

Исследования высот показало уменьшение доли подземного стока воды, а также уменьшение стока внутри теплого сезона с ростом высоты водосборов. Исключение составляют водосборы рек Западно-Двинского гидрологического района. На них произошло увеличение стока воды, вызванной ростом доли подземного.

Список литературы

1. Быков, В.Д. Географические особенности внутригодового распределения стока рек Урала / В.Д. Быков. – М.: МГУ, 1963. – 143 с.
2. Волчек, А.А. Оценка антропогенного воздействия на водные ресурсы рек Белорусского Полесья / А.А. Волчек, В.В. Лукша / Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены: тез. докл. междунар. научн. конф. – Брест, 2002. – С. 228-230.
3. Волчек, А.А. Современное состояние и концептуальные предположения по изучению, использованию и охране водных ресурсов Белорусского Полесья / А.А. Волчек, Ю.А. Калинин / Брэсцкі геаграфічны весн. – 2001. – Т. 1., вып. 1. – С. 42-46.
4. Горшков, И.Ф. Гидрологические расчеты / И.Ф. Горшков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 256 с.
5. Шикломанов, И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток / И.А. Шикломанов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 330 с.

УДК 02.51=00(051)"3"(282)

КЛАССИФИКАЦИЯ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ Р. ПРИПЯТЬ)

Волчек А.А., Шешко Н.Н., Костюк Д.А., Петров Д.О.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by

The article presents the results of research forms the spring flood hydrograph for training artificial neural networks. Approach allows us to classify forms hydrograph based on the probability of occurrence of the design flow. Approaches tested on observations of the Pripyat river runoff. The results indicate the applicability of the developed approaches.

Введение

В соответствии с оценкой паводковой обстановки, опубликованной в Республиканской программе [0], в пределах такого водного объекта, как р. Припять, в период весеннего половодья данная территория и населенные пункты в её пределах практически ежегодно подвергаются затоплению, в результате чего имеется значительный народно-хозяйственный ущерб.

Если рассматривать период существования данной территории, при котором наблюдалась незначительная техногенная интеграция в бытовую и производственную сферу, опасные метеорологические и гидрологические явления не причиняли значительного материального и социального ущерба. Это заключалось в использовании устройств труда и домашнего быта, не имеющих энергозависимых механизмов. Подобная же ситуация наблюдалась и в сфере аграрного производства: отсутствие значительной механизации позволяло менее болезненно переносить такого рода природные явления.

В настоящее время широкое применение нашли методы искусственных нейронных сетей для прогноза физически сложно описываемых природных процессов. Для обучения искусственных нейронных сетей необходима предварительная

классификация гидрографов весеннего половодья по их объему, форме, времени начала и продолжительности. В качестве показателя воздействия весенних половодий на природно-антропогенные геосистемы часто используется индекс половодья [0], учитывающий долю затапливаемой поймы реки, продолжительность и объем половодья. Кроме этого, в последние годы используется индекс воздействия половодья [0], включающий следующие показатели: индекс затопления поймы, дата и продолжительность затопления, площадь, температура и загрязнение воды. При этом затопление поймы классифицируется по обеспеченности максимальных уровней воды или расходов, однако данный подход учитывает только вероятность возникновения пиковых расходов/уровней воды. В свою очередь экологическая, экономическая и социальная опасность весеннего половодья зачастую связана с продолжительностью его прохождения. Таким образом, в качестве параметра для классификации может использоваться объем стока или средний расход за период весеннего половодья.

Объекты и методы

В качестве материалов для выполнения анализа рассматриваются данные многолетних наблюдений за стоком р. Припять (пост г. Мозырь), которые представляют собой среднесуточные расходы за период с 01.01.1986 по 31.12.2005. Использование среднесуточных данных позволят более точно оценить объем стока весеннего половодья, а также вероятность его проявления. Как было указано ранее, в качестве параметра для классификации гидрографов будем рассматривать обеспеченность года по объему стока.

