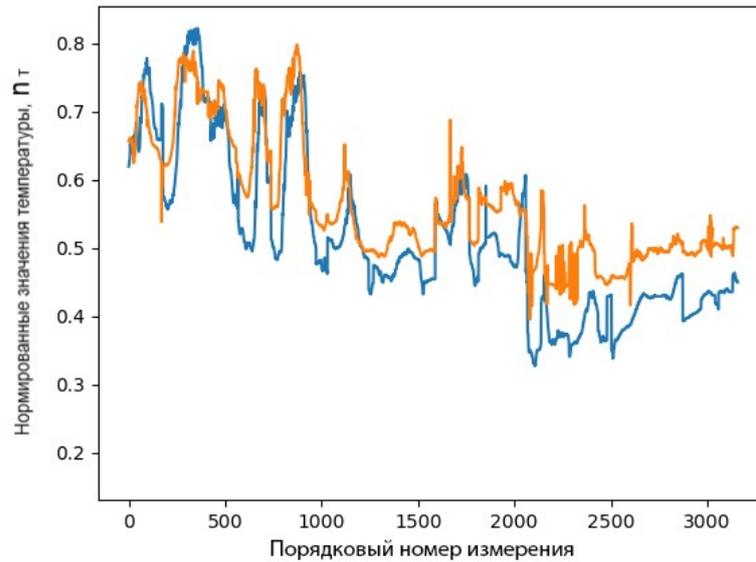
где n_i – текущее значение измерений;
 $\min(n)$ – минимальное значение измерений;
 $\max(n)$ – максимальное значение измерений.

На рисунке 3-4 представлены результаты обучения нейронной сети – по оси абсцисс порядковый номер измерения в интересующей выборке данных из базы данных, по оси ординат – нормированные значения экспериментальных и прогнозируемых значений метеопараметра в интервале от 0 до 1. Для наглядности данные приведены на одном рисунке.

Обучение нейронной сети проводилось в течении 100 тысяч эпох, что достаточно для проверки возможности обучения нейронной сети и для наглядности эксперимента.

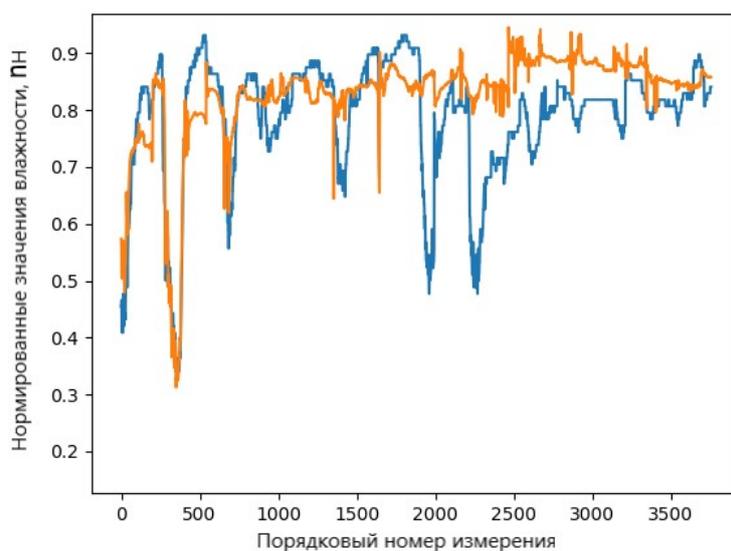


а)

