

## РАЙОНУВАННЯ ЗА СИНХРОННІСТЮ КОЛИВАНЬ РІЧНОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ Р.СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ (УКРАЇНА)

*Виконано районування за синхронністю коливань річного стоку у басейні р.Сіверський Донець на основі факторного аналізу. Показано, що коливання стоку у районі Донецького Кряжу мають свої відмінності.*

**Ключові слова:** річний стік, синхронність коливань, факторний аналіз

**Вступ.** Р. Сіверський Донець - найбільша річка Східної України. Вона бере початок на південному схилі Середньоросійської височини і тече на південь. У районі м.Зміїв напрямом дещо змінюється на південний схід [1]. Особливістю геологічної будови є наявність карстових процесів, які спостерігаються на річці Сіверський Донець у Харківській області, а також на притоках Оскіл, Айдар, Деркул. Рельєф правобережжя та лівобережжя практично однаковий. Відрізняється лише та частина правобережжя, де притоки р. Сіверський Донець беруть початок з Донецького Кряжу. Згідно з районуванням річного стоку території колишнього СРСР за синфазністю його коливань, виконаним П.С. Кузіним та В.І. Бабкіним [2] на основі аналізу різницевих інтегральних кривих, басейн р.Сіверський Донець знаходиться на межі двох районів південно-західного та південно-східного. За районуванням території України на основі методів факторного аналізу та методу головних компонентів Н.С.Лободою [3] показано, що басейн р.Сіверського Дінця відноситься до Східного району із синфазними коливаннями стоку. На площі розглядуваного басейну розташовані два підрайони з синхронними коливаннями стоку. Оскільки районування відбувалося здебільшого за даними великих річок із тривалістю спостережень, яка перевищує 50 років, то при розрахунках характеристик річного стоку безпосередньо у басейні р.Сіверський Донець необхідно провести додаткові дослідження щодо встановлення закономірностей коливань стоку і меж районів з синхронними коливаннями стоку.

**Метою роботи** є районування водосбору р.Сіверський Донець за синхронністю коливань стоку на основі  $Q$ -модифікації факторного аналізу.

**Матеріали і методи дослідження.** Використано 12 рядів спостережень за річним стоком тривалістю у 42 роки, починаючи з 1961 і закінчуючи 2002 роком. Розглянуті водозбори рівномірно розподілені по площі басейну р. Сіверський Донець.

Для виділення районів із синхронними коливаннями стоку застосовано факторний аналіз [4,5,6]. В факторному аналізі висувається гіпотеза про те, що дані спостережень є лише непрямыми характеристиками явища, яке вивчається, і це явище можна описати за допомогою невеликої кількості деяких параметрів або властивостей. Такі теоретичні параметри або властивості називаються факторами. Задача факторного аналізу - представити дані спостережень у вигляді лінійних комбінацій факторів

$$x_j = \sum_{p=1}^k l_{jp} f_p + v_j, \quad (j = 1, m), \quad (1)$$

де  $X_j$  - центрована початкова змінна;

$m$  - кількість змінних;

$k$  - число факторів ( $k \ll m$ );

$p$  - номер фактора;

$l_{jp}$  - навантаження  $j$ -тої змінної на  $p$ -тий фактор або факторна вага;

$f_p$  - некорельовані між собою фактори;

$V_j$  - незалежні залишки (частина даних, яка не описується кінцевим числом факторів).

Матрична форма рівняння (1) має вигляд

$$X = LF + V, \quad (2)$$

де  $X$  - матриця центрованих вихідних величин;

$L$  - матриця факторних навантажень;

$V$  - матриця незалежних залишків.

Ураховуючи (2) та розглядаючи матрицю коваріації, можна прийти до такого матричного виразу

$$K = LL' + D, \quad (3)$$

де  $K$  - матриця коваріацій;

$L'$  - транспонована матриця  $L$ ;

$D$  - діагональна матриця, що складається з дисперсій незалежних залишків.

Таким чином, матрицю системи величин  $X$  можна виразити через матрицю вагових навантажень на фактори і діагональну матрицю дисперсій залишків. Фактори враховують зв'язок між змінними, тобто вони представляють структуру кореляційної або коваріаційної матриці в термінах моделі. Проте самі фактори представляються некорельованими (ортогональними). Залишки є випадковими величинами, не пов'язаними ні між собою, ні з факторами.

