

Є.Д. Гопченко, Г.В. Діденко, М.І. Довгич

## **ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОРІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ РІЧНОГО СТОКУ ДЕЯКИХ РІЧОК УКРАЇНИ**

На прикладі 17 водозборів у різних частинах території України досліджено особливості багаторічної мінливості річного стоку

### **Загальні положення**

Дослідження виконано на прикладі 17 річкових басейнів, які охоплюють площі водозборів від 38,3 (р. Ангара – с. Перевальне) до 81400 (р. Десна – м. Чернігів) км<sup>2</sup> і мають періоди спостережень від 41 (р.Салгир – с. Дворіччя) до 81 (р. Десна – м. Чернігів) років. Автори не ставили собі за мету детально з'ясувати особливості структури часових рядів річного стоку, а зосередили увагу, головним чином, на тих змінах, які відбулись у водності річок за останні 24 роки (починаючи з 1980 і до 2003 рр. включно). Відомо, що всі зміни гідрологічних явищ у просторі та часі відображають багаторічні ритми геліосиноптичних процесів. Визначальними чинниками є зміни з півночі на південь радіаційних ознак, атмосферних опадів, а також співвідношення між ними. Багатолітні ритми в часових рядах річкового стоку, насамперед, зумовлені загальною циркуляцією атмосфери по території земної кулі, обертанням Землі навколо своєї осі і навколо Сонця. В останні роки посилилась увага до можливих антропогенних складових у глобальному потеплінні клімату.

Щоб виявити фізичні причини формування багатоводних і маловодних періодів у межах тих чи інших територій, дослідники здійснили спробу встановити зв'язок між коливаннями річного стоку і так званими індексами сонячної радіації. При цьому виявилось, що в одних випадках коливання річного стоку повторюють зміни коливань сонячної активності, в інших – вони протилежні або взагалі мають незалежний характер [1].

За даними П.С.Кузіна [2], синхронні коливання сонячної активності та стоку річок мають місце лише у 40% випадків. Не розглядаючи детально проблему багаторічних коливань річного стоку через її складність і різноманітність, автори статті дослідили тільки частину питань, зокрема, особливості циклічних коливань річного стоку

деяких річок (головним чином, рівнинних) України, не використовуючи геліосиноптичних і інших чинників.

### Методика досліджень і вихідні матеріали

Для виявлення закономірностей у циклічних коливаннях стоку в різних частинах території України було використано хронологічні та згладжені за допомогою лінійного фільтру часові ряди, а також різницеві інтегральні криві за безперервні періоди спостережень.

Лінійний згладжуваний фільтр має вигляд:

$$\bar{Q}_i = \frac{1}{T} \sum_{k=-1}^{k=1} Q_{i+k} \quad , \quad (1)$$

де  $\bar{Q}_i$  – згладжене значення  $i$ -го члена часового ряду;

$T$  – період згладжування, прийнятий на рівні трьох.

Для збереження крайніх членів часових вибірок їх згладжування здійснювалося за процедурою, запропонованою у роботі [3], тобто:

а) для першого члена ряду:

$$\bar{Q}_1 = \frac{1}{6}(5Q_1 + 2Q_2 - Q_3); \quad (2)$$

б) для останнього члена ряду:

$$\bar{Q}_n = \frac{1}{6}(5Q_n + 2Q_{n-1} - Q_{n-2}). \quad (3)$$

Як відомо, чим вища ступінь згладжування часових рядів, тим більшим є період згладжування  $T$ . Але в разі значного збільшення  $T$  відбувається зміщення переходів від маловодних періодів до багатоводних і, навпаки. З іншого боку, слід мати на увазі, що згладжування по 3-х річках буває зовсім недостатнім для виявлення циклічності в часових рядах. Ось чому автори прийняли компромісне рішення для досягнення поставленого завдання – згладжування всіх рядів виконувати тим самим лінійним фільтром (при  $T = 3$ ), але не один раз, а двічі. Таким чином вдалося відфільтрувати високочастотні коливання в часових рядах річного стоку, що дозволило спростити аналіз циклічності. Як приклад, на рис.1 наведено хронологічний стоковий ряд по р. Десна – м. Чернігів ( $F = 81400 \text{ км}^2$ ), який було згладжено двічі тим самим фільтром. Очевидно, з початку спостережень (1923 р.) і до 1926 р. мало місце маловоддя, яке з 1926 і до 1936 рр. змінилося на багатоводдя, а потім протягом майже 33 років (до 1969 р. включно) відзначався маловодний (не досить глибокий за амплітудою) період, потім два роки

(1970 і 1971) річний стік був надзвичайно високим, який змінився на дуже низький (з 1972 до 1977 рр.), після чого в 1978 році відбувся перехід через середнє багаторічне значення й до 1983 р. спостерігалася багатководна фаза, а з 1983 і до 2003 рр. річний стік коливався в межах середньої величини.

