

ВЕЙВЛЕТ–АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ, ДОНА И ДНЕПРА.

Любушин А.А. *, Болгов М.В. **, Максютлова М.В. *

** - Институт физики Земли РАН, 123995, Москва, ул. Большая Грузинская, 10*

E-mail: lyubushin@yandex.ru

*** - Институт водных проблем РАН, 119991, Москва, ул. Губкина, 3*

E-mail: caspian-sea@mtu-net.ru

ВВЕДЕНИЕ.

Обычно годовые временные ряды, встречающиеся в гидрологии и метеорологии трудно охарактеризовать наличием либо каких-то амплитудных или частотных аномалий («событий»), либо регулярными периодическими составляющими. Трудность анализа таких временных рядов состоит в сложности формализации понятия временных точек смены «моды поведения» сигнала (критических точек или разладок). Другой проблемой является нахождение стационарных точек сигнала, соответствующих локальным экстремальным значениям. Тип поведения сигнала зависит от величины временного масштаба, на котором оно рассматривается. То есть, перед анализом сигнал должен быть определенным образом сглажен. Очевидно, что свойства сглаженного сигнала зависят от масштаба сглаживания. Далее мы будем использовать ядерное сглаживание с гауссовским ядром усреднения. Временные точки локальных минимумов и максимумов сглаженного сигнала, а также точки локального максимума модуля производной от сглаженного сигнала задают естественную фрагментацию поведения исходного сигнала для рассматриваемого масштаба времени. Назовем вышеперечисленные точки масштабно-зависимыми экстремальными точками сигнала.

Сглаженный сигнал обладает большим числом экстремальных точек для малых масштабов усреднения, но с ростом масштаба число таких точек быстро уменьшается. При плавном увеличении масштаба усреднения возможно объединение экстремальных точек различного типа в цепи отдельно для точек минимума или максимума сглаженного сигнала и для точек максимальных значений модуля первой производной, причем, отдельно для отрицательных и отдельно для положительных производных. Таким образом, получаются 4 типа цепей экстремальных точек на плоскости «масштаб-время».

Процедура, качественно изложенная выше, известна в непрерывном вейвлет-анализе как выделение точек скелета вейвлет-преобразований (WTMM – wavelet transform modulus maxima) [1]. В настоящем исследовании мы решили сделать акцент на анализе длинных цепей. Моменты времени, соответствующие началу длинных цепей (для минимальных значений масштабов, принятых к рассмотрению) мы будем рассматривать как особые точки поведения исследуемого сигнала 1-го типа. Ко второму типу особых точек мы отнесем точки соединения длинных цепей локальных минимумов и максимумов усредненного сигнала. Из соображений непрерывности сглаженного сигнала вытекает, что такие длинные цепи могут либо соединиться для некоторого достаточно большого масштаба либо «уйти на бесконечность», что практически означает выход цепи на некоторое ограничение по величине масштаба, вытекающее из ограниченной длины реализации сигнала. Точки соединения длинных цепей локальных максимумов и локальных минимумов сглаженного

сигнала назовем точками бифуркации. Из смысла этих точек следует, что в их окрестности исследуемый сигнал ведет себя примерно как константа на временном масштабе, соответствующей точке соединения цепей.

АНАЛИЗ ДАННЫХ.

Целью данного исследования является попытка количественно охарактеризовать поведение группы временных рядов среднегодовых стоков 16 рек бассейна Волги, Дона и Днепра с помощью анализа длинных цепей скелетов максимумов модулей непрерывных вейвлет-преобразований. Настоящая статья является продолжением исследования [2] другими методами. На рис.1 представлены графики длинных цепей локальных экстремумов усредненного сигнала (вместе с точками бифуркации) и локальных максимумов абсолютных значений его 1-ой производной (с различением отрицательных и положительных трендов) для временного ряда среднегодовых значений стока Волги.

