

Гайдукова Екатерина Владимировна

канд. техн. наук, доцент

Качалова Анастасия Евгеньевна

аспирант

Литвинова Катерина Александровна

магистрант

ФГБОУ ВО «Российский государственный

гидрометеорологический университет»

г. Санкт-Петербург

УЧЕТ ПЕРИОДИЧНОСТИ ВОДНОСТИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕЧНОГО СТОКА НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

***Аннотация:** авторами рассматриваются методы учета цикличности в рядах расходов воды с целью оптимизации процесса выбора года-аналога при прогнозировании стока. С помощью этих методов выявлены периоды водности на реках Северо-Западного региона. Получено, что в среднем по всем методам для выбранных рек присущ двенадцатилетний цикл водности. Рассматривается также возможность использования разложения в ряд Фурье для прогнозирования стока.*

***Ключевые слова:** разностно-интегральные кривые, метод Шустера, корреляция рядов, ряд Фурье, поверочный прогноз.*

Введение

При прогнозировании водности гидрологических объектов для корректировки прогнозов используют год-аналог, т. е. ретроспективный год, в котором наблюдались схожие с текущим периодом гидрометеорологические условия формирования стока. Например, дается прогноз стока, рассчитанный по апробированной методике, далее берется таблица с многолетними гидрометеорологи-

ческими характеристиками и находится год с похожими условиями, сравнивается прогнозный сток в текущем году и сток года-аналога, значение прогнозного стока соответствующим образом корректируется и выдается заказчику. Данную процедуру применяют в Северо-Западном УГМС [6], неявно учитывая природную цикличность процессов, т. е. наступление схожих по водности лет через определенный период.

Цель данного исследования заключается в рассмотрении методов выделения цикличности в рядах стока и применение результатов этих методов для целей прогнозирования.

Исходные данные и методики исследования

Для достижения результатов была сформирована база данных суточных расходов воды с 1955 по 1980 год по 6 станциям: р. Ловать – с. Сельцо (8230); р. Ловать – г. Великие Луки (3270); р. Куныя – г. Холм (5090); р. Полисть – д. Подополье (2240); р. Плюсса – с. Плюсса (1450); р. Оредеж – с. Моровино (2890) (в скобках площадь водосбора, км²).

Для выявления цикличности были применены следующие методы: разностно-интегральные кривые (РИК) [1], корреляция между рядами расходов воды за различные годы, метод Шустера [5], метод Фурье [4].

Результаты применения методик

Разностно-интегральные кривые

Анализ построенных разностно-интегральных кривых показал, что маловодный период на рассматриваемых реках наблюдается в период с 1939 по 1951 и с 1963 по 1977 года, а многоводный период – с 1954 по 1963 и с 1981 по 1990 года. Т. е., например, 1956 год схож с 1965 годом по водности или аналогично 1972 с 1988 годом. На рис. 1 показан пример разностно-интегральных кривых.



а)



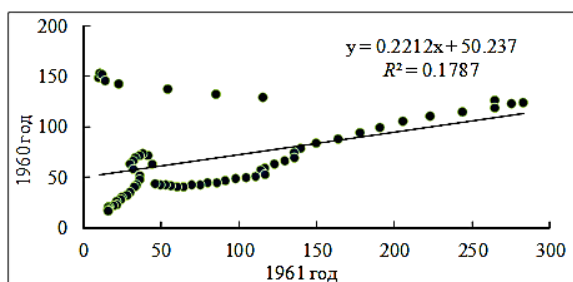
б)

Рис. 1. Пример разностно-интегральных кривых

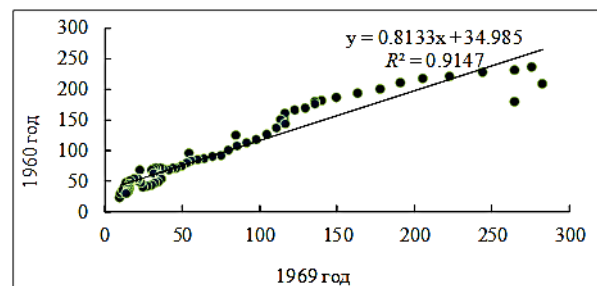
Корреляция рядов расходов воды

Корреляция суточных расходов воды за различные годы целиком не дала положительных результатов: коэффициент детерминации стремился к нулю при сильном разбросе точек.