В качестве функции плотности распределения случайной величины объема стока реки может быть использовано трехпараметрическое гамма распределение Крицкого-Менкеля [0; 0]

$$f(Q) = \left(\frac{\Gamma(\gamma + b)}{\Gamma(\gamma)} \right)^{\frac{\gamma}{b}} \frac{1}{Q \cdot b \cdot \Gamma(\gamma)} \left(\frac{Q}{\bar{Q}} \right)^{\frac{\gamma}{b} - 1} e^{-\left(\frac{\Gamma(\gamma + b) Q}{\Gamma(\gamma) \bar{Q}} \right)^{\frac{1}{b}}}$$

Данная функция достаточно эффективно учитывает особенности распределения вероятностей расходов равнинных рек. Для оценки параметров функции применяется метод наибольшего правдоподобия [0],

Для оценки эффективности выполненной классификации, применяется графический анализ гидрографов стока. Это позволит проанализировать полученную математическими методами классификацию с точки зрения соответствия задачам нейронно-сетевого прогноза. Оценка соответствия теоретической функции распределения случайной величины производилась на основе графоаналитического анализа эмпирической функции плотности распределения (гистограмма частот) и теоретической кривой функции, а также с привлечением критерия χ^2 .

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования возможности комплексного учета двух и более массивов данных для повышения точности расчета картины снеготаяния была применена искусственная нейронная сеть. Сеть обрабатывает значения водного эквивалента снежного покрова, полученные с помощью орбитального микроволнового сканирования поверхности Земли, и результаты снегомерных съемок. В качестве нейронной сети использовался многослойный персептрон с одним скрытым слоем. Количество нейронных элементов в скрытом слое подбиралось экспериментально по наилучшим результатам прогнозирования: так,

при 20 входных нейронов, 12 нейронов в скрытом слое. На вход нейронной сети подаются две матрицы: результаты спутникового зондирования и аналогичная по размерности матрица, содержащая интерполированные значения снегомерных съемок. На выходе нейронной сети использовалось 10 нейронов, так как необходимо было получить третью матрицу аналогичной размерности, уточняющую данные по снегомерам с помощью спутниковых данных и таким образом повышенную точность интерполяции.

Обучение нейронной сети производилось по методу обратного распространения ошибки. В ходе обучения выполнялась настройка весовых коэффициентов нейронной сети до тех пор, пока на обучающей выборке ошибка прогнозирования не становилась меньше 0,01. В тестовой обучающей выборке использовались две матрицы размерности 29 на 39 элементов. Тестовые входные выборки насчитывали соответственно 96 матриц с ежедневными измерениями конца осени и зимы за 1979 и 1980 годы. По результатам оценочных экспериментов видно, что обученная нейронная сеть требует объем обучающей выборки не менее 200 значений (по 100 из каждого прогнозируемого ряда). Также результаты показывают способность нейронной сети получить свертку двух рядов данных. Использование в качестве входных данных сразу двух матриц увеличивает точность показателей, т. е. такой результат показывает, что данные описывают общую природную систему и что нейронная система способна выявить взаимосвязь этих данных.

Таким образом, можно признать обоснованным использование в рамках многофакторного анализа данных спутниковой съемки как в оптическом, так и в микроволновом диапазоне нейросетевого подхода для уточнения учета накопленных снегозапасов, данные о которых не собираются автоматическими гидрометеостанциями, но важны для составления прогноза весеннего половодья.

Значения коэффициента стаивания снега, полученные на основе обученной нейронной сети, подаются на вход классификатора, формирующего классы гидрографов не по принципу подобия, а на основе накопленных снегозапасов и формы гидрографа весеннего половодья. Каждому классу соответствует однотипный блок нейросетевого прогноза, обученный соответствующими измерениями на гидропосту.

