

**УДК 556.16.047**

## **АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СТОКА НА ПОСТАХ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ДНЕСТРА**

***Мельник С. В.***

***Одесский национальный политехнический университет, Украина  
E-mail: melnik\_sv@ukr.net***

С помощью спектральных функций анализируются временные ряды среднегодового стока воды, максимального за год и стока взвешенных наносов на 6 постах Днестра. Результаты исследования позволяют сделать вывод о существовании циклов продолжительностью в 2; 3; 6; 11-15; 25-32 года. Отмечается, что на всех постах наблюдений связь стока наносов с максимальным стоком значительно больше, чем со среднегодовым стоком.

**Ключевые слова:** многолетние колебания стока, спектральный анализ, сток наносов, продолжительность циклов.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Рациональное использование водных ресурсов, а также более интенсивное земледелие основано на выявлении и применении знаний о ритмичности природных процессов. Оно возможно на основе понимания и учета того, что энергетическая мощь процессов, протекающих в естественном природном цикле, на несколько порядков выше техногенных энергетических возможностей. Ярким примером могут служить катастрофический паводок в бассейне Днестра в июле 2008 г., землетрясения и цунами у побережья Японии в марте 2011 г.

Необходимость исследования временных рядов стока диктуется возросшим интересом к изменчивости климата и многолетним колебаниям речного стока. Речной сток является интегральным показателем климата, поэтому ритмы, выявленные в его многолетних колебаниях, отражают колебания климатических характеристик исследуемой территории.

Вопрос генезиса цикличности колебаний речного стока, как и других естественных процессов, довольно сложный и пока не может считаться окончательно решенным.

Цель работы: изучение многолетних колебаний в рядах наблюдений на постах верхнего и среднего Днестра.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи: проведен выбор методов анализа временных рядов; проведен анализ временных рядов наблюдений на гидропостах Днестра, проведен анализ зависимости стока наносов от среднегодового и максимального стока.

В качестве объекта исследования выступает анализ временных рядов стока Днестра. Предметом исследования являются гидрологические характеристики Днестра и ряды наблюдений стока.

Практическое значение состоит в получении данных по длине циклов в рядах стока, которые можно использовать при создании стохастических моделей и с их помощью предсказывать поведение водных объектов.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Для исследования многолетних колебаний речного стока. О.В. Рождественский и А.И. Чеботарев [1] проводили проверку степени постоянства спектральных функций, рассчитанных по выборках разной продолжительности и с разным нулевым отсчетом для р. Днепр, по посту Лоцманская Каменка. Учитывая ограниченную продолжительность рядов наблюдений, авторы пришли к выводу о случайном характере ритмических колебаний годового стока, с достоверной связью лишь между сопредельными членами ряда. По мнению самых авторов, эти выводы могут существенным образом измениться по мере накопления информации и проверке на другом эмпирическом материале. Исследование А. А. Любушина, В. Ф. Писаренка и других авторов [2], которые проводили обработку результатов наблюдений по 16 рекам Европы, указывают на наличие циклов в 33, 54, 223 года. Они совпадают с рядом климатических факторов. Причем, 200-летний период был характерным от 550 г. до 1450 г. Период продолжительностью 54 года, по мнению авторов, является доминирующим за последние 1000 лет и именно эти гармоники обуславливают низкочастотные вариации меры когерентности и вариации постоянной Херста.

Ряд исследований В. Ф. Логинова, В. Ф. Иконникова, И. И. Лиштвана по многолетним колебаниям весеннего половодья р. Неман и других рек Белоруссии [3], установили более короткие периоды стока рек: 2,94, 5,88, 8,33, 10,2, 14,3 года. Эти периоды в основном являются общими для всех рек, но для некоторых характерны свои мощные ритмы. Так для р. Неман по посту Гродно характерны ритмы с продолжительностью 2,8 г. и мощные циклы продолжительностью 14,3 г. и 41,7 г. Периодичности выявлялись на всей площади материка вплоть до Дальнего Востока. В качестве примера можно рассмотреть работы Бубина М. Н. [4] и Новороцкого П. В. [5]. По мнению Бубина М. Н. структура многолетних колебаний стока рек Челябинской области характеризуется набором ведущих внутривековых ритмов продолжительностью: 2 – 4, 6 – 8, 11 – 14, 17 – 18, 22 – 23 года, локализованных преимущественно в пределах районов с синхронными колебаниями сезонного стока.

