

Выводы. Территориальное распределение запасов сапропелей и результаты выполненных ранее исследований указывают на целесообразность использования сапропелей при строительстве противофильтрационных завес с целью защиты водных ресурсов от загрязнений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Водный кодекс Республики Беларусь: принят Палатой представителей 02.04.2014 г.; одобрен Советом Республики Беларусь 11.04.2014 г. Минск, 2014. 40 с.

2 Нестеров, М. В. Защита водных ресурсов Республики Беларусь / М.В. Нестеров, А.А. Боровиков // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 12(104). – С. 58–60.

3 Нестеров, М. В. Применение противофильтрационных завес, возводимых методом «стена в грунте» с использованием сапропелей: Рекомендации по проектированию и строительству мелиоративных и водохозяйственных объектов. – Горки: Белорусская государственная с.-х. академия, 2002. 80 с.

4 Лопотко, М.З. Сапропели в сельском хозяйстве. – Мн.: Навука і тэхніка, 1992. – 216 с.

УДК 556

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА НА МЕЛИОРИРУЕМЫХ ВОДОСБОРАХ

С.В. Сидак, В. В. Борушко, аспиранты БрГТУ

**Научный руководитель: профессор, доктор географических наук
А.А. Волчек**

УО «Брестский государственный технический университет»,
г. Брест, Республика Беларусь

В современных условиях процесс формирования речного стока происходит под влиянием комплекса природно-климатических и антропогенных факторов, которые в последнее время оказывают всё более существенное влияние на речной сток [1]. Наиболее мощным и активным воздействием человека на природу являются проводимые в крупных масштабах гидромелиоративные мероприятия, которые вызывают изменения составляющих водного режима на осушенных землях, прилегающих территориях. Мнения ученых о влиянии мелиорации на речной сток расходятся. После осушения болот и заболоченных земель на водосборах рек, заболоченных до 30%, по исследованиям В. Ф. Шебеко и П. И. Закржевского происходит уменьшение весеннего стока на 0 – 20 %, увеличение меженного и годового стока, соответственно, на 10 – 50% и 0 -15% [2]. Однако есть и другие суждения, утверждающие, что в условиях значительного грунтового питания и быстрого стока талой воды по осушительным каналам происходит увеличение весеннего

стока [3]. Одной из причин в этом расхождении является недостаток исходной информации по гидрологическим характеристикам и гидрологическому режиму мелиорированных водосборов.

Учитывая большую вероятность продолжения изменения климата в течение нынешнего столетия, проблема оценки и прогнозирования изменений характеристик речного стока перешла из разряда теоретических в совершенно практические [4]. Значимость прогнозов речного стока в условиях постоянного изменения факторов формирования стока определяется целесообразностью их последующего учета при планировании функционирования сельского и коммунального хозяйства, добычи полезных ископаемых, гидроэнергетики, гидротехнического проектирования.

Цель работы – оценить возможность применения нейронных сетей для прогнозирования речного стока, используя данные о среднегодовых расходах воды на мелиорируемых водосборах.

Исходными данными послужили материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за расходами воды за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров. Для исследования выбран гидрологический створ р. Припять – г. Мозырь.

Динамика средних расходов воды в рассматриваемом гидрологическом створе за период с 1931 по 2017 гг. представлена на рисунке 1.



Рисунок. 1. Колебания среднегодовых расходов воды реки Припять в створе Мозырь

Из рисунка видно, что изменение средних расходов воды из года в год происходит неоднозначно: величина среднегодового стока может меняться от года к году в два и более раза. Значительное повышение среднего расхода воды наблюдается за период с 1975 по 1980 гг., что, по мнению многих исследователей, связано со срабатыванием так называемых «вековых запасов» болотных и грунтовых вод и уменьшения суммарного испарения, обусловленного более низкими уровнями воды на болоте и сокращением длительности затопления пойм.

Как видно из рисунка 1 и таблицы 1, временной ряд из среднегодовых расходов воды характеризуется нестационарностью и отсутствием закономерностей, что затрудняет процесс прогнозирования стандартными статистическими методами.

Таблица 1. Динамика среднего расхода воды по периодам, м³/с

Река-пост	Период, годы			
	1931-1955	1956-1974	1975-1980	1981-2015
р. Припять – г. Мозырь	344,1	389,9	517,3	416,9

На данный момент существует множество методов прогнозирования, хотя на практике используется не более нескольких десятков основных методов прогнозирования. При этом выбор метода прогнозирования зависит от области их применения, поставленных целей и задач проводимых прогнозных исследований, а также от доступности конкретных инструментов прогнозирования.

В настоящей работе для прогнозирования среднегодовых расходов воды использован аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС). Преимуществом нейросетевого подхода является отсутствие модельных ограничений, т.е. он одинаково подходит как для линейных, так и для сложных нелинейных задач.

Для обеспечения практической точности оценки изменений стока требуются репрезентативные ряды, охватывающие наблюдения до и после начала мелиоративных работ. Всего использовано 87 наблюдений (с 1931 по 2017 гг.). Общая выборка поделена следующим образом: для обучения сети использованы 70% наблюдений выборки, 30 % использованы в качестве контрольной выборки для оценки качества обучения сети и дальнейшего сравнения эффективности сетей.