Для обоснования выбора формы гидрографа в качестве показателя классификации рассматривался среднегодовой расход реки за весь период наблюдений.

Параметры функции распределения определялись численным методом с допустимой кумулятивной ошибкой

$$\Delta = 10^{-a} + |x| \cdot 10^{-p},$$

где a и p – заданные параметры сходимости численного решения уравнения; x – оцениваемый параметр.

Для задач исследования приняты были значения параметров a и p соответственно 3 и 2. Итого это означает 4 значащие цифры. Предельное число итераций при численном решении системы уравнений принято равным 500.

Для сравнения точности описания теоретическими кривыми эмпирические данные на рисунке 1 приведены три характерные графика функций плотности распределения: нормальный закон распределения случайной величины, логнормальный закон, трехпараметрическое гамма распределение Крицкого-Менкеля.

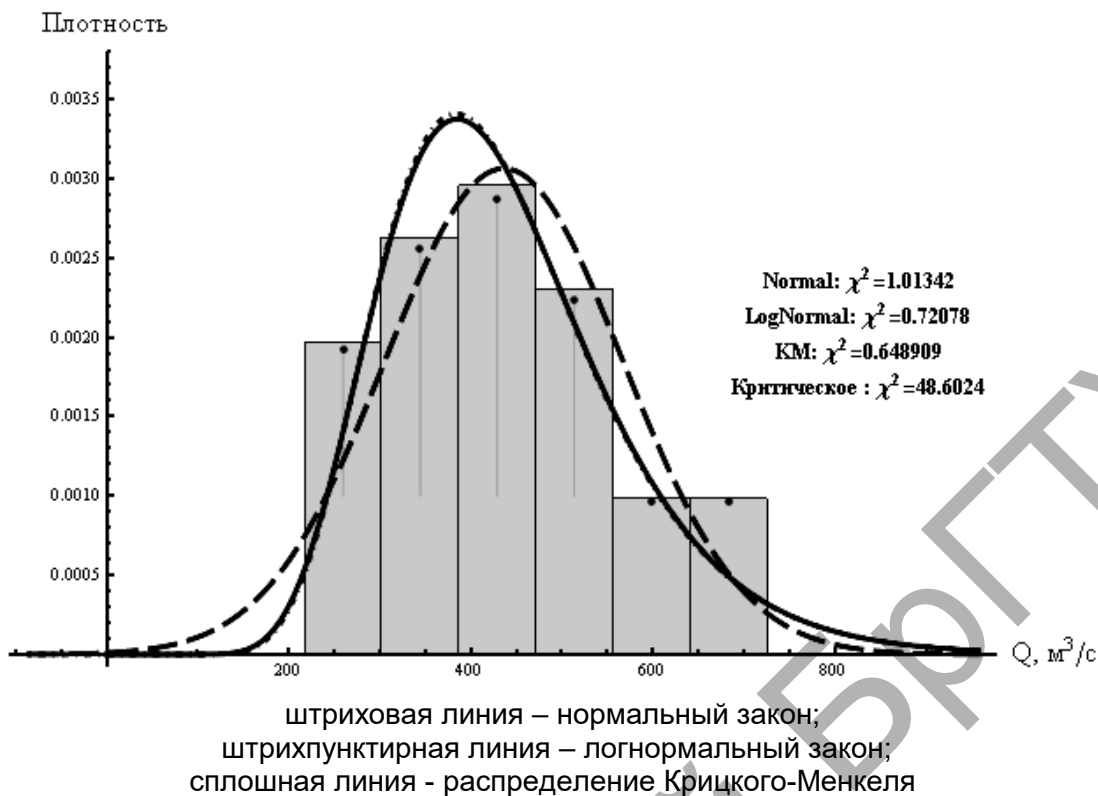


Рисунок 1 – График теоретических функций плотности распределения и эмпирические значения средне годовых расходов р. Припять – г. Мозырь

Как видно из рисунка 1, все рассматриваемые функции достаточно точно описывают эмпирические точки средне годовых расходов. Соотношение вычисленных значений критерия χ^2 , для каждой из функций, значительно меньше критического значения на уровне значимости 95 %, равного 48,6. В этом случае нулевая гипотеза не отвергается для рассматриваемых распределений. Для дальнейшего анализа будем использовать трехпараметрическое гамма.