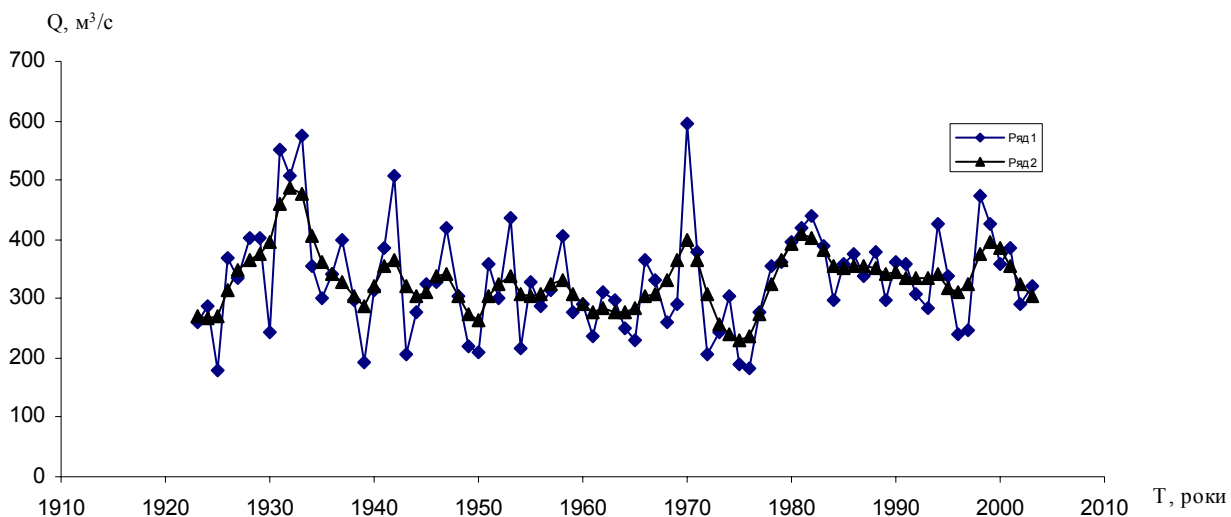


Рис. 1. Річний стік: 1 – хронологічний; 2 – згладжений (р. Десна – м.Чернігів, Нижньодеснянський район)

Аналогічно можна описати циклічність й інших стокових рядів. Слід звернути увагу на часовий ряд по р. Салгир – с. Дворіччя (безперервні спостереження з 1962 до 2003 рр.). Його особливість в тому, що він характеризується нестационарністю протягом 32 років (до 1994 року); потім (з 1994 до 2003 рр.) спостерігався багатководний період, у межах якого 1997 і 1998 рр. були надзвичайно високі (рис. 2).