Во внутригодовых рядах расходов воды были выделены периоды половодья и паводков как наиболее важных периодов при прогнозе стока. Пример их корреляционных графиков за смежные года и года, одинаковые по водности, показан на рис. 2. Получено, что для рассматриваемых рек значения коэффициентов корреляции для смежных лет варьируются от 0,1 до 0,68, для второго варианта (рис. 2, б) коэффициенты корреляции значительно выше.



а)



б)

Рис. 2. Пример корреляционных графиков р. Ловать – д. Сельцо: а – корреляция расходов воды за период половодья смежных лет; б – корреляция расходов воды за период половодья годов близких по водности

Метод корреляции предполагает последовательную корреляцию рядов между собой. Для автоматизации данной процедуры можно предварительно воспользоваться методом Шустера для выявления периодичности и уже в дальнейшем убедиться в том, что один год коррелирует с другим, т. к. был пройден цикл.

Метод Шустера

Алгоритм метода Шустера основан на разбиении исследуемого ряда на строки и колонки размера, соответствующего предполагаемому циклу. Если в построенной периодограмме наблюдается большая амплитуда, то цикл подтверждается (рис. 3, а). Можно оптимизировать процесс и строить график (рис. 3, б), где уже представлена амплитуда для предполагаемых циклов. Цикл будет соответствовать наибольшему значению амплитуды. На рис. 3 видно, что есть группировки в 12, 20 и 30 лет, но продолжительные циклы относятся, к так называемым, ложным циклам – в дальнейшем рассмотрение не берутся.

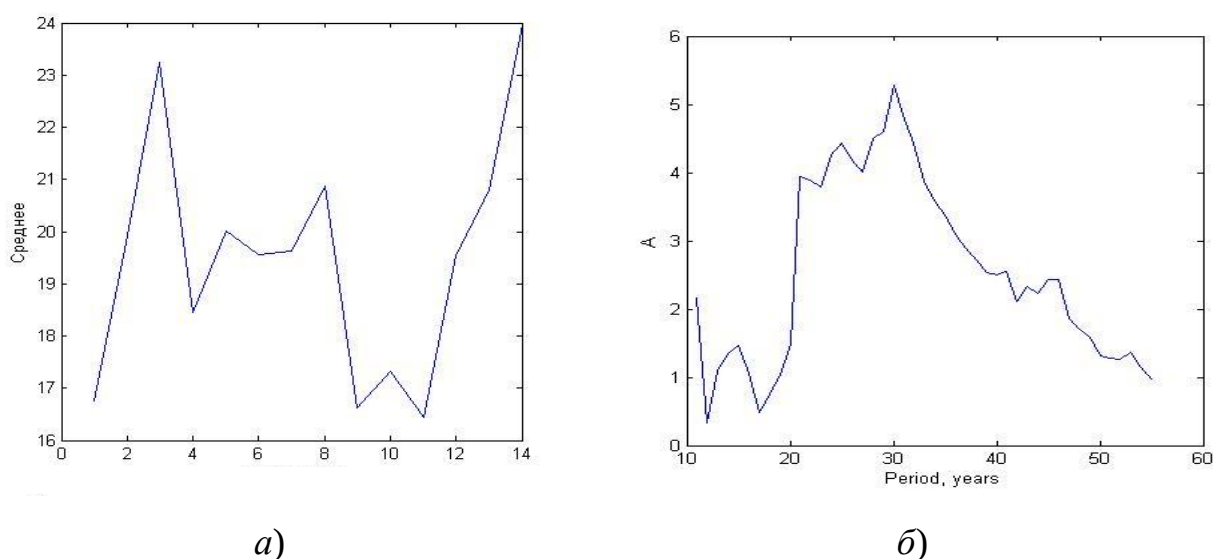


Рис. 3. Пример периодограмм (а) и амплитудных графиков (б)
(р. Ловать – г. Великие Луки)

Обобщенные результаты по представленным методам показаны в таблице, в которой видно, что по трем методам определены циклы разных периодов, но отличие в продолжительности периодов незначительно. Именно через такие периоды должны повторяться схожие года по условиям формирования стока. Имея

данный результат, можно попробовать применить метод разложения в ряд Фурье.