По известным параметрам функции плотности распределение Крицкого-Менкеля вычисляем обеспеченность (водность) отдельных лет наблюдений

$$P = \int_{\bar{Q}}^{\infty} \left(\frac{\Gamma(\gamma + b)}{\Gamma(\gamma)} \right)^{\frac{\gamma}{b}} \frac{1}{\bar{Q} \cdot b \cdot \Gamma(\gamma)} \left(\frac{q}{\bar{Q}} \right)^{\frac{\gamma}{b} - 1} e^{-\left(\frac{\Gamma(\gamma + b) q}{\Gamma(\gamma) \bar{Q}} \right)^{\frac{1}{b}}} dq.$$

Гидрограф стока за календарный год с обеспеченностью менее 10% представлен на рисунке 2. Из рисунка 2 видно, что обеспеченность года в целом достаточно хорошо описывает значительные весенние половодья. Однако высокая водность года не всегда характеризуется большими расходами за весенний период. В этом случае на основе данной классификации был выделен 1998 год с высокими внутрисезонными расходами, но низким расходом в половодье, а половодье в 1970 году не было выделено. Исходя из этого, делаем вывод, что рассматриваемый период не может использоваться для классификации водности весеннего половодья.

Значительным фактором, определяющим объём весеннего половодья, является зимний сток. Объём сработанной влаги за зимний период во время оттепелей значительно снижает максимальные расходы весеннего половодья и влияет на форму гидрографа стока.

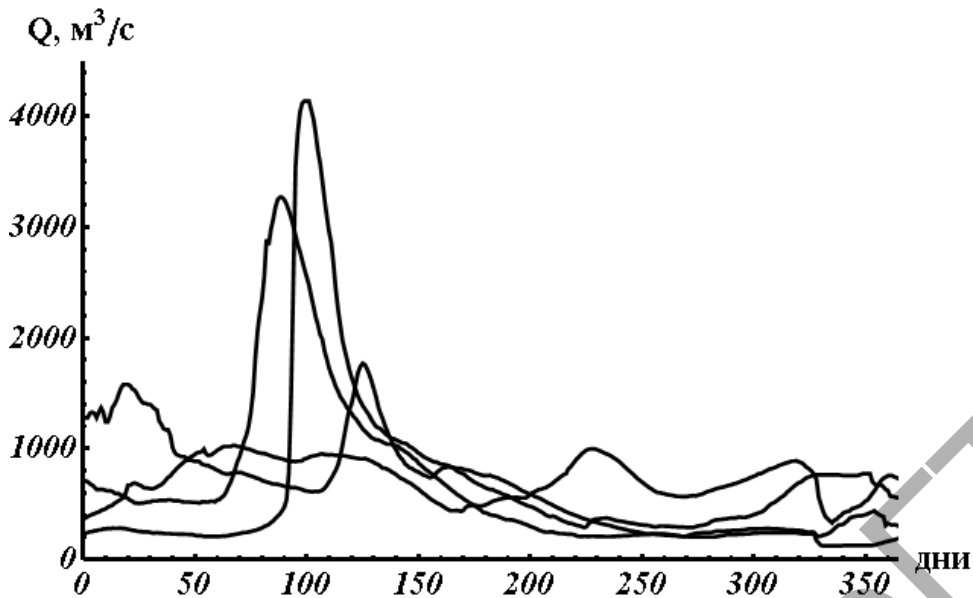


Рисунок 2 – Гидрографы стока р. Припять – г. Мозырь с обеспеченностью менее 10 %

Наиболее эффективным в качестве показателя классификации является средний расход за период апрель–май. Используя аналогичныеходы, определены параметры функции плотности распределения (рисунок 3). Как и в предыдущем случае, логнормальный закон распределения показал несколько лучший результат по сравнению с распределением Крицкого-Менкеля, но при этом для всех распределений критерий попал в критическую область.

