

УДК 631,62 (477):556.531
© 2013

В.С. ХОЛОДЕНКО,
кандидат географічних наук

Національний університет
водного господарства
та природокористування, м Рівне

ОЦІНКА ОДНОРІДНОСТІ
РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ
ЗА НЕПАРАМЕТРИЧНИМИ
ТА ПАРАМЕТРИЧНИМИ
СТАТИСТИЧНИМИ
КРИТЕРІЯМИ ДЛЯ
РІЧОК ПРИП'ЯТСЬКОГО
ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Доведено, що можливість та доцільність застосування параметричних та непараметричних статистичних критеріїв однорідності рядів для оцінки статистичної значущості наявності даних, які виявлені за спостереженнями на конкретних річках Прип'ятського Полісся України. Чим більша загальна вибірка обсягу спостережень, тим точніше оцінюється однорідність чи неоднорідність рядів спостережень.

Останніми десятиліттями найбільших змін зазнали норми стоку та швидкості течії річок, особливо на рівнинних річках України – Прип'ятському Поліссі. Передусім потрібно відзначити в цьому напрямку зарегулювання стоку ставками, водосховищами, спрямлення русел річок, будівництво доріг, каналів, надмірне розорювання земель, зміна клімату, опадів тощо. На це вплинули як природні явища, так і антропогенні.

Головним природним фактором, який зумовив зміни основних характеристик річок, є клімат. На сьогодні це визнано однією з найважливіших проблем у світі [1]. Із другої половини минулого століття почалося різке потепління клімату, яке призвело до зниження середньорічних витрат води та зменшення швидкостей течії на річках Прип'ятського Полісся України. Але антропогенне навантаження на басейни річок дещо вирівняло величину стоку та швидкості течії потоку [2].

Гідрологічні дослідження потребують впорядкованості даних, тобто їх однорідності та достовірності. Відсутність такої інформації створює великі труднощі в дослідженнях. Частина літературних джерел [3–5, 7] базується на аспектах досліджень однорідності рядів, на модельних оцінках, які в результаті є мінливими і створюють неспівпадіння модельних оцінок з даними спостережень. Ступінь довіри до змін характеристик стоку річок залишається невисоким. Похибки можуть бути настільки суттєвими, що іноді виявляється неможливим

не тільки оцінити швидкість змін, які спостерігаються, але й навіть встановити сам факт їх наявності [3, 5, 6].

З огляду на викладене можна дійти висновку, що для однорідності рядів спостережень за змінами норми стоку (середньорічна витрата води за багаторічний період) та інших характеристик режиму річки доцільно використовувати непараметричні статистичні критерії оцінки, а параметричні – коли ряди спостережень невеликі, тобто $n < 20$.

Метою наших досліджень було оцінити однорідність рядів спостережень за непараметричними та параметричними статистичними критеріями в 1945–1994 та 1994–2004 роках на річках Прип'ять, Вижівка, Тур'я, Стохід, Вирка, Стир, Случ, Уборть, Тя, Смолка та встановити можливість їх застосування.

Однорідність рядів спостережень оцінено за непараметричними статистичними критеріями (Вілксона – W , Ван дер Вандера – X , Сіджела-Тьюка – S , серійним критерієм – Q , критерієм Колмогорова-Смірнова – λ^2) та параметричним статистичним критерієм Стьюдента.

Результати дослідження та їх обговорення. 1. Під час теоретичних досліджень проаналізовано детальний опис річищ та гідрологічних постів (за гідрологічними щорічниками та паспортами малих річок); визначено доступними засобами швидкість течії руслового потоку (за гідрологічними щорічниками до 1974 року, таблиця “Виміряні витрати води”, за наступні роки – архів Центральної геофізичної обсер-

ваторії Гідрометслужби України у формах таблиць ТГ-8). Максимально використовували багаторічні дані вимірів стаціонарних пунктів спостережень за водним режимом (матеріали Центральної геофізичної обсерваторії Гідрометслужби України та матеріали Державного водного кадастру).

Для оцінки однорідності рядів спостереження за середньорічними витратами води, максимальними швидкостями та мінімальними швидкостями течії річкового потоку сформовано таблиці вихідних даних рядів спостереження.

Алгоритм розрахунків дослідження включає методи математичного аналізу: математичні, статистичні методи обробки результатів спостереження.

Період досліджень зорієнтований на природний статус річок, властивий їм за умов відсутності чи незначного впливу людської діяльності, тобто є найбільш наближеним до природного екологічного стану, і досліджувані гідрологічні характеристики найменше змінені господарською діяльністю людини, що позитивно вплине на однорідність вибірок.