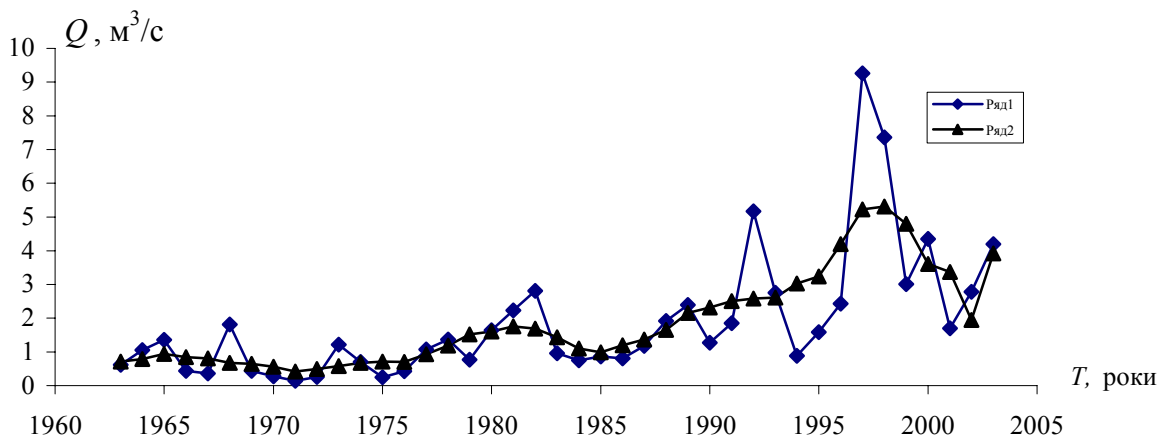


Рис. 2. Річний стік: 1 – хронологічний; 2 – згладжений (р. Салгир – с.Дворіччя, Крим)

Проте більш наочне уявлення про характер багаторічних коливань річного стоку надають різницевої інтегральні криві. Вони, як і хронологічні графіки часових рядів, були побудовані по всіх 17 водозборах, що розглядалися.

Повернімося знову до часових стокових рядів по р. Десна – м. Чернігів і р. Салгир – с. Дворіччя. Їх інтегральні різницевої криві:  $\sum(k_i - 1) = f(t)$ , де  $k_i$  – модульні коефіцієнти, наведено на рис. 3 і 4.

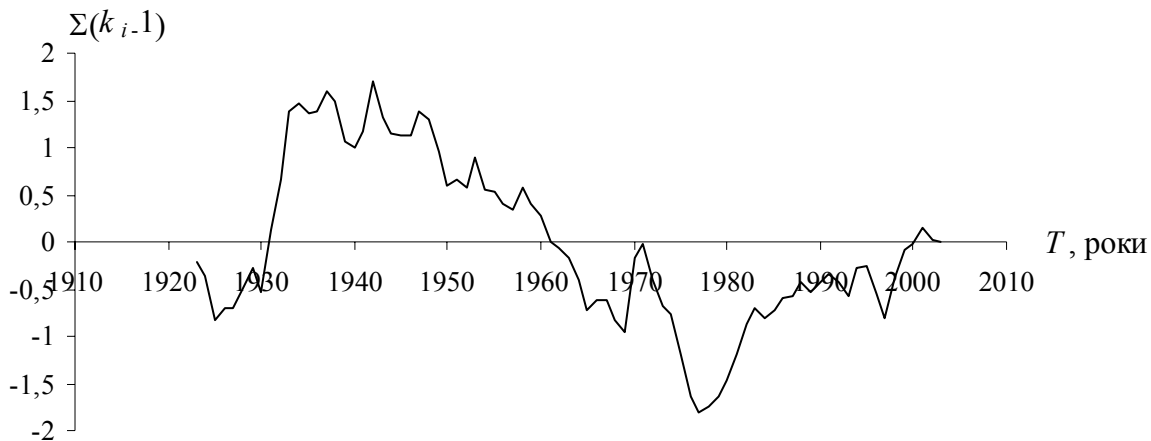


Рис. 3. Різницева інтегральна крива р. Десна – м. Чернігів (Нижньодеснянський район)

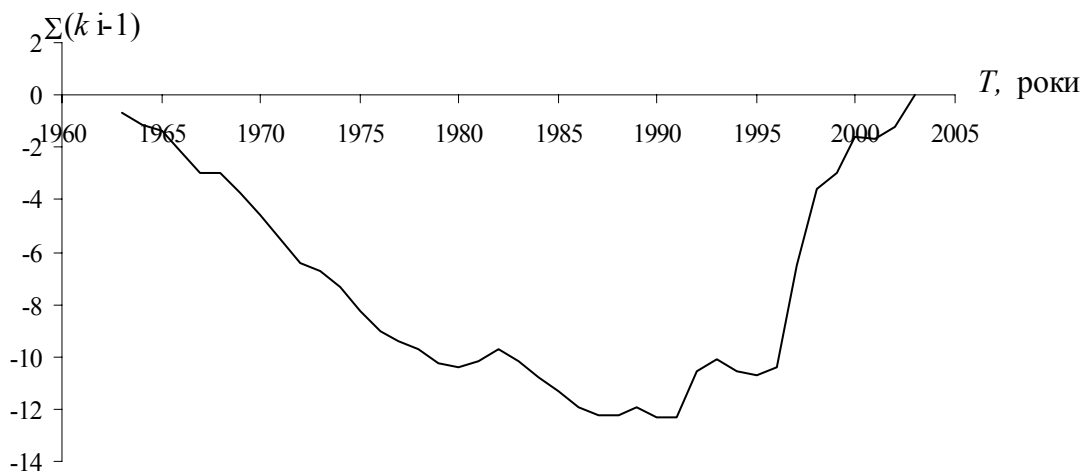


Рис. 4. Різницева інтегральна крива р. Салгир – с. Дворіччя (Крим)