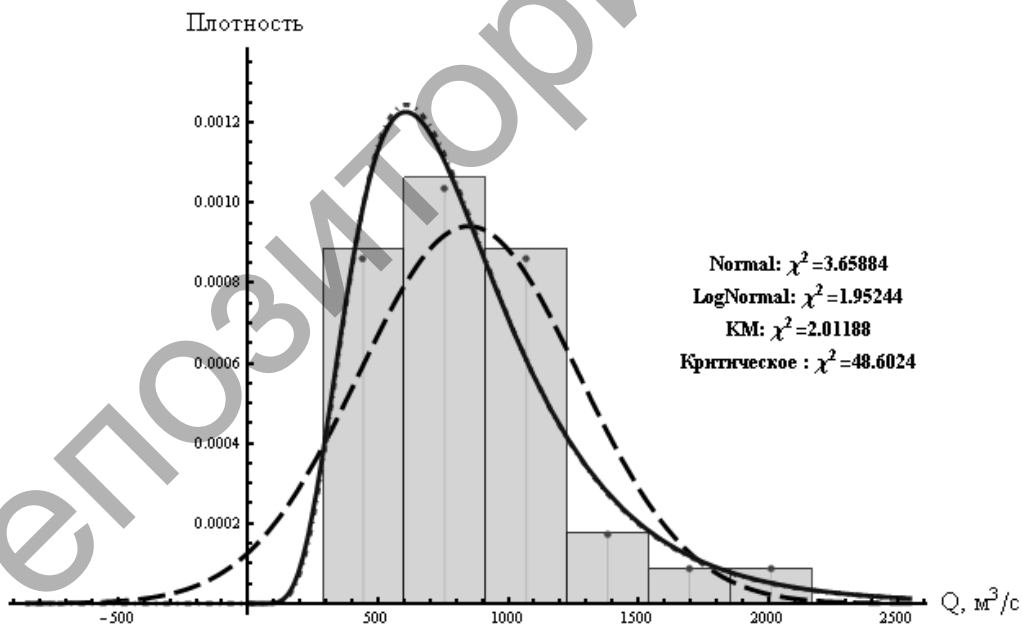
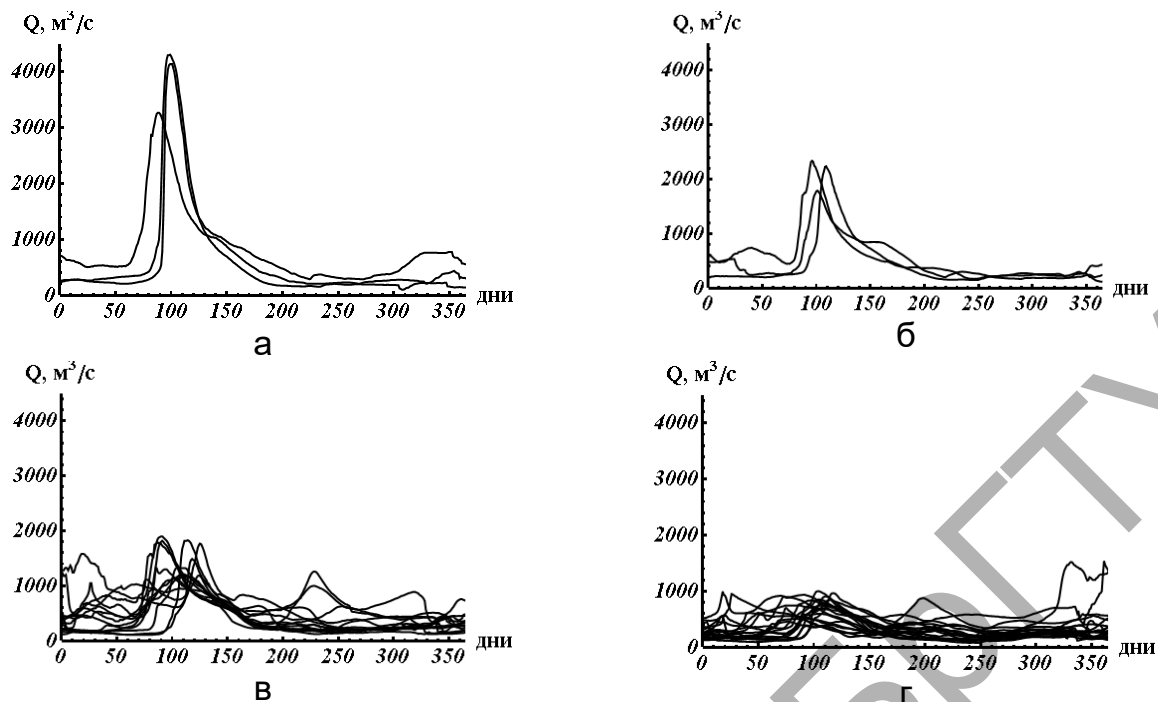


