

УДК 556.16.048 (476)

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ ОЗЕР БЕЛАРУСИ И ПОЛЬШИ**А.А. Волчек<sup>1</sup>, С.И. Парфомук<sup>2</sup>, И.И. Кирвель<sup>2</sup><sup>1</sup> Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь<sup>2</sup> Поморская Академия, г. Слупск, Польша

Выполнена первая попытка выделения в отдельные группы озер Беларуси и Польши по характеру колебаний уровня воды на основе анализа сходства спектральной плотности уровней. Выявлено три группы, для которых рассчитаны основные статистические параметры. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования уровня воды малоизученных и слабо изученных озер Беларуси и Польши.

**Введение**

Определение характерных пространственно-временных закономерностей является основой районирования территории по условиям формирования уровня воды и разработки прогнозов (сценариев) изменения уровня. Корректно выполненное районирование позволяет систематизировать количественную и качественную информацию об изменчивости различных гидрологических составляющих.

Ранее авторами выполнено районирование территории Беларуси по условиям колебаний годового стока, выделено 3 гидрологических района [1]. В данной работе предпринята попытка определения однородных гидрологических районов (групп озер) Беларуси и Польши по условиям формирования временной изменчивости уровней воды в озерах.

Целью настоящей работы является выявление закономерностей периодичности колебаний средних годовых уровней воды озер северо-восточной части Польши и Беларуси.

**Методика и объекты исследования**

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, т.е. 55 лет.

В Польше насчитывается около 7 тыс. озер площадью водного зеркала более 1 га. По плотности озер в Европе Польша занимает второе место после Финляндии. Особенно ярко выраженным озерным краем является северо-восточная часть Польши, где озера составляют примерно 10 % территории. В Беларуси насчитывается около 10 тыс. озер, площадь водного зеркала которых составляет 2 000 км<sup>2</sup> и объем воды 6–7 км<sup>3</sup>.

Материалом для исследования озер Польши послужили данные многолетних инструментальных наблюдений за уровнем воды на 16 озерах: 3 озера расположено в Великом Польском Поозерье, 4 – в Поморском Поозерье и 9 – в Мазурском Поозерье. Материалом для исследования озер Беларуси послужили данные многолетних инструментальных наблюдений за уровнем воды выполненных Гидрометеослужбой на 9 крупнейших озер Беларуси, расположенных в Белорусском Поозерье и Белорусском Полесье. При отборе озер во внимание принималось два критерия, т.е. полнота данных наблюдений и отсутствие антропогенного влияния. В настоящее время практически все водосборы подвержены антропогенным нагрузкам в той или иной степени, даже у озер с естественным гидрологическим режимом. Поэтому гидрологический режим рассматриваемых озер является квазистационарным.

Методика объединения озер в группы основана на анализе сходства изображений спектральной плотности уровней воды [2]. Спектральная плотность рассчитывается для всех озер за одинаковый интервал времени по формуле [3]

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

где  $\omega = 2\pi/T$  – 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 Наттопа [3]

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

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

Окно Наттопа использовалось для упрощения выделения типовых спектров, т.к. 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 гидрологический ряд представляет собой «белый шум». Доверительный интервал для выборочного спектра в этом случае определяется выражением [4]

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

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

Число степеней свободы для окна Наттопа при длине ряда  $n$  и максимальном сдвиге  $m$  определяется по следующей формуле [3]:

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

**Результаты и их обсуждение**

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 (рисунок 1).

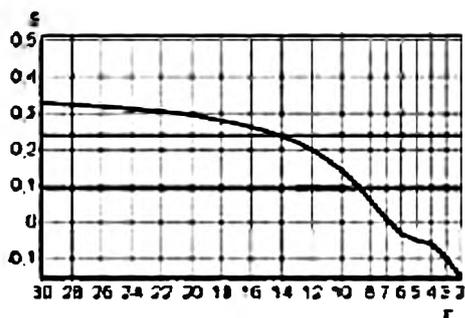


Рисунок 1. – Типовой для первой группы спектр уровня озера Выгонощанское

Для спектра уровня озер восточной части Беларуси и озера Studzieniczne характерна значимая четырехлетняя гармоника. Типичным представителем этой зоны является спектр уровня озера Лукомское (рисунок 2).

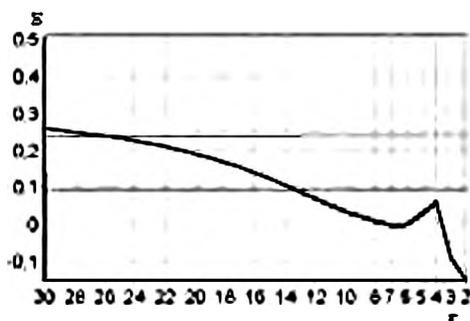


Рисунок 2. – Типовой для второй группы спектр уровня озера Лукомское

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 приведен на рисунке 3, соответствующий уровню озера Lebsko.

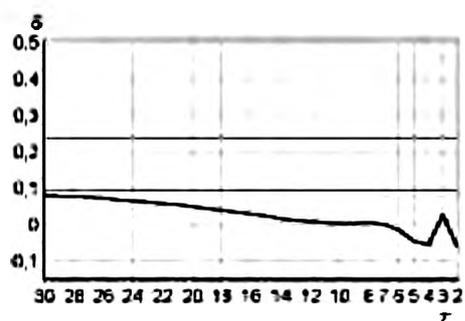


Рисунок 3. – Типовой для третьей группы спектр уровня озера Lebsko

Объединение озер в группы на анализе сходства изображений спектральной плотности уровней воды способствовало проведению оценки основных статистических параметров. Средние значения коэффициентов вариации ( $C_v$ ), отношений коэффициентов асимметрии и вариации ( $C_s/C_v$ ), а также коэффициентов автокорреляции ( $r(1)$ ) для выделенных в отдельные группы озер Беларуси и Польши приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные статистические параметры озер Беларуси и Польши по группам

Номер группы	$C_v$	$C_s/C_v$	$r(1)$
I	0,06	-2,1	0,57
II	0,18	-0,4	0,64
III	0,07	0,2	0,49

Коэффициенты вариации и автокорреляции имеют наибольшие значения для второй группы озер. Соотношение коэффициентов асимметрии и вариации 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.

#### Выводы

Выполнена первая попытка выделения в отдельные группы озер Беларуси и Польши по характеру колебаний уровня воды на основе анализа сходства спектральной плотности уровней. Выявлено три группы, для которых рассчитаны основные статистические параметры. Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования уровня воды неизученных и слабо изученных озер Беларуси и Польши.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Логинов, В.Ф. Районирование территории Беларуси по условиям колебания речного стока / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, С.И. Парфомук // Природопользование сб научн тр / Нац акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии, под ред. И.И. Пиштвана, В.Ф. Логинова. – Минск, 2005. – Вып. 11. – С. 23–28.
2. 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.
3. Марпл-мл., С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл. пер. с англ. – М. Мир, 1990. – 584 с.
4. Кайси, Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных / Ч. Кайси, пер. с англ. – Л. Гидрометеоиздат, 1972. – 138 с.

## THE REGULARITIES OF WATER LEVEL FLUCTUATIONS OF BELARUSIAN AND POLISH LAKES

VOLCHAK A.A., PARFOMUK S.I., KIRVEL I.I.

The first attempt to release separate groups of Belarusian and Polish lakes on the fluctuating water levels on the basis of the similarity of the spectral density levels analysis is performed. Three groups of lakes are selected. Basic statistical parameters are calculated for selected groups. The results can be used to forecast water levels for unexplored and poorly studied lakes in Belarus and Poland.