

УДК 556.16

## ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДАХ

**А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук**

*Брестский государственный технический университет, ул.Московская,267,  
224017, г. Брест, Беларусь, [volchak@tut.by](mailto:volchak@tut.by)*

В данной статье рассмотрены многолетние колебания максимальных расходов весеннего половодья реки Припять в створе г. Мозыря за 142-летний период наблюдений. Для оценки периодических составляющих в исследуемом ряду использован метод эмпирической модовой декомпозиции. Данный подход позволяет выявить скрытые закономерности нелинейных нестационарных временных рядов.

**Ключевые слова:** максимальный сток; периодичность; эмпирическая модовая декомпозиция; внутренняя модовая функция.

## IDENTIFYING HIDDEN PERIODIC COMPONENTS IN HYDROLOGICAL SERIES

**A. A. Volchak, S. V. Sidak, S. I. Parfomuk**

*Brest State Technical University, Moskovskaya str., 267,  
224017, Brest, Belarus, [volchak@tut.by](mailto:volchak@tut.by)*

This article examines long-term fluctuations in the maximum spring flood runoff of the Pripyat River at the Mozyr site over a 142-year observation period. To estimate the periodic components in the series under study, the method of empirical mode decomposition was used. This approach allows us to identify hidden patterns of nonlinear nonstationary time series.

**Keywords:** maximum runoff; periodicity; empirical mode decomposition; intrinsic mode function.

Водные ресурсы жизненно важны для человечества и имеют решающее значение для социально-экономического развития государства и устойчивости экологической среды. Происходящие во всем мире процессы изменения климата находят свое отражение в нестационарности гидрологических данных [1, с. 94]. Особенно затруднительной при анализе таких данных является задача определения цикличности колебаний стока. Решение этой проблемы имеет важное значение для понимания и прогнозирования гидрологических процессов. Периодичность колебаний стока может отражать сезонные изменения, циклические процессы или

долгосрочные тенденции в гидрологических данных. Как правило, для исследования цикличности колебаний стока применяют разностные интегральные кривые, спектральный анализ, преобразование Фурье, вейвлет-преобразование [2, с. 229]. В данном исследовании для выявления скрытых периодических составляющих в гидрологических рядах предлагается использование метода эмпирической модовой декомпозиции (empirical mode decomposition, EMD). EMD — это относительно новый метод, который позволяет работать как с нелинейными, так и с нестационарными данными. Предложенный метод имеет ряд преимуществ перед другими методами спектрального анализа: в отличие от сингулярного спектрального анализа, преобразования Фурье и вейвлет-преобразования, EMD не требует какой-либо заранее определенной функции разложения, с его помощью можно извлекать внутренние модовые функции из исходного сигнала адаптивно [3, с. 100; 4, с. 907]. Благодаря таким характеристикам метод EMD можно использовать для анализа и обработки нестационарных и нелинейных временных рядов, преодолевая ограничения традиционных методов.

Суть метода EMD заключается в декомпозиции исходного временного ряда на набор внутренних модовых функций (intrinsic mode functions, IMF) и остаток, после чего в результате анализа каждой моды отдельно или в комбинации с другими модами возможно выявление во временном ряду скрытых осцилляций, трендов, циклов и других характеристик. Каждая компонента IMF должна удовлетворять двум условиям: 1) во всем ряду данных количество экстремумов и количество пересечений нуля должно быть либо равным, либо отличаться не более чем на 1; 2) в любой точке среднее значение огибающей, определяемой локальными максимумами, и огибающей, определяемой локальными минимумами, равно нулю.

В данной работе исследование периодичности выполнено по данным наблюдений за максимальными расходами воды весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря за период инструментальных наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Период исследования составил 142 года (1877–2018 гг.).

Для временного ряда расходов речного стока  $Q(t)$  ( $t = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  — объем выборки) процедура EMD может быть описана следующим образом [5, с. 70]:

- 1) определить все локальные максимумы и минимумы исходного временного ряда  $Q(t)$ ;

- 2) используя истокообразную аппроксимацию [3, с. 101], построить верхнюю  $Q_{up}(t)$  и нижнюю  $Q_{low}(t)$  огибающие соответствующих локальных экстремумов;
- 3) вычислить среднее значение  $m(t)$  верхней и нижней огибающих:

$$m(t) = (Q_{up}(t) + Q_{low}(t))/2;$$

4) рассчитать значение разницы  $w(t)$  между временным рядом  $Q(t)$  и средним значением  $m(t)$ ;

5) проверить значение разности  $w(t)$ :

- если  $w(t)$  удовлетворяет двум условиям IMF, то  $w(t)$  определяется как  $i$ -я IMF, а остаток  $r(t) = Q(t) - w(t)$  заменяет  $Q(t)$ . Каждая  $i$ -я IMF обозначается как  $c_i(t)$ ;

- если  $w(t)$  не является IMF, тогда  $w(t)$  заменяет  $Q(t)$ .