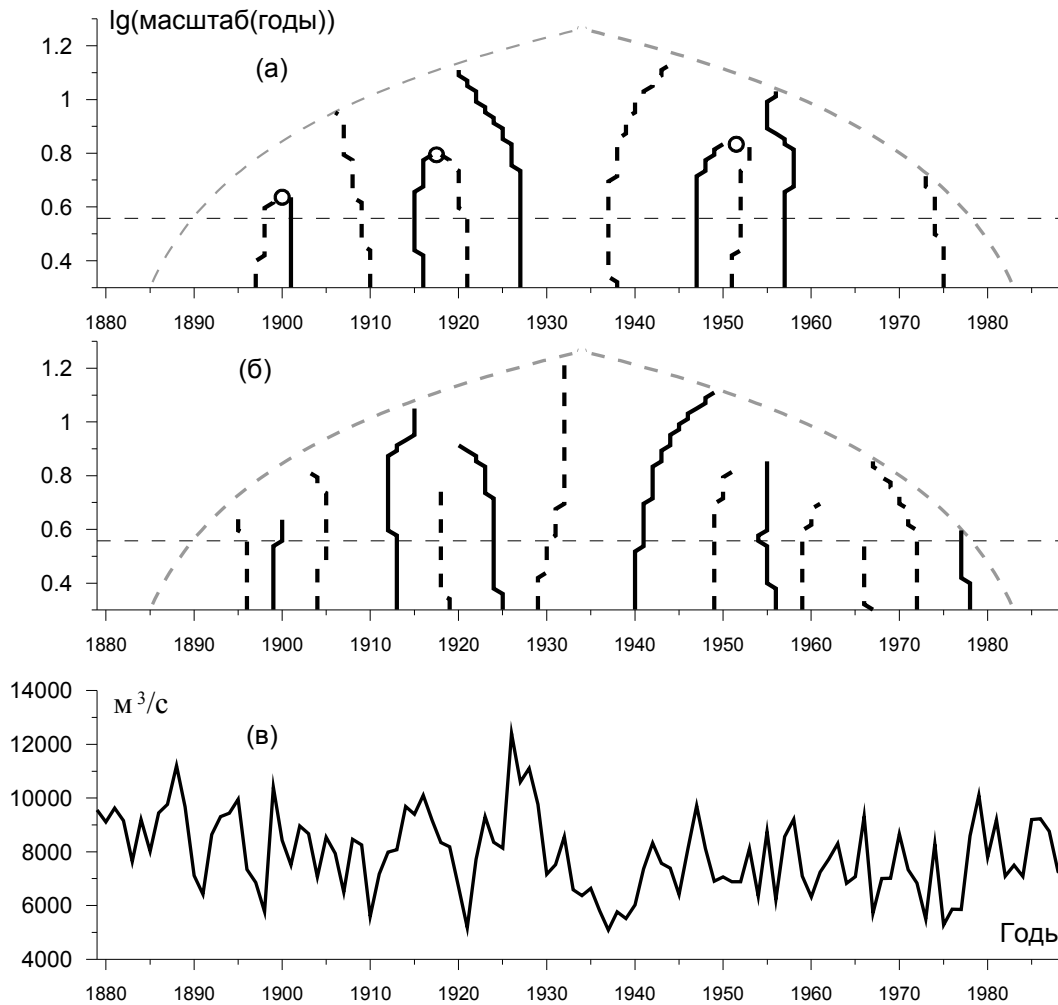


Рис.1.(а) – длинные цепи локальных минимумов (пунктирные линии) и локальных максимумов (сплошные линии) для временного ряда среднегодовых стоков Волги. Горизонтальная пунктирная линия определяет уровень минимальных масштабов, определяющих длинные цепи. Кружки обозначают точки бифуркации усредненного сигнала. (б) – длинные цепи локальных максимумов абсолютных значений 1-ой производной от усредненного сигнала для Волги. Толстые пунктирные линии – цепи точек максимальных отрицательных трендов, толстые сплошные линии – цепи точек максимальных положительных трендов для данных масштабов усреднения.

Аналогичные графики могут быть построены для временных рядов других рек. На рис.2 представлены нормализованные гистограммы распределения моментов времени начала длинных WTMM-цепей и точек бифуркации.