Результатом пошуку невизначених параметрів є наступні співвідношення між елементами коваріаційної матриці, факторними навантаженнями й дисперсіями залишків:

$$K_{jj} = \sum_{p=1}^k l_{jp}^2 + d_j, \text{ при } j = i; \quad (4)$$

$$K_{ji} = \sum_{p=1}^k l_{jp}l_{ip}, \text{ при } j \neq i. \quad (5)$$

Оскільки у матриці коваріацій на діагоналі розташовані дисперсії вихідних змінних, то можна зробити висновок, що квадрати факторних навантажень  $l_{ip}^2$  є складовими дисперсій змінних, які описуються відповідними факторами.

Вибіркова коваріаційна матриця може бути розрахована, у такому випадку пошук факторних навантажень та дисперсій залишків відбувається шляхом ітераційного процесу.

Повнота відображення  $j$ -тої змінної в усіх факторах  $f_p$  оцінюється як сума квадратів навантажень по всіх виділених факторах і може бути розрахована таким чином

$$h_j^2 = \sum_{p=1}^k l_{jp}^2. \quad (6)$$

Повний внесок  $S_p$  (у відсотках) фактора у сумарну дисперсію змінних визначається виразом

$$S_p = \frac{\sum_{j=1}^m l_{pj}^2}{m} 100\%, \quad (7)$$

де  $m$  - кількість розглядуваних змінних.

Загальний внесок всіх виділених факторів в сумарну дисперсію досліджуваних змінних дорівнює

$$S = \sum_{p=1}^k S_p. \quad (8)$$

Не зупиняючись на фізичній інтерпретації факторів, при дослідженні синхронності коливань річного стоку в практиці гідрологічних розрахунків застосовують графічні побудови [7,8]. У випадку, коли перших два фактора описують більше ніж 70% загальної дисперсії вихідних даних, на графіку, осі якого являють собою два фактори, проводять вектори з початку координат у точку з координатами, які відповідають факторним навантаженням. Довжина вектора розраховується за виразом

$$d_j = \sqrt{l_{j1}^2 + l_{j2}^2}, \quad (9)$$

де  $l_{j1}$  і  $l_{j2}$  - вагові коефіцієнти першого та другого факторів.

Величина  $d$  ототожнюється з  $h$ . Вона визначає повноту відображення  $j$ -го ряду спостережень першими двома факторами. Косинус кута між  $j$ -тим та  $i$ -тим вектором є коефіцієнт кореляції між  $j$ -тою та  $i$ -тою змінними. Таким чином, про ступінь зв'язку між рядами можна судити по куту між групами точок, які утворюються на площині. Як міра схожості в даному випадку використовується міра відстані: чим ближче розташовані точки на графіку і менше косинус кута між ними, тим ближче значення коефіцієнта кореляції до 1.

З метою виконання одночасного аналізу трьох ефективних факторів рекомендується представляти навантаження не в декартових, а в полярних координатах:

$$\theta_j = \arcsin \frac{l_{j3}}{d_j}; \quad (10)$$

$$\lambda_j = \arcsin \frac{l_{j2}}{\sqrt{l_{j1}^2 + l_{j2}^2}}, \quad (11)$$

де

$$d_j = \sqrt{l_{1j}^2 + l_{2j}^2 + l_{3j}^2}, \quad (12)$$

а  $\theta$  та  $\lambda$  - полярні координати (в градусах або радіанах), які визначають положення перетину  $j$ -тим вектором одиничної сфери.

Величина  $d_j$  (12) оцінює внесок усіх трьох факторів у формування стоку  $j$ -того водозбору, включеного в аналіз. Якщо розглядається матриця не коваріацій, а кореляцій, де діагональні елементи дорівнюють 1, то близькість  $d_j$  до одиниці вказує на те, що дисперсія цієї змінної значною мірою пояснюється першими факторами.

Таким чином, застосування  $Q$ -модифікації факторного аналізу дозволяє стиснути інформацію, яка міститься в кореляційній матриці, й інтерпретувати її. Компактне трактування кореляційної матриці досягається при розгляді кожної групи водозборів. При наближенні кута між векторами, спрямованими з початку координат до центрів груп до  $90^\circ$ , виділені групи розглядаються як райони з асинхронними коливаннями стоку. Чим менший кут між групами, тим тісніший зв'язок між стоком розглядуваних річок. У середині груп (районів) можна виділяти окремі групи точок, які за їхнім територіальним розташуванням й особливостями формування стоку можна інтерпретувати як підрайони.

