



СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ СУХОНЫ

В статье рассматривается применение системы прогнозирования загрязнения реки Сухоны по наличию металлов в воде на основе искусственных нейронных сетей. Приводятся результаты прогнозирования.

Искусственная нейронная сеть, перцептрон, река Сухона.

В последнее время при проведении экологического мониторинга все чаще используются технологии искусственного интеллекта, способные работать в условиях нечеткой исходной информации. Их применение позволяет повысить эффективность принятия управленческих решений. Одной из технологий искусственного интеллекта, активно применяющейся в разных сферах человеческой деятельности, являются искусственные нейронные сети [1, 2].

Нейронные сети могут использоваться для решения многих задач, в том числе связанных с распознаванием и прогнозированием экологических ситуаций. Они позволяют с высокой точностью решать трудно формализуемые задачи, в которых совместно используются противоречивые, неполные, «зашумленные» и некорректные данные.

Целью работы является разработка системы прогнозирования загрязнения реки Сухоны с использованием нейронных сетей. Данная разработка является актуальной, так как по оценкам специалистов состояние основных водных объектов Вологодской области свидетельствует о том, что поверхностные воды относятся к классам загрязненности от «загрязненные» до «экстремально грязные». Такое состояние рек негативным образом влияет на экологическую ситуацию в регионе: ухудшаются условия существования водных организмов, снижается качество жизни людей, проживающих на берегах рек и пользующихся их ресурсами.

Оценка качества водных ресурсов, как правило, проводится по отдельным видам загрязнений. Среди загрязнителей значительная доля приходится на различные нефтепродукты, но в данной работе будет осуществляться прогнозирование содержания различных металлов, так как совместное нахождение разных металлов в воде существенно увеличивает ее токсичность. Например, наличие цинка приводит к резкому повышению токсичности таких металлов, как меди, железа, кобальта, кадмия и марганца. Таким образом, загрязнение реки Сухоны может оцениваться как хроническое. Основными загрязнителями выступают целлюлозно-бумажные предприятия города Сокола и сельскохозяйственные предприятия города Тотьмы. Количество сбросов незначительно снизилось в связи с частичным сокращением производства. Существен-

ную лепту в загрязнение вносят предприятия хозяйственно-бытового назначения, которые расположены на берегах Сухоны и ее притоков. Решение проблемы зависит в том числе от возможности осуществлять своевременный прогноз и принимать адекватные решения по снижению антропогенной нагрузки на экосистему реки [3].

Разрабатываемая система должна иметь четкую структуру, включающую все компоненты, необходимые для ее функционирования. Система представляет собой приложение для ПК с графическим интерфейсом. К числу составляющих итогового продукта относятся: данные, хранимые в системе, алгоритм построения прогноза на основе нейронных сетей, удобный и простой пользовательский интерфейс.

Нейронная сеть вида MLP будет наиболее предпочтительна для применения в ходе решения задачи прогнозирования значения [4].

Для прогнозирования информационных данных с использованием искусственных нейронных сетей были определены архитектура и основные параметры нейронной сети. Была выбрана нейронная сеть с архитектурой перцептрон с обратным распространением ошибки и стохастическим методом обучения, оптимизатором обучения ADAM, с пятьюдесятью нейронами в одном скрытом слое, используемая для прогнозирования. Входной слой нейронной сети состоит из 3 нейронов (по количеству входов). Скрытый слой состоит из 50 нейронов. Выходы нейронов входного слоя связаны по полносвязной схеме с входами нейронов скрытого слоя. Выходной слой состоит из одного нейрона [5].

В качестве функции активации входного и скрытого слоев используются логистическая сигмоидальная функция, так как данная функция дифференцируема на всей оси абсцисс и обладает свойством усилить слабые сигналы лучше, чем сильные, тем самым предотвращая насыщение от сильных сигналов. В качестве функции выходного слоя активации используется линейная функция в связи с тем, что линейный участок данной функции активации позволяет производить действия с непрерывными сигналами в диапазоне $(-\infty, \infty)$. Для оценки качества прогнозирования данных с использованием построенной искус-

ственной нейронной сети используется значение коэффициента детерминации

$$R^2 = 0.812.$$

Таким образом, прогнозирование с использованием искусственных нейронных сетей является наиболее достоверным, но и более ресурсоемким, по сравнению с другими методами прогнозирования данных.

Тестирование на точность предсказания по уже имеющимся данным (за 20 лет наблюдений в различных точках сбора данных на реке Сухоне) привело к следующим результатам (табл. 1, 2).

Таблица 1

Точность для катионов меди

Точка прогнозирования	Средняя ошибка
3 км выше Великого Устюга	0,43
1 км выше Тотьмы	0,39
1 км ниже Тотьмы	0,35
1 км выше сброса ООО «Сокольский РМЗ»	0,46
2 км ниже Сокола	0,41

Среднее значение ошибки для 5 точек 0,4.

Таблица 2

Точность для УКИЗВ

Точка прогнозирования	средняя ошибка
3 км выше Великого Устюга	0,35
1 км выше Тотьмы	0,34
1 км ниже Тотьмы	0,29
1 км выше сброса ООО «Сокольский РМЗ»	0,39
2 км ниже Сокола	0,41
выше впадения р. Пельшмы	0,37
ниже впадения р. Пельшмы	0,34

Среднее значение ошибки для 7 точек 0,36.

Проводилось тестирование времени, затраченного на прогнозирование результатов для различных опытов. Были получены следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

Время, затраченное на прогнозирование

№ теста	Время (с)
1	43,56
2	43,25
3	42,26
4	44,68
5	43,51
среднее	43,45

Использование искусственных нейронных сетей в прогнозировании загрязнения реки Сухоны вполне обосновано более высоким значением точности по сравнению с другими распространенными методами прогнозирования загрязнения. Но стоит учесть, что с увеличением точности прогнозирования данных увеличивается сложность и ресурсоемкость при создании, организации и эксплуатации различных методов прогнозирования.

Литература

1. Суконщиков, А. А. Мультиагентные интеллектуальные системы и сети / А. А. Суконщиков, А. Н. Швецов. – Вологда : ВоГУ. – 2019. – 209 с.
2. Ногтев, Д. Н. Разработка системы прогнозирования загрязнения реки Сухоны / Д. Н. Ногтев // XIII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых. Материалы межрегиональной научной конференции : в 2 томах. – Вологда : ВоГУ. – 2019. – С. 182–185.
3. Тотьма. Краеведческий альманах. – Вып. 2 (13). – URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/two/tot/ma/13.htm> (дата обращения: 21.03.2020). – Текст : электронный.
4. Когда использовать нейронные сети MLP, CNN и RNN. – URL: <https://www.machinelearningmastery.ru/when-to-use-mlp-cnn-and-rnn-neural-networks/> (дата обращения: 15.02.2020). – Текст : электронный.
5. Портал искусственного интеллекта: Основные недостатки использования искусственных нейронных сетей и пути их решения. – URL: <http://neuronus.com/theory/> (дата обращения: 06.05.2020). – Текст : электронный.

A.A. Sukonschikov, D.N. Nogtev
Vologda State University

CONTAMINATION PREDICTION SYSTEM FOR THE SUKHONA RIVER

The article discusses the application of the system for predicting pollution of the Sukhona River by the presence of metals in water based on artificial neural networks. The forecasting results are presented.

Artificial neural network, perceptron, Sukhona river.