Таблица

Результаты определения периодов различными методами

Река – пост	РИК	Корреляция	Метод Шустера
р. Ловать – г. Великие Луки	12 лет	1957 с 1968 (11 лет)	15 лет
р. Ловать – с. Сельцо	11 лет	1962 с 1971 (9 лет)	15 лет
р. Плюсса – с. Плюсса	10 лет	1961 с 1974 (13 лет)	14 лет
р. Полисть – д. Подтополье	9 лет	1959 с 1970 (11 лет)	12 лет
р. Оредеж – д. Моровино	14 лет	1956 с 1968 (12 лет)	13 лет
р. Кунья – г. Холм	11 лет	1962 с 1972 (10 лет)	12 лет

Метод разложения в ряд Фурье

Формула Фурье:

$$P(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^M (a_i \cdot \cos(ix) + b_i \cdot \sin(ix)),$$

где a_i и b_i – коэффициенты (вещественные числа); M – число слагаемых в полиноме. Формула Фурье по сути это полином, описывающий колебательные процессы.

Первая попытка применения формулы к многолетнему ряду среднесуточных расходов воды целиком показана на рис. 4. Число M подбиралось вручную. Видно, что в начале графика ряд очень хорошо описывается полиномом, а затем по формуле идут предполагаемые повторяющиеся колебания, чего не наблюдается в фактических рядах. Результаты получились плохими, поэтому из рядов были выбраны отдельно периоды половодья и паводков.

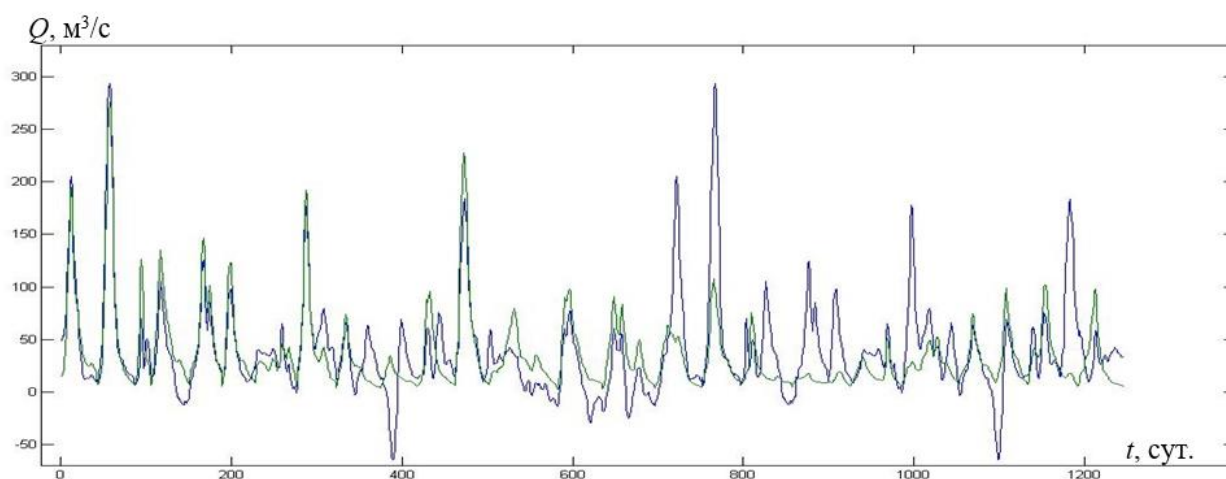
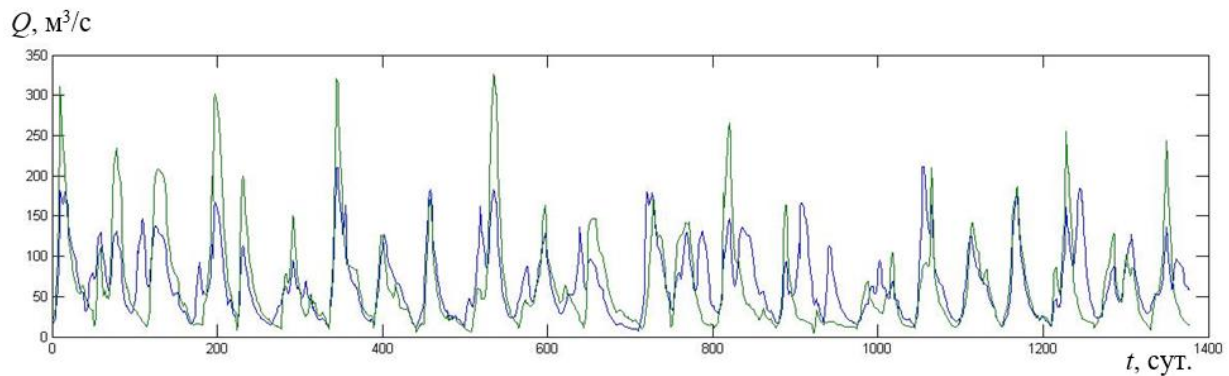


