

Результаты работы нейронной сети в трехдиапазонной СВЧ радиометрической системе дистанционного зондирования атмосферы

Е.В. Федосеева¹, И.Н. Ростокин¹, М.А. Матюков¹, И.Ю. Холодов¹

¹*Муромский 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*

Показаны особенности включения нейросети в процедуру обработки выходных сигналов СВЧ радиометрического комплекса дистанционного зондирования атмосферы при решении задачи краткосрочного прогнозирования метеопараметров приземного слоя атмосферы - температуры, влажности, интенсивности осадков. Приведены результаты нейросетевого прогнозирования метеопараметров при использовании нейронной сети Neural Excel. Выполнено сравнение результатов прогнозирования метеопараметров для двух лет измерений при разных условиях обучения нейронной сети - по трем исходным массивам разной продолжительности с выполнением процедуры ее дообучения по текущим результатам измерений. Приведены численные оценки среднего отклонения метеопараметров и их прогнозируемых значений по обучаемой и тестируемой выборкам.

Ключевые слова: нейронная сеть, СВЧ радиометрическая система, дистанционное зондирование атмосферы

Neural network results in a three-band microwave radiometric system for remote atmospheric sensing

E.V. Fedoseyeva¹, I.N. Rostokin¹, M.A. Matyukov¹, I.Yu. Kholodov¹

¹*Murom Institute Vladimir State University, Murom, 23, Orlovskaya str.*

The features of the inclusion of a neural network in the procedure for processing the output signals of the microwave radiometric complex of remote sensing of the atmosphere when solving the problem of short-term forecasting of meteorological parameters of the surface layer of the atmosphere - temperature, humidity, precipitation intensity. The results of neural network forecasting of meteorological parameters using neural network Neural Excel are presented. A comparison of the results of forecasting meteorological parameters for two years of measurements under different conditions of neural network training - for three initial arrays of different duration with the implementation of the procedure of its retraining according to the current measurement results. Numerical estimates of the average deviation of meteorological parameters and their predicted values for the trained and tested samples are given.

Keywords: neural network, microwave radiometric system, remote sensing of the atmosphere

Введение

Дистанционное зондирование атмосферы выполняет важную роль в вопросах изучения ее состояния в долговременной перспективе, а также в решении задач выявления предпосылок формирования опасных атмосферных явлений - ливней, штормов, града и составления сверхкраткосрочных прогнозов по развитию метеообстановки в заданном регионе [1-2].

Одним из направлений совершенствования систем дистанционного зондирования атмосферы является включение в их состав нейронных сетей для расширения их функциональных возможностей [3-5]. Наличие большого объема результатов дистанционных измерений позволяет сформировать исходные информационные

массивы для обучения нейронной сети, которая способна на основе алгоритма оценивания весовых функций исходных данных выявить их сложные взаимозависимости и построить прогностическое решение.

В данной работе рассмотрен вариант включения нейронной сети в процесс обработки измерений трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы мощности радиотеплового излучения атмосферы при наклонном зондировании приземного слоя атмосферы для формирования прогноза значений метеопараметров - температуры, влажности, интенсивности осадков.

Условия включения нейронной сети в работу СВЧ радиометрической системы

В работе рассматривается включение нейронной сети в процедуру обработки сигналов трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы [6-8].

В СВЧ радиометрической системе формируются выходные сигналы в трех частотных диапазонах с центральными длинами волн 7,5 ГГц, 10 ГГц и 22 ГГц при приеме радиотеплового излучения атмосферы на вертикальной и горизонтальной поляризациях на зеркальную антенну с общим раскрытием радиусом 2400 мм при последовательной частотной селекции в облучателе антенны. Выполняемое в АЦП цифровое преобразование выходных сигналов многоканального квадратичного детектора позволяет получить массивы с результатами измерений, фиксируемыми через 0,1 с.

Задача составления краткосрочных прогнозов развития метеообстановки, определила необходимость выполнения наклонных измерений при больших зенитных углах, для измерения мощности радиотеплового излучения приземного слоя атмосферы, а также получения данных по метеопараметрам в области зондирования системы. Для составления информационных массивов значений метеопараметров - температуры, влажности и интенсивности осадков были собраны данные с метеостанций ближайших к району расположения СВЧ радиометрической системы городов - Муром, Выксы, Меленок, Касимова, Рязани, расположенных в пределах двухсоткилометровой зоны в направлении зондирования. Сложность получения данных для работы нейронной сети состояла в большой временной их дискретности. Временной интервал между значениями метеопараметров атмосферы в указанных городах, опубликованных в интернет источниках, составляет три часа, что привело к необходимости дополнительной обработки результатов измерений для формирования требуемой выборки значений.

Задача работы нейронной сети определена, как задача формирование прогноза значений метеопараметров приземного слоя атмосферы в городах из области зондирования. В качестве нейронной сети была применена специальная надстройка программы Excel - «Neural Excel» [9]. Она позволяет конфигурировать и обучать многослойные нейронные сети непосредственно в Microsoft Excel.