З рис. 3 видно, що фактично з 1938 року і до 1976 року (з деякими коливаннями в окремі роки) у басейні р. Десна спостерігався маловодний період, загальною тривалістю 39 років. Починаючи з 1976 і до 2003 року, по цій річці спостерігався багатоводний період. Таким чином, маловодний період мав тривалість 29 років, а багатоводний – тільки 12.

### Аналіз змін річного стоку деяких річок України (1980-2003 рр.)

Останні 24 роки розглядалися окремо як з погляду хронологічної змінності середньорічних витрат води, так й на основі аналізу різницевих інтегральних кривих на часовому відрізку 1980-2003 рр. Аналіз проводився у два етапи.

Спочатку розраховували середні багаторічні модулі стоку за весь період спостережень  $\bar{q}$ , а також по частинах рядів – до 1980 р. ( $\bar{q}_{<1980}$ ) і після 1980 р. ( $\bar{q}_{>1980}$ ). Для порівняння середніх величин різних періодів їх представляли як відношення:  $(\bar{q}_{<1980})/\bar{q}$  і  $(\bar{q}_{>1980})/\bar{q}$ . Середні багаторічні модулі річного стоку за перший період спостережень (до 1980 року) були на рівні норм або нижче, крім р. Конка - м. Пологи (Нижньодніпровського району), де відношення  $(\bar{q}_{<1980})/\bar{q}$  становило 1,16. Навпаки, частина рядів з 1980 року характеризується дещо підвищеним середнім річним стоком, за винятком р. Стир - м. Луцьк і р. Конка - м. Пологи, для яких  $(\bar{q}_{<1980})/\bar{q}$  менші за норми, для решти – більші за норми (у середньому на 5-10 %, по р. Хорол - м. Миргород, р. Кодима - Катеринка і р. Салгир - с. Дворіччя відповідно на 36, 28 і 44%). Однак співвідношення  $(\bar{q}_{<1980})/\bar{q}$  і  $(\bar{q}_{>1980})/\bar{q}$  слід розглядати як дещо якісну характеристику тенденцій у часових змінах водності. Потрібно кількісно засвідчити, що різниця в середніх величинах річного стоку до 1980 року і після є значущою, тобто виходить за межі випадковості коливань. Автори залучили статистичні критерії однорідності Фішера  $F$  (для дисперсій) і Стьюдента  $t$  (для середніх величин). У загальній формі вони мають такий вигляд [4]:

- критерій однорідності дисперсій:

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \quad (4)$$

- критерій однорідності середніх:

$$t = \frac{|\bar{y} - \bar{x}|}{\sqrt{n_1\sigma_x^2 + n_2\sigma_y^2}} \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (5)$$

де  $\sigma_x^2$  і  $\sigma_y^2$  – дисперсії часових рядів річного стоку до 1980 року і після;

$n_1$  і  $n_2$  – тривалість першої та другої половини рядів;

$\bar{x}$  і  $\bar{y}$  – середні арифметичні значення в першій і другій частинах рядів.

Критичні значення  $F_{кр}$  і  $t_{кр}$  відповідають 5% рівням значущості. Як видно з табл. 2, більша частина рядів, незважаючи на деякі розбіжності в середніх величинах  $(\bar{q}_{<1980})/\bar{q}$  і  $(\bar{q}_{>1980})/\bar{q}$ , є однорідними. До неоднорідних за двома критеріями слід віднести р. Кальміус – смт

Сартана (Донецько-Приазовський район) і р. Салгир – с. Дворіччя (Гірсько-Кримський район). Ще чотири ряди (р. Клевень – с. Шарпівка, р. Десна – м. Чернігів, р. Конка – м. Пологи та р. Кодима – с. Катеринка) визначаються як неоднорідні (до 1980 р. і після), хоча б за одним з двох критеріїв.

На другому етапі досліджено наявність трендових складових за часовими рядами річного стоку в період 1980-2003 рр. Для цього за допомогою методу найменших квадратів побудовано рівняння прямих і визначено коефіцієнти кореляції  $r$ .