Рис. 4. Пример подбора полинома Фурье (зеленая линия – фактический ряд; синяя линия – рассчитанные значения)

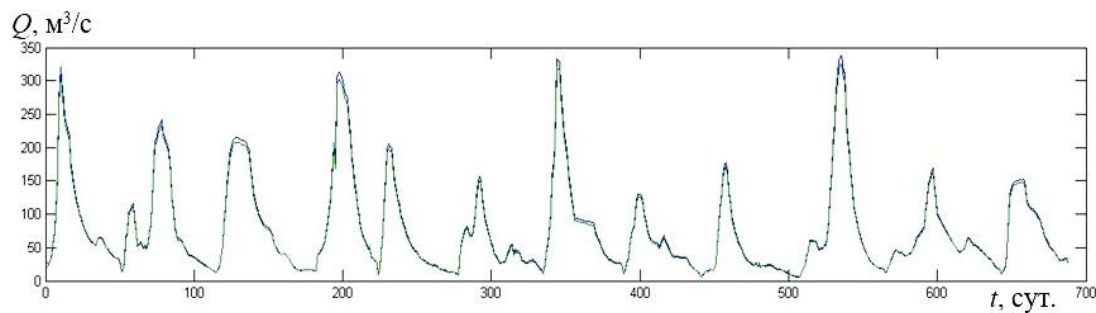
Алгоритм подбора числа слагаемых в полиноме был автоматизирован: выбиралось то число, при котором коэффициент корреляции (r) между фактическим рядом и рассчитанным по формуле Фурье наибольший, а также по минимальному соотношению S/σ_{Δ} (отношение среднеквадратической погрешности к среднеквадратическому отклонению изменения расходов воды односуточный за период) [2]. Для улучшения результатов ряд был разбит на половодья и паводки с учетом цикличности, которая была определена с помощью разностно-интегральных кривых и по методу Шустера. По значениям r и S/σ_{Δ} на рис. 5 видно, что метод Фурье «улавливает» цикличность в рядах с суточным разрешением для всех периодов половодий (рис. 5, а) и для половодий двенадцатилетнего цикла (рис. 5, б). Причем значение M для ряда половодий на рис. 5, б меньше половины продолжительности всего ряда.

а)



р. Оредеж – д. Моровино; $M = 1065$, $S/\sigma_{\Delta} = 0,73$, $r = 0,68$

б)



р. Оредеж – д. Моровино; $M = 355$, $S/\sigma_{\Delta} = 0,053$, $r = 1,0$

Рис. 5. Пример подбора полинома Фурье для ряда половодий (а) и половодий за 12-летний цикл (б) (зеленая линия – фактический ряд; синяя линия – рассчитанные значения)

Осталось ответить на вопрос: если можно четко подобрать уравнение Фурье, то можно ли его использовать для прогноза? Если у нас есть цикл, то аналогичные, схожие по условиям года должны повториться, уравнение должно перейти на следующий цикл. Для примера на рис. 6 показан результат подобного экспериментального прогноза половодья на 1980 год. Виден сдвиг пика «прогнозного» половодья, хотя в целом S/σ_{Δ} равно 0,85. Прогноз относится к разряду неудовлетворительный. Остаются вопросы для дальнейших исследований [3].

