

Таким образом, наблюдаемые в последние десятилетия климатические изменения привели к значительной перестройке системы влагооборота на водосборах рек. Повышение температуры воздуха способствует росту суммарного испарения и дефицита почвенной влаги, иссушению почвогрунтов, росту их впитывающей способности, наблюдается увеличение частоты и интенсивности оттепелей зимой. В таких условиях наблюдается рост потерь воды, что приводит к снижению максимальных расходов воды половодий и паводков.

УДК 556.06

Н. Н. ШЕШКО, М. Ф. КУХАРЕВИЧ

Беларусь, Брест, БрГТУ

E-mail: optimum@tut.by; kukharevichmikhail@gmail.com

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТСУТСТВУЮЩИХ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЙ ВОДЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛАНЬ)

Процесс исследования водного объекта зачастую предусматривает под собой обработку большого объема данных, представленных в виде временных рядов. Нередко в данных рядах по различным причинам могут присутствовать пропуски значений, приводящие к искажению результатов исследования водного объекта. По этой причине возможность восстановления пропущенных значений представляет существенный интерес, что подтверждается исследованиями по данной тематике [1–3].

В качестве исходных данных для выполнения восстановления в данной работе использовались среднемесячные температуры воды, а в качестве дополнительных данных – среднемесячные температуры почвы и воздуха. Период исследования составил 43 года (с 1975 по 2017 г.).

В качестве исходных данных наблюдений за температурой воды использовались «Гидрологические ежегодники» и Государственный водный кадастр «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» по реке Лань, температуры воздуха и почвы принималась на основе Климатического кадастра Республики Беларусь «Метеорологический ежемесячник» по метеостанциям Житковичи и Полесская.

Причины возникновения пропусков могут иметь различный характер, что необходимо учитывать при выборе метода восстановления. Анализ пропусков исходного временного ряда температур воды показал, что они не имеют случайный характер. Пропуски выпадают на ноябрь – март (рисунок 1).

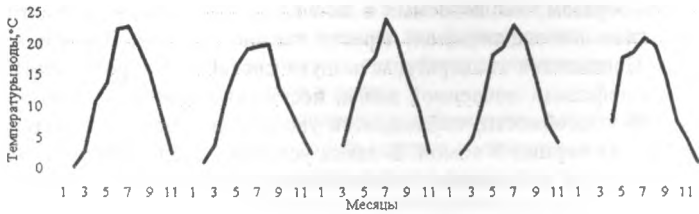


Рисунок 1 – График изменения температуры воды

В настоящее время существует множество методов восстановления пропусков. Так, в некоторых исследованиях в качестве методов восстановления использовались как интерполяция [1; 2], так и регрессия [3]. Каждый из них имеет определенные преимущества и недостатки.

В данном исследовании были рассмотрены три группы методов восстановления, реализованные в виде функций в программе Wolfram Mathematica, – интерполяционные, регрессионные и аппроксимаций.

Интерполяция. В ходе исследования в качестве метода восстановления была использована интерполяция сплайном 1-го, 2-го, 3-го (линейная, квадратичная и кубическая интерполяции) порядка (рисунок 2), а также полиномиальная интерполяции.

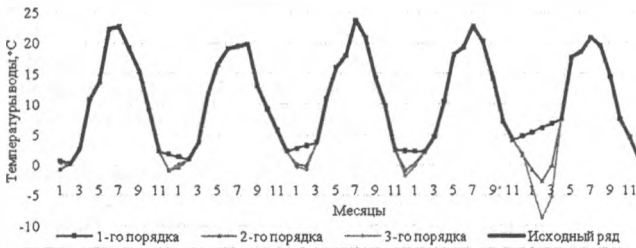


Рисунок 2 – График изменения температуры воды с восстановлением пропущенных значений сплайн-интерполяцией n -го порядка

Линейная интерполяция в некоторых случаях дает весьма хорошие результаты, однако результаты данных исследований показали ограниченность ее применения, что обусловлено двумя основными причинами:

1. Пропущенные значения выпадают на пиковое значение [1], что приводит к их «срезанию».
2. Имеется несколько пропущенных значений подряд [2], что значительно «спрямляет» ход температур.

Более реальный ход изменения температуры воды показали методы, восстановленные на основе сплайн-интерполяции 2-го и 3-го порядков. Однако некоторые восстановленные значения имели значения ниже 0°C , что явно не

соответствует действительности из-за специфики охлаждения вод в водных объектах.

Использование метода полиномиальной регрессии, несмотря на возможность получения достаточно хороших результатов, оказалось нереализуемым из-за реализации весьма сложного механизма автоматизированной верификации модели восстановления.

Регрессия. В процессе исследования были выполнены попытки восстановления пропущенных значений с помощью линейной однофакторной и множественной регрессий, а также авторегрессии. Наиболее предпочтительной является однофакторная регрессия, а потом многофакторная и авторегрессия [3]. В качестве зависимых факторов для однофакторной и многофакторной регрессии использовались температуры воздуха и почвы. Результаты восстановления представлены на рисунке 3.