Рисунок 3 – График теоретических функций плотности распределения и эмпирические значения средние расходов р. Припять – г. Мозырь за период апрель–май

Классификация гидрографов весеннего половодья с применением интервала апрель–май показала эффективность на всех уровнях обеспеченности стока. Для обеспеченности менее 10 % выделено три года – 1970, 1979, 1999. При диапазоне обеспеченностей 10–20 % – 1976, 2004 гг; при водности 20–50 % – 1968, 1969, 1975, 1977, 1978, 1981–1983, 1993, 1994, 1996, 1998, 2003; при водности более 50 % оставшиеся года (рисунок 4).



а – обеспеченности менее 10 %; б – обеспеченности 10–20 %;
в – обеспеченности 20–50 %; г – обеспеченности 20–50 %

Рисунок 4 – Гидрографы стока р. Припять – г. Мозырь

Применение результатов для нейросетевого прогноза

Полученные результаты классификации были применены в архитектуре программной системы, использующей нейросетевой алгоритм для прогнозирования половодий [3]. Нейронная сеть, входящая в состав программной системы, выполняет прогнозирование временного ряда, в качестве значений которого используются результаты измерений уровня воды и, опционально, скорости течения в контрольных точках (обучающая выборка сети). Таким образом, сеть выполняет прогноз изменения уровня воды на конкретном гидропосту. В качестве типа нейронной сети использован многослойный персептрон с 12 входными нейронами, 6 нейронами в скрытом слое и одним в выходном.