В работе Новороцкого П. В. спектральное разложение многолетнего стока Амура позволило выявить статистически значимые (на уровне 5 %-ной значимости) циклы с периодом 4-5, 12 и 28 лет на уровне 1%-ной значимости.

Большинство авторов склоняются к выводу, что все циклы в той или иной степени связаны с солнечной активностью.

В. А. Касаткина, О. И. Шумилов, А. Г. Канатьев, Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова и другие [6; 7] связывают проявление солнечных ритмов с периодами 11, 22, 33 и 88 лет с климатическими вариациями метеовеличин (температура, влажность), которые, в свою очередь, влияют на речной сток. Известно, что 22-летняя периодичность (цикл Хейла) выявлена в климатических рядах во многих регионах земного шара. В то же время наличие 11-летнего

солнечного цикла (цикла Швабэ) не является столь распространенным. Что касается 33-летнего цикла (цикл Брюкнера), физическая природа которого до конца не изучена, то он был выявлен в климатических вариациях лишь в отдельных регионах Северной Америки и Европы (Северная Финляндия, Кольский п-ов).

Таким образом, среди авторов работ в этой области нет единого мнения о достоверном наличии циклов в стоках рек, хотя в последнее время все больше ученых склоняются к выводу, что они все-таки есть. Кроме того, ряд авторов указывают на наличие возможных региональных циклов, а исследование временных рядов стока р. Днестр малоизвестны.

В работе изучались временные ряды стока продолжительностью в 60 лет (1950-2009) на постах наблюдений верхней и средней части Днестра. Перечень постов и основные результаты приведены в табл.1. Ряды максимального стока и стока наносов на посту г. Могилев-Подольский и ниже сильно искажены после строительства в 1981 г. Днестровского водохранилища.

Таблица 1.

Посты наблюдений верхнего Днестра и выявленные циклы стока.

| Посты                | Площадь водосбора, км <sup>2</sup> | Продолжительность выявленных циклов среднегодового стока, лет. | Продолжительность выявленных циклов стока наносов, лет. | Продолжительность выявленных циклов максимального стока, лет. |
|----------------------|------------------------------------|--|---|---|
| с. Стрелки           | 384                                | 2,5; 3,8; 5,0.   | 4,6; 46.  | 2,3; 3,8; 9,2.  |
| г. Самбор            | 850                                | 3,5; 5,6; 11; 29.  | 3,6; 5,5; 6,6; 30.                                      | 3,7; 4,6; 6,6; 10; 20.  |
| пгт. Роздол          | 5700                               | 3,9; 5,5; 9,5.   | 3,4; 11; 44.  | 3,9; 11.  |
| г. Галич             | 14700                              | 3,4; 5,6; 10; 30.  | 2,2; 3,6; 6,7; 8,3; 20.                                 | 3,6; 5,6; 8,3; 30   |
| г. Залещики          | 24600                              | 3,4; 5,6; 10 и 30.   | 2,4; 3,5; 5,5; 10; 15.                                  | 2,5; 3,5; 5,5; 10; 30   |
| г.Могилев-Подольский | 43000                              | 3,3; 11; 30.   |   |   |

В качестве основного метода исследования использовался спектральный анализ. Основное назначение спектрального анализа – выделение частот регулярных составляющих сигнала, зашумленного помехами. Односторонняя функция мощности спектральной плотности (далее спектральная плотность) определяется как

$$G_x(f) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-f2\pi i\tau} d\tau, \quad (1)$$

где  $\tau$  - некоторый временной сдвиг обусловлен как  $\tau = k\Delta t$ ;  $k$  - количество дискретных временных интервалов;  $R_x(\tau)$  - автокорреляционная функция случайного процесса;  $f$  - текущая частота.

Для сравнения рядов разных масштабов используют нормированную спектральную плотность, которая образовывается в результате деления спектральной плотности на дисперсию

$$G_x(f)/\sigma_x^2. \quad (2)$$

Применение многих видов спектрального анализа (оценка спектральной мощности методом Берга, методом Уэлча, методом Юлла-Уолкера) показало целесообразность использования на первом этапе классических преобразований Фурье. Использование этого вида не представляет особой сложности и имеет большую разрешающую способность.

На рис. 1 показаны спектры полученные с помощью этих преобразований. Пунктирные линии на рис. 1 соответствуют верхней границе 95 % доверительного интервала. На графиках нормированного спектра, построенных с помощью преобразований Фурье, явно выражены пики. Этот вид представления результатов удобен еще тем, что на ординате отложена безразмерная величина и легко сравнивать разные временные ряды.