Выбор архитектуры сети – важный элемент работы с ИНС. Архитектура сети – это способ связи и организации отдельных элементов нейронной сети (нейронов). К сожалению, теоретических предпосылок, говорящих о том, какую топологию нейронной сети стоит использовать

для решения той или иной задачи нет. Наиболее часто используемая архитектура сети – многослойный персептрон (МП). Сеть типа МП может моделировать различные по сложности функции, о чем можно судить по числу элементов в каждом слое. В данной работе для построения ИНС использована архитектура радиальных базисных функций (РБФ). Преимущества РБФ по сравнению с МП: 1) моделирование произвольной нелинейной функции с помощью одного промежуточного слоя (что избавляет от поиска оптимального количества промежуточных слоев); 2) сеть РБФ обучается быстрее МП.

Прогнозирование среднегодовых расходов воды реализовано с помощью программного пакета Statistica. Результаты прогнозирования представлены на рис. 2.

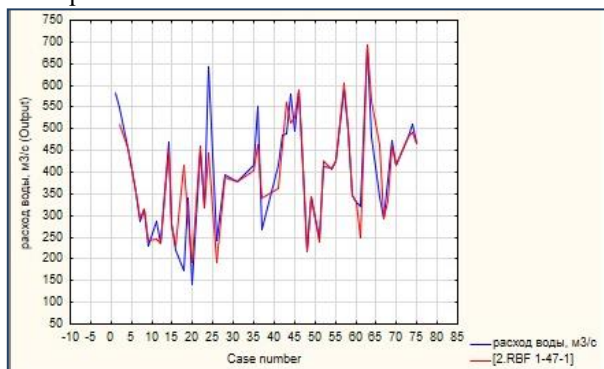


Рисунок 2. Прогнозирование расходов воды р. Припять – г. Мозырь с применением архитектуры РБФ

По каждой модели вычислялась эффективность расчета EFF , определяемая формулой (1):

$$EFF = 1 - \frac{\sum_{\Omega} (x_{sim} - x_{obs})^2}{\sum_{\Omega} (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2}, \quad (1)$$

где x_{sim} , x_{obs} – смоделированные и измеренные значения переменной x (в нашем случае средних расходов воды). Удовлетворительное качество воспроизведения речного стока достигается при $0.36 < EFF < 0.75$ [5]. В зарубежной литературе качество воспроизведения речного стока считается вполне приемлемым при $EFF > 0.5$ [6]. При построении ИНС с использованием архитектуры РБФ 1-47-1 $EFF = 0.66$, что представляет собой вполне удовлетворительный результат.

Выводы. Исследована возможность применения ИНС для прогнозирования среднегодовых расходов воды на мелиорируемых водосборах.

Результаты показали, что при использовании ИНС с архитектурой РБФ качество прогноза можно оценить как удовлетворительное. В данной работе нами получен прогноз только одной из характеристик речного стока (среднегодовой расход воды) по гидрологическому створу р Припять – г. Мозырь. В дальнейшем планируется применить предложенный метод прогнозирования к таким характеристикам речного стока, как максимальный расход воды весеннего половодья, минимальные летне-осенние и зимние расходы воды. В данной работе для оценки возможности прогнозирования с помощью ИНС выбран гидрологический створ с продолжительным рядом наблюдений. Однако, в отличие от «традиционных» методов статистики, нейронные сети находят не статистически достоверное, а правдоподобное решение задачи и могут работать при определенной нехватке эмпирических данных и наличии в них пробелов. Эти преимущества нейронных сетей позволяют использовать их при прогнозировании гидрологических характеристик стока малых рек, для которых, в основном, продолжительность наблюдений крайне мала либо в них имеются пробелы различной длительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Волчек, В.Н. Корнеев, С.И. Парфомук, И.А. Булак. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата; под общ.ред. А.А. Волчека, В.Н. Корнеева. – Брест: Альтернатива, 2017. – 228 с.
2. Сафронов, А.М. Антропогенное воздействие на сток реки Припять // Сборник работ 59-й научной конференции студентов и аспирантов Белгосуниверситета, 15-17 мая 2002 г., г. Минск : в 3 ч. / [редкол.: А. Г. Захаров (ответственный редактор) и др.]. - Минск, 2002. – Ч. 1. – С.299-302
3. Русецкий, А.П. Состояние и гидрологический режим поймы реки Припять после мелиорации на Полесье / А.П. Русецкий, Е. А. Лукьянова, Л. А. Трухан // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук : научно-практический журнал. - 2010. - N 2. - С. 41-46
4. Федотова, О.А. Оценка изменения и прогноз речного стока частного водосбора Иваньковского водохранилища / Федотова О.А., Муращенко Н.В. // Водное хозяйство России. – 2016, – № 5. –С. 42-48.
5. Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 366
6. Gusev Y.M., Nasonova O.N. The simulation of heat and water exchange in the boreal spruce forest by the land-surface model SWAP // J. Hydrol. 2003. V. 280. № 1. P. 162 – 191.