Сформированные классы исторических гидрографов

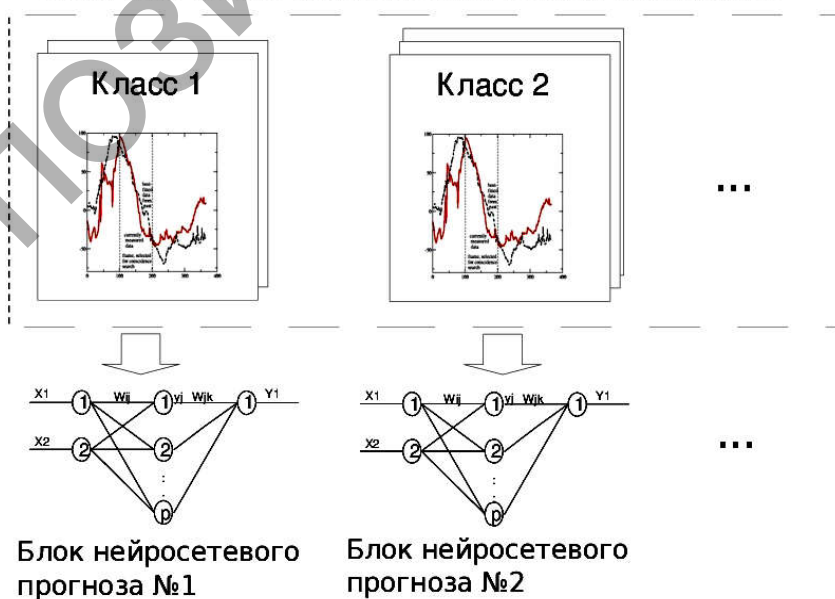


Рисунок 5 – Архитектура нейросетевой системы прогнозирования

В качестве метода достижения уточненного прогноза, особенно эффективного для наиболее катастрофических в случае Республики Беларусь весенних половодий, нами использован предварительный отбор гидрографов на основе полученной классификации.

Результирующая программная архитектура показана на рисунке 5, а результат работы классификатора приведен на рисунке 6.

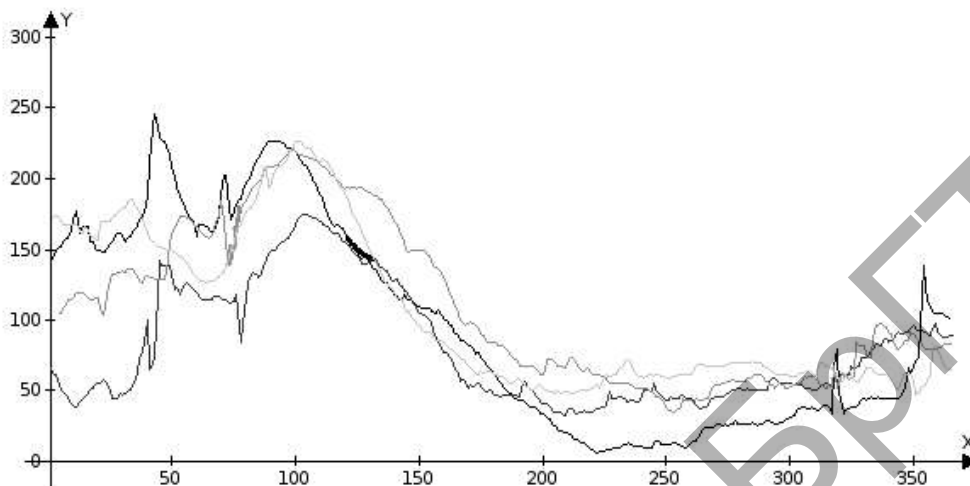


Рисунок 6 – Обучающие гидрографы для блока нейросетевого прогноза

Заключение

Предложен подход классификации гидрографов весеннего половодья в зависимости от обеспеченности среднесезонного расхода за период апрель–май. Изложенный подход был апробирован на данных наблюдения за расходом р. Припять – г. Мозырь, при этом выделены четыре группы гидрографов, связанных с водностью года. Характеристики классов по водности проверены графически, исходя из формы гидрографа за соответствующий год.

На основе полученной классификации и данных наблюдений за количеством снегозапасов на территории водосбора сформированы обучающие выборки для искусственной нейронной сети, выполняющей прогнозирование уровня воды на гидропосту.

Предложенная классификация гидрографов также может использоваться для иных инженерных расчетов, при необходимости – для предпроектных и проектных исследований на особо важных объектах.

Список литературы

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 06.09.2010 № 1280 (ред. от 13.01.2012) «Об утверждении Республиканской программы "Инженерные водохозяйственные мероприятия по защите населенных мест и сельскохозяйственных земель от паводков в наиболее паводкоопасных районах Полесья на 2011-2015 годы"».