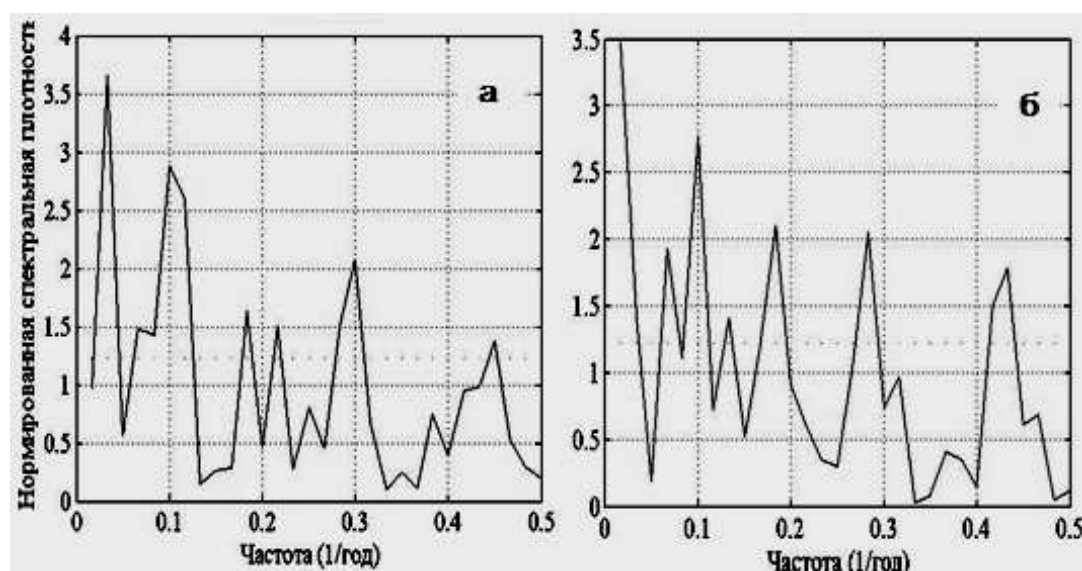


Рис.1. Нормированный спектр среднегодовых а – расходов воды и б – стока наносов р. Днестр на посту г. Залещики.

Выявленные циклы на всех постах приведены в таблице 1. Полученные продолжительности можно разбить на следующие группы: 2,3-2,5; 3,3-3,9; 5,0-5,6; 9,5-11; 29-30 лет. Некоторые циклы обнаруживаются всего несколько раз (44 и 46 лет). Эти результаты отличаются от полученных Ю.А. Черноморец в работе [8]. В этой

работе для поста г. Галич указаны периодичности в 3; 7; 11; 22 и 54 года. Некоторое различие между спектральными оценками, получаемыми в результате обработки, можно объяснить разной длиной ряда, различными способами усреднения и т.п. Особо это расхождение сказывается в выявлении продолжительности коротких циклов. Но обращает внимание отсутствие в работе [8] 30 летних циклов, хотя на других постах Украинских Карпат (Рахов, Ужгород, Черновцы, Вылок) автор их обнаруживает.

Для углубления анализа проведем кросс-спектральный анализ. Этот вид анализа определяет наличие или отсутствие общих гармонических составляющих в исследуемых рядах и оценку тесноты связи между этими рядами. Кросс-спектры временных рядов стока р. Днестр – г. Самбор представлен на рисунке 2.