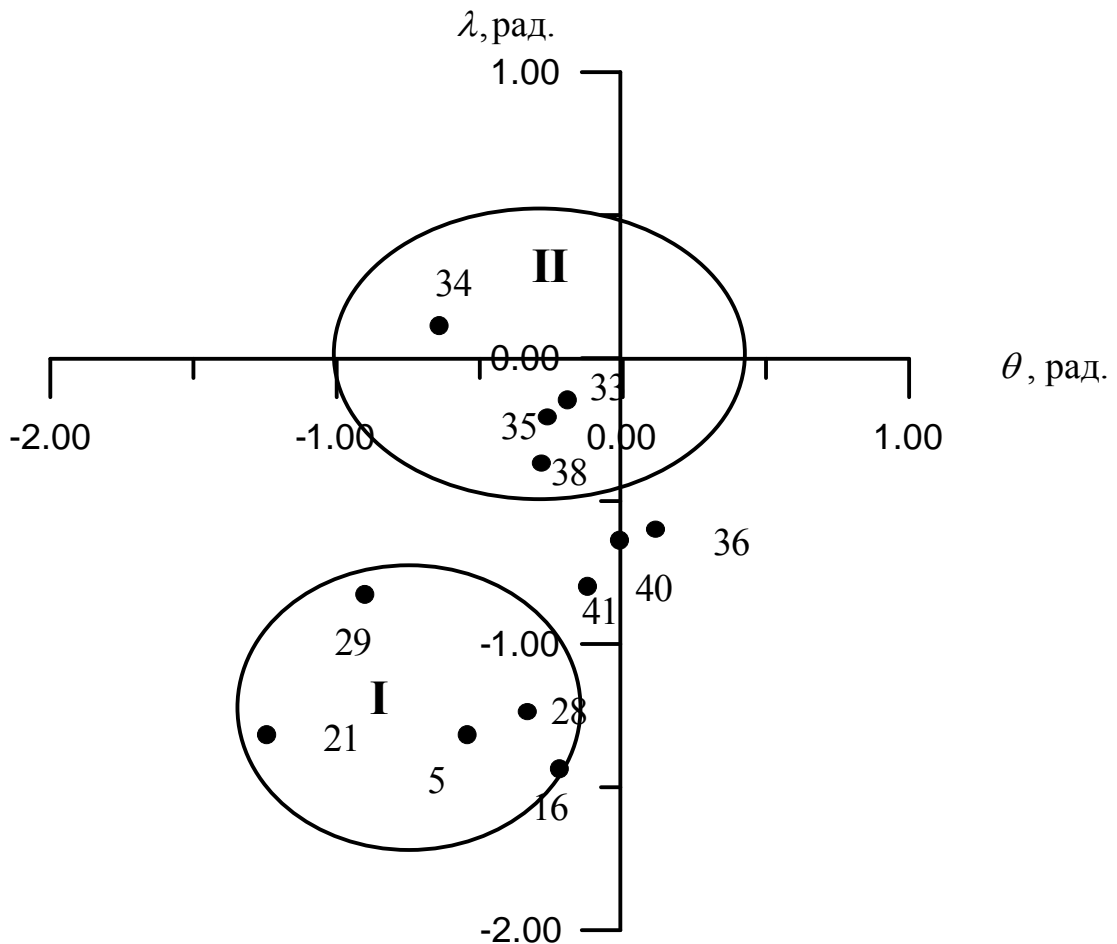
**Результати дослідження та їх аналіз.** При застосуванні  $Q$ -модифікації факторного аналізу до вивчення синхронності коливань річного стоку у басейні р.Сіверський Донець встановлено, що перший фактор описує 45,3% вихідних даних, другий – 34,4%, а третій – 20,4%. Таким чином, при застосуванні тільки двох факторів міра факторизації становить 79,7% а перших трьох – 88,6%. Однак, при використанні тільки перших двох факторів, міра факторизації  $d$  окремих об'єктів (табл.1) може бути значно меншою за 1. При застосуванні перших трьох факторів міра факторизації  $d$  усіх залучених до аналізу водозборів перевищує 0,8. Графічні побудови (рис.1) дозволяють зробити висновок про синфазність коливань стоку у межах усього водозбору й наявність двох підрайонів.