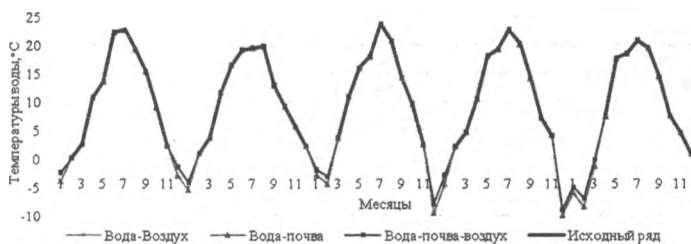


Рисунок 3 – График изменения температуры воды с восстановлением пропущенных значений регрессионными моделями

Наиболее правдоподобные результаты были получены в результате восстановления методом линейной однофакторной регрессии по параметрам «вода – воздух». Однако, как и в случае сплайн-интерполяциями 2-го и 3-го порядков, восстановленные значения местами опускаются ниже 0 °C, что обуславливает неприменимость данной модели.

Восстановление с использованием метода авторегрессии является невозможным по причине того, что пропущенные значения выпадают на одни и те же месяцы.

Аппроксимация. Для реализации восстановления методом аппроксимации была использована нелинейная квадратичная регрессионная функция, позволяющая описать внутригодовое изменение температуры воды. Преимуществом данного метода перед регрессионным и интерполяционным является наличие контроля процесса восстановления путем задания граничных условий для восстанавливаемых значений. Результаты восстановления представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – График изменения температуры воды с восстановлением пропущенных значений аппроксимацией

Восстановление с помощью нелинейной регрессии показало хороший результат. Так ход изменения температуры воды приобрел достаточно естественный характер. Помимо этого, отсутствуют «срезания» пиков как при линейной интерполяции, а также отсутствуют выходы за 0°C как при интерполяции 2-го, 3-го порядков и при регрессионных методах.

Для дополнительной проверки аппроксимации было выполнено пошаговое восстановление некоторых отрезков исходного ряда с увеличением с каждым шагом количества пропускаемых пропусков, а также были рассчитаны доверительные интервалы по всей выборке и по месяцам отдельно с целью сопоставления с ними восстановленных значений (рисунок 5).

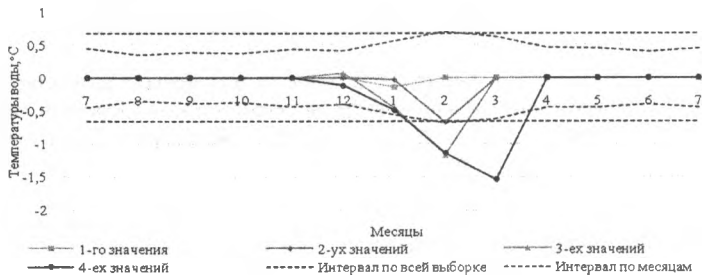


Рисунок 5 – Оценка результатов восстановления аппроксимацией

В результате было определено, что метод аппроксимации способен восстанавливать отрезок ряда с одним или двумя пропусками подряд, при больших количествах наблюдаются выходы значений за доверительный интервал.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радчикова, Е. С. Анализ применения способов заполнения пропусков в данных во временных рядах в экологических исследованиях / Е. С. Радчикова // Экология и защита окружающей среды : сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 19–20 марта 2014 г. – Минск, 2014. – С. 112–116.

2. Круглов, В. В. Методы восстановления пропусков в массивах данных / В. В. Круглов, И. В. Абраменкова // Програм. продукты и системы. – 2005. – № 2. – С. 16–20.

3. Волчек, А. А. Методика и алгоритм приведения временных рядов уровней грунтовых вод к расчетным (на примере природно-территориального комплекса «Беловежская пуца») / А. А. Волчек, Н. Н. Шешко // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. Сер. «Водохоз. строительство, теплоэнергетика и геоэкология». – 2010. – № 2. – С. 2–7.

УДК 504.453

А. В. ЯЦЫК¹, И. В. ГОПЧАК², Т. А. БАСЮК³

¹Украина, Киев, УНИИВЭП

²Украина, Ровно, НУВГП

³Украина, Ровно, МЭГУ имени академика С. Демьянчука

E-mail: undiwep@gmail.com; gopchak_igor@ukr.net; tanya_basyuk@ukr.net

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ НА ТРАНСГРАНИЧНОМ УЧАСТКЕ

Изучение состояния уровня загрязненности поверхностных вод является весьма актуальным вопросом и имеет большое как теоретическое, так и практическое значение, поскольку позволяет рационально использовать водные объекты и обеспечить их охрану от загрязнения. Водные ресурсы реки Западный Буг использует не только Украина, но и Республика Беларусь и Польша. В связи с этим возникает потребность в научном обосновании рационального водопользования и разработке мероприятий по охране вод реки Западный Буг от загрязнения в пределах трансграничного участка. И первым шагом на этом пути является оценка качества поверхностных вод [1–4].

Целью исследования является оценка уровня загрязненности поверхностных вод реки Западный Буг на трансграничном участке.

Длина реки Западный Буг на территории Украины составляет 404 км. Общая площадь бассейна реки в пределах Украины – 11 205 км² (28,4 % от общей площади бассейна), среднегодовой поверхностный сток – 1 317 млн м³. Главные притоки реки Западный Буг в пределах Украины, на которых проводится мониторинг качества поверхностных вод, – реки Рата, Полтва, Луга и Гапа [1; 2].

Мониторинг качественного состояния вод на трансграничном участке Западного Буга был проведен на утвержденных пунктах государственного мониторинга качества вод (таблица 1).

Таблица 1 – Пункты государственного мониторинга качества вод на трансграничном участке бассейна реки Западный Буг

№	Название створа	км
1	п. Амбуков (500 м ниже впадения реки Хучва)	584
2	г. Устилуг (500 м ниже впадения реки Луга)	569
3	п. Забужье	468