

О.В. МАТЫСИК¹, С.И. ПАРФОМУК², Н.А. МИНЬКО²

¹Физико-математический факультет БрГУ имени А.С. Пушкина, кафедра прикладной математики и технологий программирования

²Факультет электронно-информационных систем БрГТУ, кафедра информатики и прикладной математики

ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ ОЗЕР НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ

В качестве исходных данных использованы уровни 25 озер (9 – на территории Беларуси, 16 – на территории Польши) с единым периодом наблюдений – с 1956 по 2010 гг. включительно.

Методика объединения озер в группы основана на анализе сходства изображений спектральной плотности уровней воды [1]. Спектральная плотность рассчитывается для всех озер за одинаковый интервал времени по формуле [2]

$$S(w) = \frac{1}{\pi} \int_0^m \lambda(\tau) r(\tau) \cos(w\tau) d\tau, \quad (1)$$

где $w = 2\pi T$ – круговая частота; T – период; m – максимальный сдвиг при оценке ординат автокорреляционной функции; $\lambda(\tau)$ – сглаживающая функция; $r(\tau)$ – автокорреляционная функция.

В качестве сглаживающей функции $\lambda(\tau)$ применялось корреляционное окно Наттола [3]

$$\lambda(\tau) = \sum_{k=0}^3 a_k \cos\left[\left(\pi k \tau\right) / m\right], \quad (2)$$

где a_k – весовые коэффициенты ($a_0=0,364$; $a_1=0,489$; $a_2=1,137$; $a_3=0,011$).

Окно Наттола использовалось для упрощения выделения типовых спектров, так как его применение позволяет снизить величину шумовой компоненты и получить сглаженный спектр.

Максимальный по длительности период, выделяемый на спектре, не должен превышать 1/3 длины ряда. Уровень значимости пиков назначался из нулевой гипотезы H_0 : гидрологический ряд представляет собой «белый шум».

Доверительный интервал для выборочного спектра в этом случае определяется выражением [3]:

$$\frac{\chi_{1-\alpha}^2}{\nu 2\pi} < S^* < \frac{\chi_{\alpha}^2}{\nu 2\pi}, \quad (3)$$

где χ^2 – ордината распределения Пирсона; ν – число степеней свободы; $\alpha = 5\%$ – уровень значимости.

Число степеней свободы для окна Наттола при длине ряда n и максимальном сдвиге m определяется по следующей формуле [2]:

$$\nu = \frac{5,5n}{m}. \quad (4)$$

В зависимости от вида спектра уровня исследуемые озера Беларуси и Польши разделены на три основных группы. Первая группа спектров представляет собой гладкую кривую без значимых пиков в высокочастотной области. Она обнаружена у большинства

исследуемых озер. Типичным представителем этой группы является спектр уровня озера Выгонощанское.

Для спектра уровня озер восточной части Беларуси и озера Studzieniczne характерна значимая четырехлетняя гармоника. Типичным представителем этой зоны является спектр уровня озера Лукомское.

Третья группа представлена озерами из северо-западной части Польши. Данная группа спектров представляет собой кривую с наличием значимого пика трехлетнего колебания. Типичный спектр для этой группы соответствует уровню озера Łebsko.

Объединение озер в группы на анализе сходства изображений спектральной плотности уровней воды способствовало проведению оценки основных статистических параметров. Коэффициенты вариации (C_v) и автокорреляции ($r(1)$) имеет наибольшие значения для второй группы озер. Соотношение коэффициентов асимметрии и вариации (C_s/C_v) имеет ярко выраженную тенденцию к возрастанию от первой к третьей группе.

Уровни воды озер в выделенных группах отличаются также мощностью долгопериодных составляющих в спектре. Максимальная «степень покраснения» спектра уровня воды озер наблюдается во второй группе. В первой группе мощность долгопериодных составляющих в спектре ниже, чем во второй. В третьей группе озер «красный шум» наименее выражен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин, В.С. Районирование территории Северо-Запада РФ по условиям формирования годового стока / В.С. Дружинин, А.В. Сикан // Водные ресурсы Северо-Западного региона России. – СПб., 1999. – С. 24–29.
2. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл.; пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
3. Кайсл, Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных / Ч. Кайсл; пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 138 с.