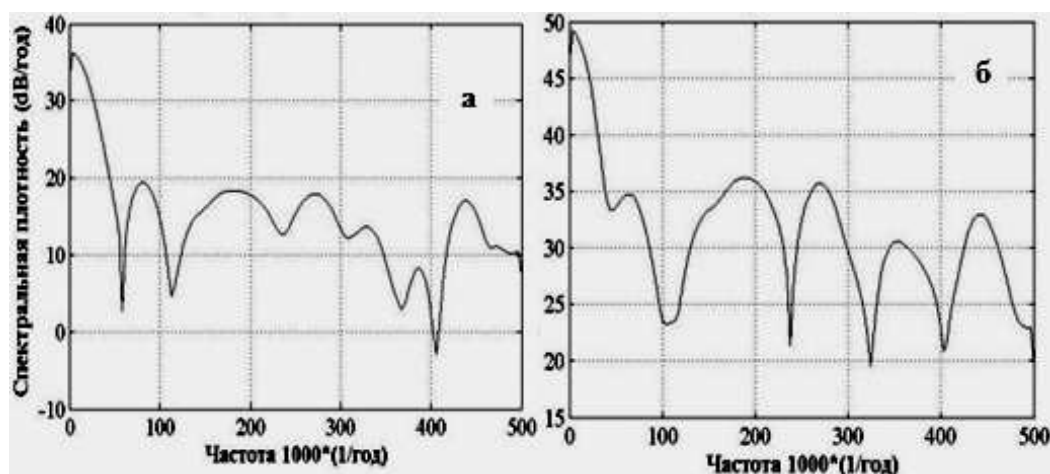


Рис. 2. Кросс-спектры стока р. Днестр – г. Самбор : а – средний расход – наносы; б – максимальный расход – наносы.

Общие гармонические составляющие в целом аналогичны спектральным оценкам отдельных величин. На всех постах, для всех объединений проявляется цикл продолжительностью в 2,2-2,5 года (рис. 2), даже если они не выявлены при спектральном анализе отдельных величин (табл. 1). Из графиков рис. 2. видно, что связь стока наносов с максимальным стоком значительно больше, чем со среднегодовым стоком. Это обстоятельство справедливо для всех постов наблюдений, во всем частотном диапазоне.

Дробные периодичности при анализе среднегодовых величин не имеют физического смысла. Поэтому каждую предполагаемую периодичность нужно обрабатывать различными способами и анализировать с точки зрения физического смысла. Например, периодичность в 2,2-2,5 года удобно проанализировать с помощью автокорреляционной функции. Для среднегодового расхода на посту г. Самбор эта функция показана на рис. 3. Пунктиром показана граница доверительного интервала при 5 % уровне значимости. При совместном анализе кросс-спектров (рис.2) и автокорреляционных функций (рис. 3) можно прийти к

выводу, что периодичность в 2,2-2,5 года, обнаруженная при анализе нормированных спектров, представляет периодичность в 2 года. Аналогично выявленные циклы в 3,3-3,9 года являются периодичностью в 3 года. На основании всех способов анализа временных рядов можно сформировать обобщенный ряд периодичностей с целым числом лет. Такой ряд будет определяться периодичностями 2; 3; 6; 11- 15; 25-32 года. Указанный диапазон в периодичности объясняется тем, что большинство природных процессов, в том числе и циклы солнечной активности, процессы не строго периодические, а квазипериодические.

В целом циклы аналогичны приведенным в работах [2, 6, 9], но имеют свои особенности. Главной особенностью является отсутствие, во всех 16 рядах наблюдений, 22 летних циклов которые встречаются в большинстве работ [4, 6, 8]. Второй особенностью является меньшее количество (например по сравнению с [3]) коротких циклов. Третье во всех временных рядах не обнаруживается одновременно присутствие циклов двух продолжительностью 10,2 и 14,3 лет, о которых упоминается в работе [3]. Четвертой особенностью является отсутствие циклов более 32 лет. Эта особенность может частично объясняться длиной используемых временных рядов.

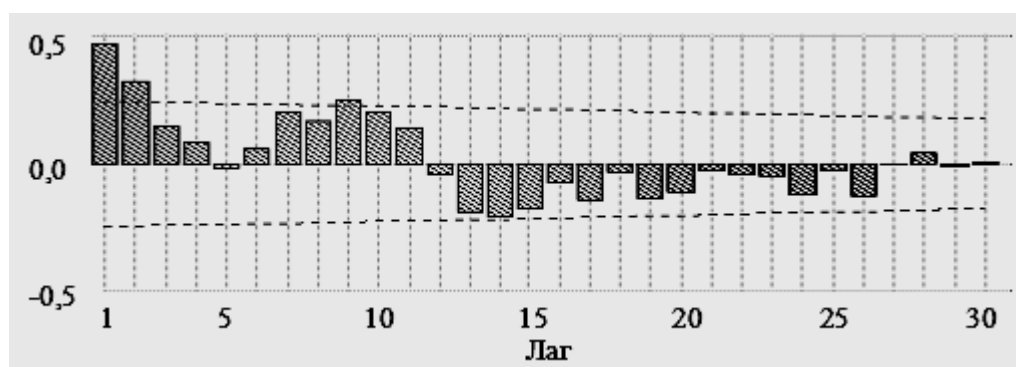


Рис. 3. Автокорреляционная функция среднегодовых расходов р.Днестр – г. Самбор.