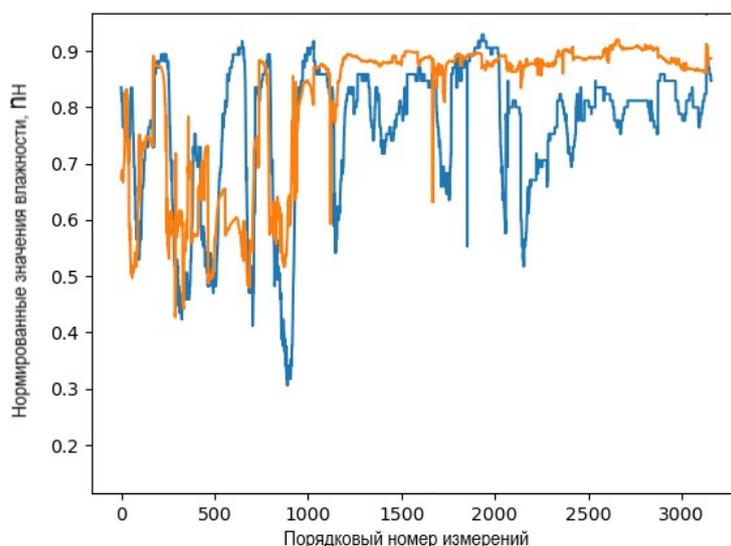


б)

Рис. 3. Результат обучения нейронной сети (синий график экспериментальные данные, оранжевый - прогнозируемые) данным измерений температуры в приземном слое атмосферы и результатам измерений ее радиотеплового излучения СВЧ радиометрической системой



а)



б)

Рис. 4. Результат обучения нейронной сети (синий график экспериментальные данные, оранжевый - прогнозируемые) данным измерений влажности в приземном слое атмосферы и результатам измерений ее радиотеплового излучения СВЧ радиометрической системой

По результатам численного эксперимента среднеквадратичная ошибка для температуры, зафиксированной в то же время что и СВЧ - радиометрические сигналы (рис. 3а и 4а) составила 0.0026, для влажности - 0.0092, и 0.0038 для температуры, 0.016 для влажности - с упреждением на два часа (рис. 3б и 4б).

Проведенный численный эксперимент показал принципиальную возможность применения нейронных сетей для прогнозирования погодных явлений с использованием многочастотных СВЧ - радиометрических сигналов, в качестве входных данных. Увеличение числа эпох предположительно приведет к улучшению показателей.

Выводы

Возможность применения нейронных сетей для установления зависимости уровня СВЧ радиометрических сигналов системы мониторинга атмосферы от самого состояния атмосферы, а также для прогнозирования состояния атмосферы на основе статистических данных, собранных за прошедшие периоды, выводит мониторинг атмосферы на качественно новый уровень. Включение в численный эксперимент математических моделей взаимосвязи радиояркой температуры атмосферы от ее метеопараметров в составе зависимостей из весовых коэффициентов обученной нейронной сети, позволит сократить процессорное время для прогнозирования опасных метеоявлений и решить задачу достоверного краткосрочного прогнозирования развития опасных атмосферных явлений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00378, <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>.

Литература

1. Kalchebremer N., Sonderby C. A Neural Weather Model for Eight-Hour Precipitation Forecasting – URL: <https://ai.googleblog.com/2020/03/a-neural-weather-model-for-eight-hour.html>
2. Elena Fedoseeva; Ilya Rostokin; Elena Rostokina; George Shchukin Study of the Processes of Formation and Development of Dangerous Atmospheric Meteorological Phenomena Associated With the Evolution of Convective Cloud Cover –2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation (RWP) Kazan, Russia 1-6 July 2019, . IEEE Catalog - P 380 - 383. DOI: 10.1109/RWP.2019.8810385
3. E.V.Fedoseeva, I.N.Rostokin, G.G.Shchukin, E.A.Rostokina Multi-band microwave radiometric sensing of remote rain zones. Journal of Physics: Conference Series 2020 Russian open scientific conference «Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction» (MPRSRWP) 2020 23-25 June 2020, Murom, Russian Federation. DOI:10.1088/1742-6596/1632/1/012012
4. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Федосеев А.А. Вопросы построения многочастотной СВЧ - радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения. // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – №1. – С.5 – 11
5. Созыкин А.В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей – Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2017. Т. 6, № 3. С. 28–59. DOI: 10.14529/cmse170303.
6. Евдокимов И.А., Солодовников В.И. Автоматизация построения нейронной сети в рамках объектно-ориентированного подхода - Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. - С. 89-97.
7. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем – СПб: Наука и техника, 2003. – 380 с.
8. Осовский С.А. Нейронные сети для обработки информации. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.
9. Masters T. Practical Neural Network Recipes in C++. – Morgan Kaufmann, 1993. - 493 p.