2. Волчек А.А., Костюк Д.А., Петров Д.О. Расчет затопления территорий для системы мониторинга и прогнозирования паводка // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века: материалы 11-й междунар. науч. конф., 19–20 мая 2011 г., г. Минск, Республика Беларусь / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров. – Минск : МГЭУим. А. Д. Сахарова, 2011.- С. 318.

3. Volchek A., Kozak A., Kostjuk D., Petrov D. Electronicsystemoffloodmonitoringandvisualization // Hydrology: fromresearch to water management. XXVI Nordic hydrological conference. Riga, Latvia, August 9-11, 2010. – Riga: University of Latvia Press, 2010. – P. 66-68.

4. Мусатов, А.П. Экологические основы создания оптимального водного режима в дельте Волги и Северном Каспии / А. П. Мусатов, Г. Ф. Красножон, Е. А. Федосеев // Водные ресурсы. – 1981. – № 4. С 21–37.

5. Болотнов, В.П. Комплексный показатель воздействия весенних половодий на экосистемы речных пойм // В. П. Болотнов / География и природные ресурсы: – 2006. – № 3. – С 126–131.

6. Крицкий, С.Н. О применении метода наибольшего правдоподобия к выборочной оценке статистических параметров речного стока/ С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Известия Академии наук СССР. ОТН., 1949. – № 4. – С. 919–940.

7. Крицкий, С.Н. Расчет многолетнего регулирования стока на основе теории вероятностей / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Тр. ВИСУ. Гидротехнический сборник. 1932. – № 4. – С. 7–32.

8. Волчек, А.А. Учет разовых гидрометрических измерений при определении основных гидрологических характеристик и параметров русла / А.А. Волчек, Н.Н. Шешко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2(68): Водохозяйственное строительство и теплотехника. – С. 7–13.

УДК 551.5(476)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТЕЛЕЙ И СНЕГОПАДА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

Волчек А.А., Шпока И.Н., Шпока Д.А.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, volchak@tut.by, irinashpoka@rambler.ru

In the article the change in the number of days with blizzards and snow in Belarus and peculiarities of their formation in the period from 1975 to 2012 Blizzards and snowfalls have a large temporal and spatial variability. Standard statistical methods allowed to identify temporal regularities in the formation of these phenomena. Spatial variability characteristics of blizzards and snow in Belarus was assessed using mapping.

Введение

Метели – перенос снега над поверхностью земли ветром достаточной силы [1]. Метель становится опасным метеорологическим явлением, когда скорость ветра усиливается до 15 м/с и более, имеет продолжительность не менее 12 часов.

Чаще всего метели возникают при перемещении циклонов и ложбин с запада на восток (приблизительно 50% от их общего числа). С перемещением циклонов с северо-запада и севера на юг связано около 25% метелей и приблизительно такое же количество – с выходом южных циклонов к северу. Наиболее продолжительные метели наблюдаются на периферии мощного стационарного антициклона [2].

Сильный снегопад – продолжительное интенсивное выпадение снега из облаков, приводящее к значительному ухудшению видимости и затруднению движения транспорта [1].

Нередко метели и снегопады становятся опасным метеорологическим явлением. Так, 25.03.2008 г. часть Беларуси находилась под влиянием «южного» циклона, располагавшегося над Гомельской областью. Атмосферные фронты с волнами проходили по центральным и восточным районам страны. В результате чего наблюдались сильные снегопады по Брестской, Гродненской, Минской и Витебской областям. Выпало от 7 до 14 см осадков, прирост снега за сутки составил до 10-16 см, на метеостанции Верхнедвинск выпало 23 мм осадков – прирост снега за сутки составил 27 см. В результате сильного снега нанесен ущерб ряду хозяйств республики. В д. Вышнарowo (Верхнедвинский район) обрушилась крыша телятника, повреждено 500 листов шифера, отмечались сбои в работе общественного транспорта. В Верхнедвинском районе были обесточены 23 населенных пункта, повреждены 5 линий электропередач, 34 КТП.