6) повторять шаги 1)–5) до тех пор, пока остаток  $r(t)$  не станет монотонной функцией или число экстремумов будет меньше или равно 1.

Исходный временной ряд  $Q(t)$  можно обозначить как сумму IMF  $c_i(t)$  и остатка

$$r(t): Q(t) = \sum_{i=1}^m c_i(t) + r(t),$$

где  $m$ ,  $c_i(t)$  и  $r(t)$  представляют собой общее количество функций IMF,  $i$ -ю IMF и остаток соответственно.

Средний период каждой IMF можно рассчитать, разделив двойной размер выборки ( $2N$ ) на количество пересечения нуля.

Ни рис. 1 представлен многолетний ход изменения максимальных расходов весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря. К ряду в дальнейшем применен метод EMD.

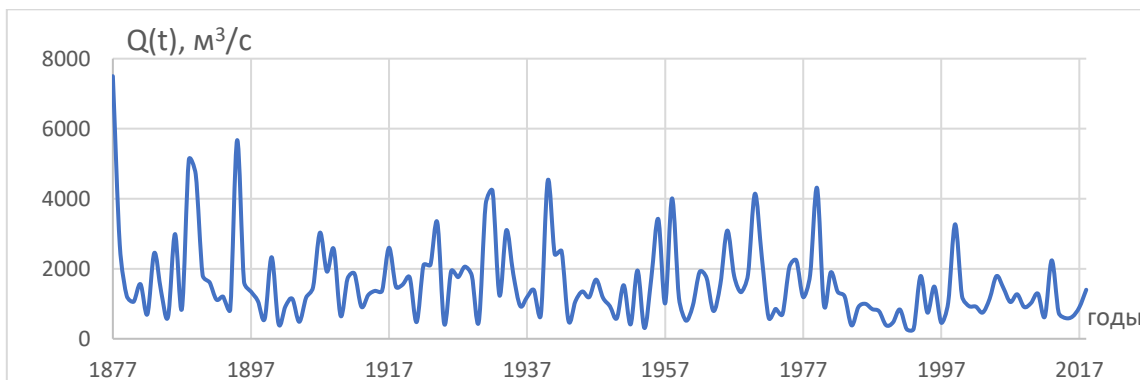


Рис. 1. Хронологический график многолетних колебаний максимального стока весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря

На рисунке 2 показаны результаты применения метода EMD к исследуемому ряду. Анализ полученных IMF выявил колебания со средними периодами 3 года (IMF1), 8 лет (IMF2), 19 лет (IMF3) и 47 лет (IMF4).

Метод EMD позволил выполнить разложение исходного ряда на четыре IMF и остаток, из которых можно сформировать фоновые составляющие или просто очистить от «помех» график исходных величин [6, с. 236]. Возможно совмещение процедуры снятия фона со сглаживанием полученного результата, если из процесса суммирования исключить самую высокочастотную модовую функцию — IMF1 [6, с. 235]. На рис. 3 в качестве примера представлены фоновые составляющие, реализованные по 3 вариантам: сумма IMF2, IMF3, IMF4 и остатка; сумма IMF3, IMF4 и остатка; сумма IMF4 и остатка.

Использованные в данной работе подходы и полученные результаты могут быть применены в дальнейшем для определения краткопериодных и длиннопериодных изменений водного режима, оценки синхронности колебаний стока рек Беларуси, а также при моделировании гидрологических процессов и получении прогнозных оценок стока.