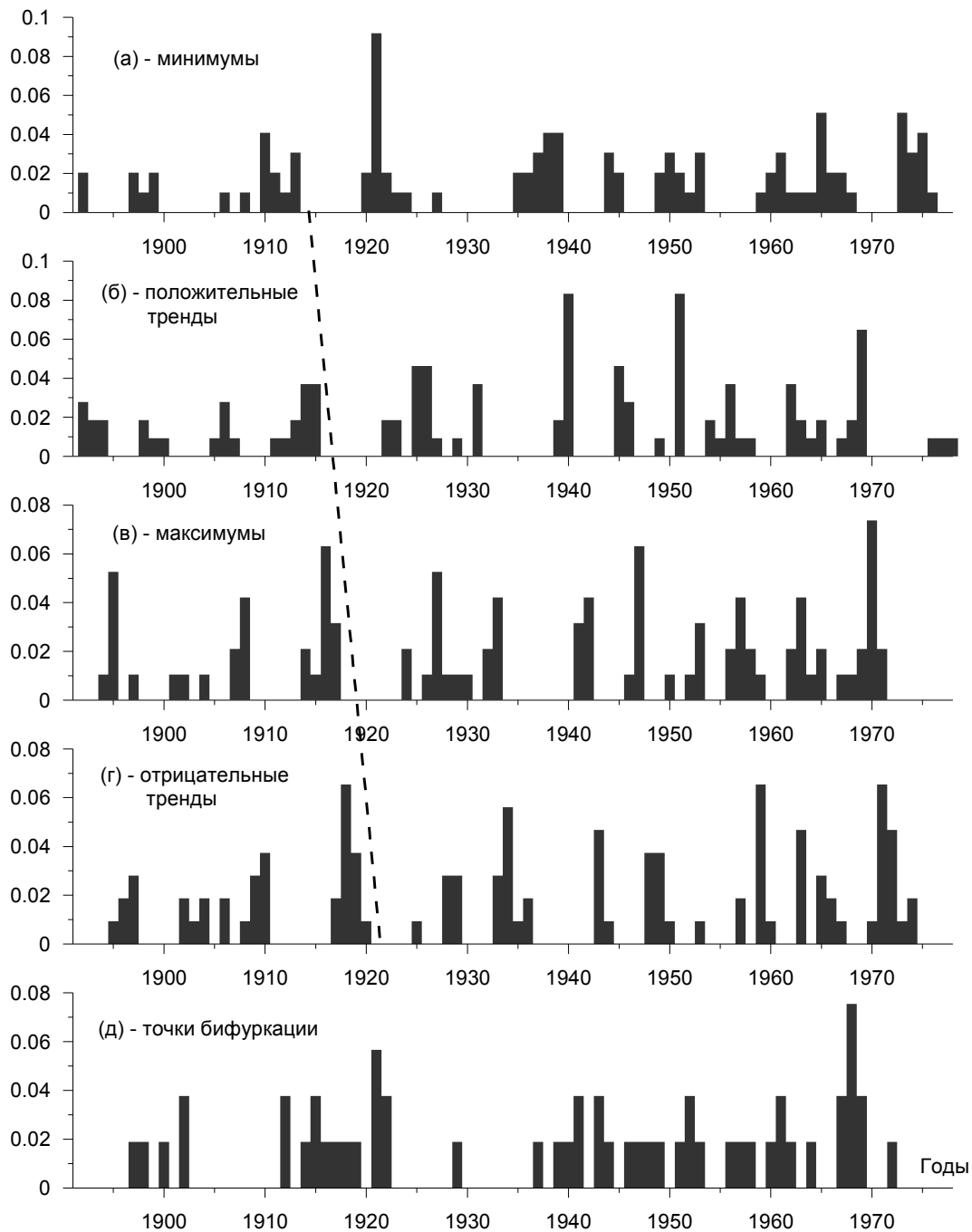


Рис.2. Нормализованные гистограммы распределения моментов времени начала длинных цепей: (а) – локальных минимумов усредненных сигналов, (б) – максимальных положительных трендов, (в) – локальных максимумов, (г) – максимальных отрицательных трендов, (д) – точек бифуркации. Наклонная штриховая линия есть пример семейства прямых линий, определяющих периодическую миграцию пиков гистограмм для временного интервала 1910-1930 гг.

Следует подчеркнуть расположение графиков гистограмм: сначала идет гистограмма моментов времен начал длинных цепей локальных минимумов, потом – максимальных положительных производных, далее – максимумов и максимальных отрицательных производных. Этот порядок выбран неслучайно, так он соответствует «естественному циклическому порядку»: после минимума – рост до максимума, а затем – спад до минимума и т.д. Визуальный анализ графиков на рис.2 позволяет легко заметить, что примерно до 1950 г. максимумы гистограмм расположены именно в таком «естественном циклическом порядке», но затем этот порядок нарушается и в конце интервала наблюдений максимумы гистограмм возникают некоррелированно с максимумами гистограмм моментов времени других типов, то есть наступает хаос.

Этот качественный вывод был подтвержден количественной оценкой корреляции пиков гистограмм на рис.2, взятых с различными взаимными временными сдвигами, соответствующими разным наклонам линейных законов миграции пиков. В результате анализа длинных цепей масштабно-зависимых экстремальных точек среднегодовых стоков 16 рек центральной и южной частей Европейской части бывшего СССР определены характерные периоды 4.5-7.5 лет и 12-13 лет для гидрологического режима, причем выделены интервалы 1920-1940 и 1950-1970 гг. перестройки режима. В первом случае перестройка имеет характер возникновения новой цикличности 12-13 лет и миграции 7.5-годовой цикличности к 4.5-годовой. Во втором случае возникает хаотический режим, не имеющий четко выраженных периодичностей. Выделены интервалы времени 1903-1912 гг. и 1923-1937 гг. интенсивных изменений режима на временных масштабах от 3-х до 18 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. - М.: Мир, 2005, 671с.
2. Любушин А.А., В.Ф.Писаренко, М.В.Болгов, Т.А.Рукавишникова (2003) Исследование общих эффектов вариаций стока рек – Метеорология и гидрология, 2003, N7. С.76-88.