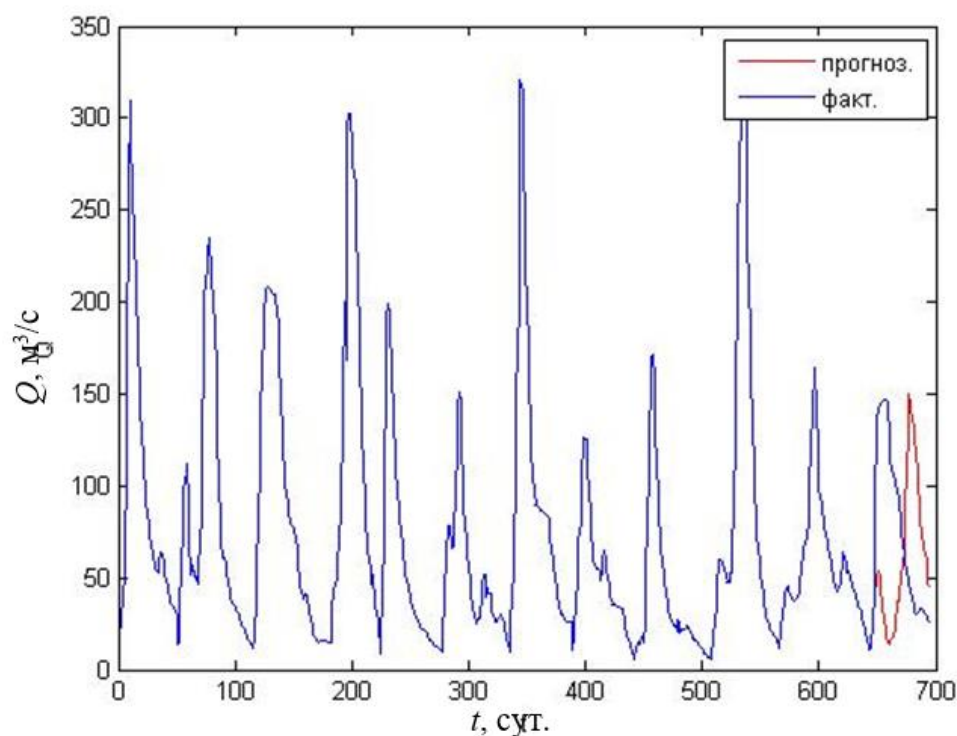


Рис. 6. Пример использования уравнения Фурье для прогноза

Выводы

В исследовании ряды расходов воды с шести водосборов Северо-Западного региона были проверены на наличие циклов несколькими методами, получено, что: 1) значения корреляции между рядами расходов за смежные года, между расходами воды в период половодья и в период паводков смежных лет варьируются от 0,3 до 0,68; 2) по методу Шустера выявлены периоды в рядах расходов воды равные 12 и 20 годам; 3) поверочные прогнозы по уравнению Фурье показали неплохой результат при долгосрочных прогнозах, но предварительно следует ряд следовать на цикличность с помощью разностно-интегральных кривых и метода Шустера.

Список литературы

1. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты [Текст] / А.М. Владимиров. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 50–52.

2. Георгиевский Ю.М. Гидрологические прогнозы [Текст] / Ю.М. Георгиевский, С.В. Шаночкин. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2007. – 436 с.
3. Коваленко В.В. Фоновое прогнозирование процесса формирования суточных вероятностных стоковых характеристик [Текст] / В.В. Коваленко, Е.В. Гайдукова, В.С. Девятков // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – №18. – 2011. – С. 10–20.
4. Мэтьюз Д. Численные методы. Использование MATLAB [Текст] / Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – С. 327–337.
5. Саруханян Э.И. Многолетние колебания стока Волги [Текст] / Э.И. Саруханян, Н.П. Смирнов. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 166 с.
6. ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // ФГБУ Северо-Западное УГМС. – 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=302> (дата обращения: 12.05.2016).