Таблиця 1 – Результати застосування факторного аналізу до полів річного стоку

№ поста	Річка - пункт	$l_{1j}$	$l_{2j}$	$d_j$	$l_{3j}$	$d_j$	$\theta_j$	$\lambda_j$
5	Сів. Донець – м.Чугуїв	0.20	-0.78	0.81	-0.48	0.88	-0.54	-1.32
16	Вовча – м.Вовчанськ	0.12	-0.90	0.91	-0.20	0.86	-0.22	-1.44
21	Уди – с.Безлюдівка	0.08	-0.30	0.31	-0.89	0.89	-1.24	-1.32
23	Лопань – с.Казача Лопань	0.39	-0.44	0.58	-0.73	0.87	-0.90	-0.83
28	Червоний Оскіл – м.Куп'янськ	0.29	-0.84	0.89	-0.31	0.88	-0.33	-1.24
33	Казенний Торець – м. Райське	0.90	-0.19	0.92	-0.25	0.91	-0.26	-0.21

продовження табл.1

№ поста	Річка - пункт	$l_{1j}$	$l_{2j}$	$d_j$	$l_{3j}$	$d_j$	$\theta_j$	$\lambda_j$
34	Казенний Торець – м.Слав'янськ	0.92	-0.14	0.93	-0.18	0.90	-0.19	-0.15
35	Кривий Торець – с.Олексіїво-Дружківка	0.71	0.08	0.70	-0.53	0.78	-0.64	0.11
36	Сухий Торець – с.Черкаське	0.78	-0.53	0.94	0.12	0.90	0.12	-0.60
38	Бахмутка – м. Яма (Сіверськ)	0.86	-0.33	0.92	-0.28	0.92	-0.28	-0.37
40	Жеребець - с.Горське	0.78	-0.59	0.98	-0.01	0.96	-0.01	-0.64
41	Красна – с.Краснопопівка	0.64	-0.67	0.93	-0.11	0.87	-0.12	-0.80



I – район Середньоруської височини;  
 II – район Донецького Кряжу

Рисунок 1 – Виділення груп з синхронними коливаннями стоку на основі перших трьох факторів.

Підрайон I охоплює верхню частину водозбору р.Сіверський Донець, включаючи р.Червоний Оскіл. Це річки, які беруть початок на схилах Середньоросійської височини, у лісостеповій зоні [9]. До підрайону II віднесені річки Донецького Кряжу. Проміжне положення між цими районами займають притоки степової зони.

**Висновки.** При вирішенні практичних задач з гідрологічних розрахунків вибір рядів-аналогів для приведення коротких рядів стоку до довгого періоду [10] повинен базуватися на установлених закономірностях коливань стоку. Достовірність отриманих результатів базується на такому: осереднений коефіцієнт кореляції для усіх розглянутих водозборів дорівнює 0,57. У той же час осереднений коефіцієнт кореляції становить 0,71 для району I та 0,76 – для району II.

### Список літератури

1. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. - Київ.: Віпол, 2000. - 375с.
2. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 200 с.
3. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: Монография. – Одесса: Экология, 2005. – 208 с.
4. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. Пер. с англ. М.: Мир.-1967. -144с.
5. Иберла К. Факторный анализ: Пер. с англ. - М.: Статистика,1980. - 397 с.
6. Школьный С.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник. - К.: Міносвіти України, 1999. - 600 с.
7. Исследования и расчеты речного стока / Под ред. В.Д.Быкова. - М.: Изд-во МГУ, 1981. - 228 с.
8. Жук В.А., Евстигнеев В.М. Исследование синхронности колебаний годового стока отдельных регионов приемами факторного анализа: Труды ВНИИГМИ-МЦД. - М.: Гидрометеиздат,1993/ - С. 78-91с.
9. Коротун І. М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні ресурси України: Навчальний посібник. - Рівне. - 2000. - 192 с.
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат,- 1984. - 447с.

#### **Районирование по синхронности колебаний годового стока в бассейне р.Северский Донец (Украина). Лобода Н.С., Бабаева Е.В.**

*Выполнено районирование по синхронности колебаний годового стока в бассейне р. Северский Донец. Установлено, что колебания стока в районе Донецкого Кряжа имеют отличительные особенности.*  
**Ключевые слова:** годовой сток, синхронность колебаний, факторный анализ.

#### **Regionalization of Severskiy Donets basin with synchronous fluctuation (Ukraine). Loboda N.S., Babaeva E.V.**

*Regionalization of Severskiy Donets basin with synchronous fluctuation was performed. There were determined that the Donetsk mountain-ridge has own character of fluctuation.*  
**Key words:** annual runoff, synchronous fluctuation, factorial analysis.