Причиной выявленных периодичностей являются солнечные циклы, климатические колебания (Арктическое, Северо-Атлантическое, Южное и т.д), космические процессы [9] и их взаимодействие. Задачей дальнейших исследований может быть выяснение природы каждого из заявленных циклов колебания водности Днестра.

## ВЫВОДЫ

Временные ряды гидрологических величин верхнего и среднего Днестра имеют периодичности в 2; 3; 6; 11-15; 25-32 года. В целом указанные продолжительности циклов аналогичны приведенным в других работах, но имеются определенные особенности. На всех постах наблюдений связь стока

наносов с максимальным стоком значительно больше, чем со среднегодовым стоком. Результаты исследования могут быть использованы при построении стохастических моделей стока Днестра.

### Список литературы

1. Рождественский А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. – Л. : Гидрометеиздат, 1974. – 423 с.
2. Любушин А. А. Исследование общих эффектов вариаций стока рек / А. А. Любушин, В. Ф. Писаренко, М. В. Болгов, Т. А. Рукавишникова // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 7. – С. 76-88.
3. Логинов В. Ф. Спектрально-временной анализ уровневого режима озер и колебаний расходов воды крупных рек Беларуси / В. Ф. Логинов, В. Ф. Иконников // Природопользование. Сб. науч. тр.: Под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. Вып. 9. – Минск : ОДО Тонпик, 2003. – С. 25-33.
4. Бубин М. Н. Ритмичность сезонного стока рек Челябинской области и ее влияние на хозяйственную деятельность / М. Н. Бубин // Успехи современного естествознания. – М.: Академия естествознания, 2007. – № 2. – С.65-68.
5. Новороцкий П. В. Колебания стока Амура за последние 110 лет / П. В. Новороцкий // География и природные ресурсы. – Новосибирск, 2007. – № 4. – С. 86-89.
6. Касаткина В. А. Проявление циклов солнечной активности в атмосфере Северной Атлантики и Европе / В. А. Касаткина, О. И. Шумилов, А. Г. Канатъев // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 1. – С. 55-59.
7. Шакина Н. П. Спектры повторяемости осадков на территории европейской части бывшего СССР в зависимости от интенсивности фронтальных зон и неустойчивости сеточного масштаба / Н. П. Шакина, Е. Н. Скриптунова // Метеорология и гидрология. – 2006. – №4. – С. 5-18.
8. Чорноморець Ю. О. Дослідження коливань водності річок Українських Карпат / Ю. О. Чорноморець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2004. – Т. 6. – С. 110-115.
9. Рассказова Н. С. Влияние космо- и геофизических факторов на сток рек Зауралья / Н. С. Рассказова // Вестник Челябинского гос. ун-та. Серия 4. Естественные науки. – Челябинск: Изд-во ЧГПИ, 1996. – С. 213-222.

**Мельник С. В. Аналіз часових рядів стоку на постах верхнього та середнього Дністра / С. В. Мельник // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. Серія: Географічні науки. – 2012. – Т.25 (64), №2. – С.74-80.**

За допомогою спектральних функцій аналізуються часові ряди середньорічного стоку води, максимального за рік і стоку зважених наносів на 6 постах Дністра. Результати дослідження дозволяють зробити висновок про існування циклів тривалістю в 2; 3; 6; 11-15; 25-32 року. Відзначається, що на всіх постах спостережень зв'язок стоку наносів з максимальним стоком значно більше, чим із середньорічним стоком.

**Ключові слова:** багаторічні коливання стоку, спектральний аналіз, стік наносів, тривалість циклів.

**Melnyk S.V. The analysis of time series of the runoff on posts of the upper and average Dnestr / S. V. Melnyk // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Geography Sciences. – 2012. – V.25 (64), No2. – P.74-80.**

By means of spectral functions time series of a mid-annual water flow, maximum for a year and a sediment yields on 6 posts of Dnestr are analysed. Outcomes of research allow to draw a leading-out on existence of cycles lasting 2; 3; 6; 11 15; 25-32 years. It is noted that on all posts of observation connection of a runoff of sediment yields with a high runoff much more, than with a mid-annual runoff.

**Key words:** paleocrycstic flow fluctuation, emission analysis, a sediment yields, duration of cycles.

*Поступила до редакції 05.11.2012 р.*