Фактично, крім р. Тиса – м. Рахів, р. Кальміус – смт Сартана і р. Салгир – с. Дворіччя, які характеризуються позитивним трендом (особливо р. Салгир), на інших річках відзначається від'ємний тренд. Рівняння тренду має такий вигляд:

$$y = ax \pm b, \quad (6)$$

де  $y$  – ординати на графіках зв'язку:  $Q = f(t)$ ;  $b$  – вільний член рівняння;  $a$  – коефіцієнт регресії, який представляє собою тангенс кута нахилу прямих трендів до осі абсцис, тобто:

$$a = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad (7)$$

де  $\Delta Q$  – приріст у витратах води ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $\Delta t$  – приріст у часі  $t$  (роки).

Виходячи з виразу (7), коефіцієнт регресії  $a$  за сутністю є приростом (змінюю) стоку на кожний поточний рік, починаючи з 1980 р. Масштабність  $\Delta Q$  у співвідношенні (7) не дає змоги виконувати оцінку глибини трендів. Тому ми всі значення  $a$  віднесли до відповідних середніх багаторічних величин стоку  $\bar{Q}$ , тобто надали такого вигляду:

$$\left(\frac{a}{\bar{Q}}\right) \cdot 10^3.$$

Позитивні тренди за своїми величинами в цілому не великі, крім р. Салгир – с. Дворіччя, для якої відношення  $\left(\frac{a}{\bar{Q}}\right) \cdot 10^3$  становить 52,4. Від'ємні тренди, які є характерними для більшої частини досліджуваних річок, визначаються досить чітко, а  $\left(\frac{a}{\bar{Q}}\right) \cdot 10^3$  сягають величин 20,0 - 30,0 і дещо більших.

Розглянемо детальніше питання, які пов'язані з синхронністю та асинхронністю багаторічних коливань річного стоку на території України. На основі аналізу індивідуальних різницевого інтегральних кривих стоку попередньо були виявлені багатководні і маловодні періоди (таблиця).

## Характеристика періодів коливання водності річок

Річка – пост	Багатоводний			Маловодний			Багатоводний		
	поча-ток	кі-нець	трива-лість	поча-ток	кі-нець	трива-лість	поча-ток	кі-нець	трива-лість
Тиса м. Рахів				1980	1993	14	1994	2003	10
Дністер - с.Стрільки	Коливання 3 - 5 років								
Стир - м.Луцьк	1963	1981	19	1982	1997	16	1998	2003	6
Коропець - м.Підгайці	1966	1979	14	1980	1997	18	1998	2003	6
Случ - м.Сарни	1965	1981	17	1982	1997	16	1998	2003	6
Ірша - с.Українка	1965	1982	18	1983	1997	15	1998	2003	6
Клевень - с.Шарпівка	1977	1988	12	1989	1997	9	1998	2003	6
Десна - м.Чернігів							1977	2003	27
Хорол - м.Миргород	1977	1988	12	1989	2003	4			
Ворскла - с.Чернеччина	1977	1988	12	1989	2003	15			
Конка (Кінська) - м.Пологи	1963	1981	19	1982	2003	22			
Рів - с.Демидівка	1967	1989	23	1990	2003	14			
Кодима - с.Катеринка				1947	1976	30	1977	2003	27
Сів.Донець - м.Лисичанськ	1978	1986	9	1987	2003	17			
Кальміус - смт Сартана							1962	2003	42
Ангара - с.Перевальне	Коливання 3 - 5 років								
Салгир - с.Дворіччя				1965	1991	27	1992	2003	12

Часові відрізки з 1980 до 2003 рр. частіше за все не вдається поєднати з початком або закінченням окремих фаз водності. Тому ми розглядали і частини інтегральних кривих, які передують 1980 рокові. Чітко визначити просторові закономірності коливань у рядах річного стоку не зовсім просто, оскільки вони залежать не лише від геліосиноптичних умов, але й від цілого комплексу фізико-географічних чинників (висотного положення водозборів, ландшафтів, рівня господарської діяльності на водозборах тощо). Проте наявні і деякі загальні риси в коливальних процесах стоку. Зокрема на річках верхнього Дністра та в Криму, хоча і має місце незначний позитивний тренд, тривалість періодів різної водності коротка і становить усього 3-5 років. Для річок Волинського, Подільського, Західноподільського та Середньоподільського районів типовою є наявність у період з 1963-66 до 1979-81 рр. багатоводної фази (середня тривалість 17 років), з 1980-83 до 1997 р. (середня тривалість 16 років) – маловодної, а з 1998 до 2003 рр. – знову багатоводної (середня тривалість 6 років). Річки цього району мають незначний позитивний тренд, окрім р. Ірша – с. Українка (Середньоподільський район), тренд якої на відрізок часу 1980-2003 рр. у цілому від’ємний.