Прогнозирование метеопараметров по результатам работы нейронной сети

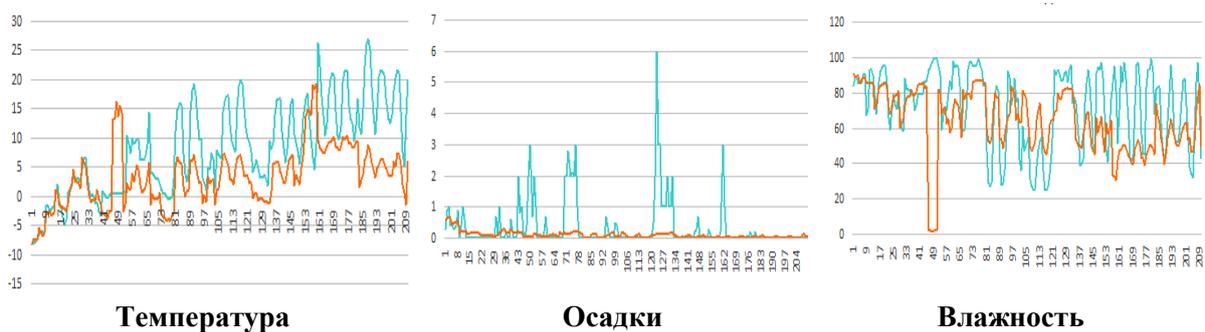
Для оценки возможности прогнозирования метеопараметров по результатам работы нейронной сети были выполнены расчеты для двух вариантов формирования массивов ее обучения и тестирования.

Первый вариант реализовывался при использовании данных за 2022 год с последовательным дообучением нейронной сети, для оценки влияния последовательного дообучения на вновь получаемых результатах. Были сформированы три массива из результатов измерений и данных по метеопараметрам разной продолжительности: первый - из данных, полученных в январе - марте 2022 года, второй

- из данных, полученных в январе - апреле 2022 года; третья - из данных, полученных в январе - мае 2022 года. Тестирование - формирование прогноза по метеопараметрам - проводилось в каждом случае на интервале от момента завершения обучаемого массива до июля 2023 года.

Второй вариант реализовывался при использовании данных измерений одного календарного года, как массива для обучения нейронной сети, с последующим тестированием на результатах измерений другого года, для оценки устойчивости результатов нейросетевого прогнозирования.

На рис. 1-3 показаны результаты обучения и прогнозирования нейронной сети по первому варианту исследования ее эффективности для трех метеопараметров в городе Муроме по трем указанным ранее массивам: синяя линия - реальные значения метеопараметров, получаемые с метеостанций; оранжевая линия - результат работы нейронной сети.

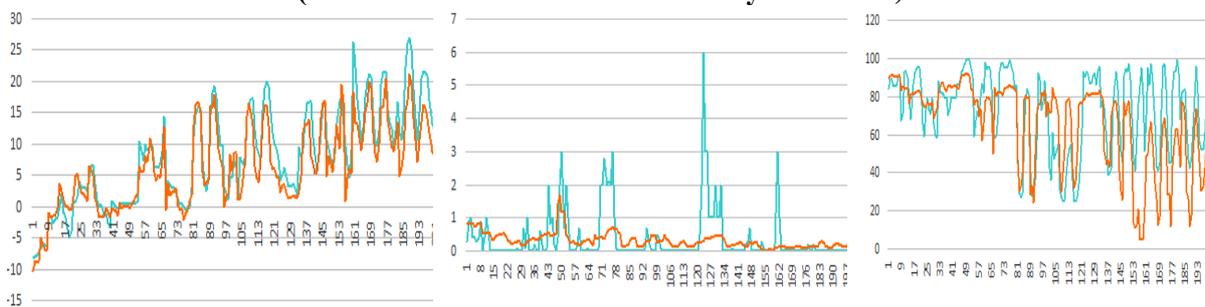


Температура

Осадки

Влажность

Рис. 1. Результаты моделирования метеопараметров по массиву данных января-марта (количество отчетов в массиве обучения - 39)

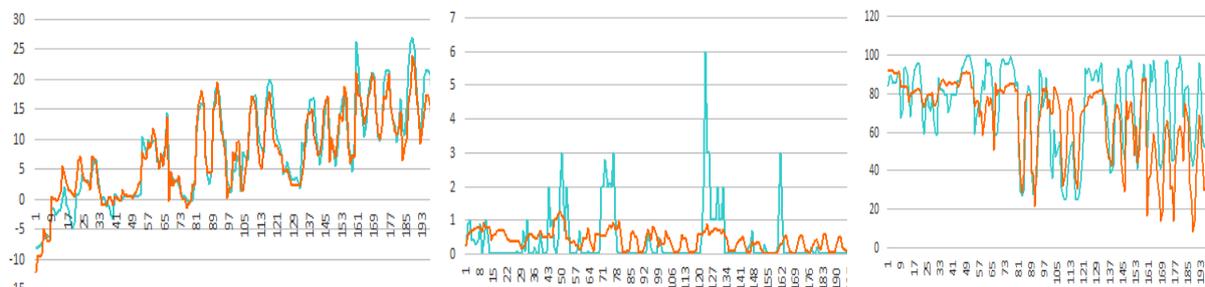


Температура

Осадки

Влажность

Рис. 2. Результаты моделирования метеопараметров по массиву данных января-апреля (количество отчетов в массиве обучения - 103)