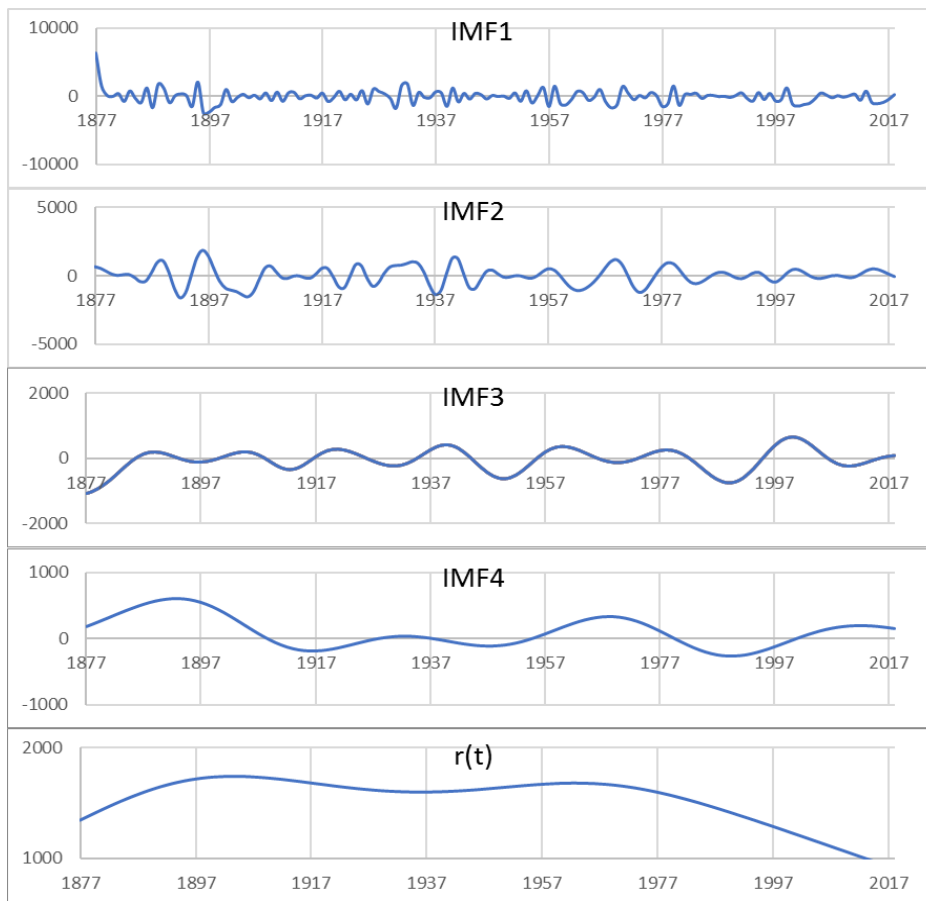


Рис.2. Разложение ряда максимальных расходов весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря на модовые функции (IMF) и остаток (r)

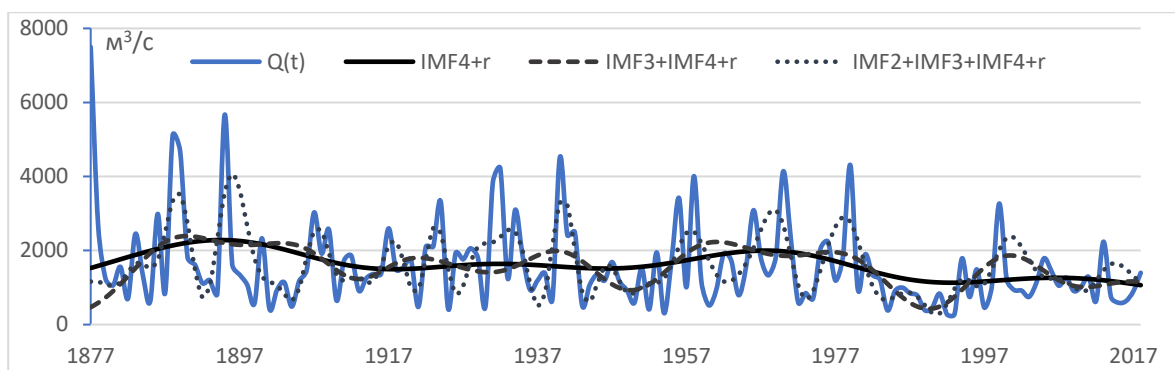


Рис.3. Формирование фоновой составляющей временного ряда максимальных расходов весеннего половодья р. Припять в створе г. Мозыря

### Библиографические ссылки

1. Volchak A. A., Sidak S. V., Parfomuk S. I. Statistical assessment of the runoff time series homogeneity of the rivers in Belarus // Vestnik of Brest State Technical University. 2021. № 3 (126). P. 92-95.
2. Volchek A. A., Sidak S. V., Parfomuk S. I. Dynamics of aquatic resources change in Belarus in modern conditions // Инновации: от теории к практике : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 21-22 окт. 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Зазерская [и др.]. Брест, 2021. С. 228-236.
3. Долгаль А. С., Христенко Л. А. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. 2017. Т. 328. № 1. С. 100-108.
4. Huang N. E., etc. The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Non-linear and Non-stationary Time Series Analysis // Proc. Royal Soc. London. 1998. Vol. 454. P. 903-995.
5. Волчек А. А., Парфомук С. И., Сидак С. В. Прогнозные оценки максимальных расходов воды реки Днепр в створе города Речицы // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. 2021. № 1 (124). С. 69-76.
6. Христенко Л. А. Метод эмпирической модовой декомпозиции при выделении информативных компонент результатов электропрофилеирования // Стратегия и процессы освоения георесурсов : сб. науч. тр. Пермь : ГИ УрО РАН, 2018. Вып. 16. С. 233-237.