Гідрологічний режим річок Верхньодеснянського, Нижньодеснянського і Верхньопсельського районів відрізняється від попередніх тим, що маловодний період тут почався з 1977 р. і продовжувався до 1998 року (його тривалість 12 років), потім він змінювався з 1989 до 2003 рр. багатоводною фазою (тривалість її 15 років). Виняток – річка Десна ( $F = 81400 \text{ км}^2$ ). Фактично багатоводний період по ній охоплює час з 1977 до 2003 рр. Проте і для Десни та інших річок цих районів характерний від’ємний тренд у коливаннях водності з 1980 до 2003 рр. У межах Верхньобузького та Нижньодніпровського районів багатоводний період розпочавсь у 60-х роках минулого століття і продовжувався до середини – кінця 80-х років (середня тривалість 21 рік), а потім відбувалася зміна багатоводної фази до кінця 2003 року на маловодну. Часовий тренд у період 1980 – 2003 рр. від’ємний.

Особливостями багаторічних коливань відрізняється р. Кодима – с. Катеринка (Середньобузький район), для якої характерними є тривалі (понад 30 років) маловодний (з 1947 до 1976 рр.) і багатоводний (з 1977 до 2003 рр.) періоди. Очевидно, що розрахунковий період (1980-2003 рр.) перебував у межах багатоводної фази, але часовий тренд коливань стоку

на цьому відрізку все-таки від'ємний. Річку Сіверський Донець (Сіверсько-Донецький район) за характером багаторічних коливань слід віднести до таких районів, як Верхньо- і Нижньодеснянський, а також Верхньопсельський. У Донецько-Приазовському районі на р. Кальміус – смт Сартана протягом 42 років (з 1962 до 2003 рр.) спостерігався багатководний період і позитивний, хоча і незначний, тренд. За даними р. Салгир – с. Дворіччя (Гірсько-Кримський район) з 1965 до 1991 рр. виділялися маловодний (його тривалість 27 років), а з 1992 до 2003 рр. – багатководний (тривалість його 12 років) періоди. Незважаючи на те, що маловодний період удвічі перевищує багатководний, у цілому по цій річці мав місце дуже чітко виражений позитивний тренд.

### **Висновки**

Аналіз матеріалів спостережень за річним стоком деяких річок України, що знаходяться у різних природних умовах, дає підставу для таких узагальнень:

1. Майже по всіх річках, що розглядались у цій роботі, останній 24-річний період (з 1980 до 2003 рр.) характеризується дещо підвищеною водністю (за винятком р. Конка, яка знаходиться в Нижньодніпровському районі).

2. Для більшості річок, незважаючи на підвищену водність в останні 24 роки спостережень, характерні від'ємні тренди.

3. Майже незмінним є тренд у часових рядах річного стоку річок Волинського, Подільського та Західноподільського районів.

4. Найбільш позитивний тренд спостерігавсь у стоковому ряді р.Салгир – с. Дворіччя. Дещо позитивним трендом характеризувалися часові ряди (з 1980 до 2003 рр.) по р. Тиса – м. Рахів і р. Кальміус – смт Сартана.

5. Для більш ґрунтовних висновків стосовно просторових і часових закономірностей коливань річного стоку в межах території України необхідно продовжити дослідження, залучаючи більшу кількість вихідних даних.

\* \*

*На примере 17 водосборів в різних частях території України дослідовані особенности многолетней изменчивости речного стока.*

\* \*

1. *Кузин П.С., Бабкин В.И.* Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 199 с.
2. *Кузин П.С.* Циклические колебания стока рек Северного полушария. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 178 с.
3. *Румшинский Л.З.* Математическая обработка результатов эксперимента. — М.: Наука, 1972. – 192 с.
4. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 423 с.

*Одеський державний екологічний університет,  
Центральна геофізична обсерваторія, Київ*