Температура

Осадки

Влажность

Рис. 3. Результаты моделирования метеопараметров по массиву данных января-мая (количество отчетов в массиве обучения - 159)

Для количественного анализа полученных результатов работы нейронной сети были получены средние величины отклонений метеопараметров от их прогнозируемого значения. Результаты расчета средних отклонений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Среднее отклонение метеопараметра от прогнозируемого его значения нейронной сетью

Выборка исходных данных	Температура		Интенсивность осадков		Влажность	
	По обучаемой выборке	По тестируемой выборке	По обучаемой выборке	По тестируемой выборке	По обучаемой выборке	По тестируемой выборке
Январь-март	0,0129	6,0847	0,0031	0,2997	0,011168	5,7877
Январь-апрель	0,2946	3,1811	0,0275	0,091	0,001419	13,4762
Январь-май	0,0008	2,1434	0,0305	0,1602	0,1792	23,8112

На рис. 4 показаны результаты нейросетевого прогнозирования для 2021 года при обучении нейронной сети на результатах измерений и данных по метеопараметрам за 2022 год: синяя линия - реальные значения метеопараметров, получаемые с метеостанций; красная линия- результат работы нейронной сети.



Рис. 4 Результаты моделирования метеопараметров за 2021 год при обучении нейронной сети на данных за 2022 год

Среднее отклонение метеопараметра от прогнозируемого его значения в 2021 году составило: по температуре 4,87°, по интенсивности осадков 0,67%, по влажности 13,18%.

Полученные результаты работы нейронной сети показали следующее:

- точность прогнозирования метеопараметров зависит от длительности временного периода, за который получены данные, на которых она обучается;
- при прогнозировании температуры приземного слоя атмосферы наблюдается хорошая корреляция прогнозируемых и тестируемых данных в отношении общей временной тенденции изменения метеопараметра;
- при прогнозировании интенсивности осадков и влажности полученные результаты работы нейронной сети показали неоднозначность ситуации с изменением среднего отклонения результата прогнозирования от количества данных в обучаемой выборке: для влажности увеличение объема массива для обучения сети привело к снижению точности прогноза, а в случае прогнозирования интенсивности осадков наблюдалось немонотонное снижение погрешности прогноза;
- прогнозирование для тестируемой выборки 2021 года показало возможность определения средней тенденции временного изменения метеопараметров при наличии существенных отклонений в определенные периоды.

Выводы

Введение нейронной сети в процедуру обработки результатов измерений СВЧ радиометрической системы зондирования атмосферы позволяет сформировать новый подход к решению задачи прогнозирования метеопараметров приземной области атмосферы данных, при ее обучении на данных, полученных в более ранние периоды дистанционного зондирования атмосферы. Показано, что точность нейросетевого прогнозирования может постоянно повышаться при организации ее непрерывного дообучения на базе вновь получаемых результатов измерений.

Оценка погрешности нейросетевого прогнозирования выявила влияние сезона года на точность прогнозирования, что позволяет сформулировать новые требования к дополнительной предварительной подготовке исходных данных с классификацией по сезонам года.

Результаты прогнозирования метеопараметров в тестируемой выборке 2021 года нейронной сетью, обученной на выборке 2023 года, показало устойчивость получаемых результатов для больших объемов тестируемых данных.

Таким образом, показана принципиальная возможность включения нейронной сети в состав СВЧ радиометрического комплекса исследования атмосферы для выполнения краткосрочного прогнозирования метеопараметров системы.

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

Литература

1. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 283 с.
2. Кутуза Б.Г., Яковлев О.И., Данилычев М.В. Спутниковый мониторинг Земли: Микроволновая радиометрия атмосферы и поверхности. Монография. М.: Ленанд, 2016. - 336 с.
3. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем // – СПб.: Наука и техника, 2003. – 380 с.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.
5. Kalchbrenner 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.htm>
6. Г.Г. Щукин, В.В. Булкин, Е.В. Федосеева, И.Н. Ростокин Радиометеорологические исследования в Муромском институте: пассивно-активный радиометеорологический комплекс / Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2022. - №3. - С. 5-17.
7. Ростокин, И.Н. Вопросы построения многочастотной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения / И.Н. Ростокин, Е.В. Федосеева // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. - №1(17) – с.5 – 12.
8. Каряев В.В., Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Ростокина Е.А. Нейронная сеть в СВЧ радиометрической системе мониторинга атмосферы / Радиотехнические и телекоммуникационные системы - № 4, 2020, - с. 5-14.
9. Neural Excel. –Режим доступа: <https://www.neurotechlab.ru/>.