Дослідження Д.В. Закревського показують, що в 1975–1980 рр. в Українському Поліссі антропогенний вплив на річки зростає зі збільшенням осушуваних площ та освоєних боліт на водозборах цих річок [8].

Оскільки найбільший антропогенний вплив діяльності людини в зоні Полісся – це осушення земель, агролісомеліоративні заходи, штучні водойми, промислово-побутове водоспоживання, то внаслідок такого втручання збільшуються мінімальні витрати води і стік меженого періоду, і лише в окремих випадках він понижується. Так, дослідження вчених свідчать про те, що з 1975 по 1985 рік площі меліорованих земель в басейнах річок Західного Полісся України вище пунктів багаторічних гідрологічних спостережень збільшувалися, а у 2005 році (дані обласних управлінь меліорації і водного господарства) – дещо зменшилися (з 1992 року площі меліоративних систем не збільшуються, а їхній технологічний стан погіршується) [9].

А.В. Яцик відзначає, що межений і мінімальний місячний стік річок Прип'ятського Полісся дещо збільшився, внаслідок чого внутрішньорічний розподіл стоку з меліорованих водозборів став рівномірнішим [10]. На сьогодні існуючі меліоративні системи недосконалі, часто технологічно некеровані в частині

оптимізації водного режиму осушених земель і можливого негативного впливу на навколишнє середовище.

Отже, обумовлено вибір періодів спостереження.

2. Нині для оцінки статистичної значущості наявності тренду зазвичай розглядають ймовірність нульової гіпотези, тобто ймовірність того, що коефіцієнт лінійного тренду дорівнює нулю ($a = 0$). Для цього відношення $a / \sigma a$ порівнюють із табличним значенням розподілу Стьюдента за заданого рівня значущості та числа ступенів вільності, яке дорівнює $2(N - 1)$ (де σa – вибіркова мінливість коефіцієнта тренду; N – число років у часовому відрізку, що розглядають). Критичною умовою, за якою нульова гіпотеза відхиляється, найчастіше є умова $a / \sigma a \geq 2$, що відповідає рівню значущості $\sim 95\%$ [3, 5]. Розподіл Стьюдента показав, що для всіх річок дані двох вибірок є однорідними.

3. Оцінка зміни середньорічної витрати води, максимальної та мінімальної швидкостей течії річки проводилася на прикладі даних спостережень річок Прип'ятського Полісся в 1945–1974 та 1994–2004 роках. Період спостережень на річках, через значну зміну норми стоку та швидкостей течії води у 2000-ні роки, був поділений на дві сукупності.

Для цього були використані значення середніх витрат води за багаторічний період, максимальних та мінімальних швидкостей течії річки. У всіх вибірках обсяги m та n більше 10.

Непараметричними називають критерії, використання яких не вимагає попереднього визначення оцінок невідомих параметрів розподілу і навіть наближеного закону розподілу ознаки. Вони можуть бути застосовані під час аналізу однорідності рядів, які мають переважно асиметричний розподіл [6].

Отже, прийняття нульової гіпотези H_0 означає, що дані вибірки не суперечать припущенню про відсутність відмінностей між ними. Відкидання гіпотези означає, що емпіричні дані несумісні з H_0 , а правильною є інша альтернативна гіпотеза H_1 . Зазвичай при перевірці однорідності рядів α приймають 0,05 (5%), рідше 0,01 (1%) та 0,10 (10%).

За Критерієм Вілкоксона (W) виявляються відмінності в центральних тенденціях двох вибірок. У нашому випадку рівень значущості буде дорівнювати: $W > W(\alpha)$, де $W(\alpha)$ – критичне значення статистики Вілкоксона – 1,96; W –

значення критерію для меншої вибірки. Рівень значущості відповідає $\alpha = 0,05$.

Для річок Прип'ять і Стохід нульова гіпотеза H_0 відхиляється за всіма характеристиками (Q_{cep} , V_{max} , V_{min}). Для цих річок характерна зміна норми стоку і швидкостей течії, яка відбувається через низку причин. Для Прип'яті біля с. Річиця спостерігаються ополонки. У річку скидаються стічні води осушувальної системи. Забір води в промисловості і комунальному водопостачанні в рік складає 58 тис. м³, скид води в річку – 47 тис. м³, загальний об'єм ставків – 8,3 млн м³. У 52 км вище поста біля с. Почапи Залуховські на річці Прип'ять біля с. Любязь є гребля гідровузла. При закритті щитів греблі вода потрапляє у Вижівський канал, який є джерелом води для Дніпро-Бузького каналу, нижче гідровузла річка пересихає і перетворюється на декілька розкиданих озерних плес. На ділянці річки від с. Почапи до с. Любязь у межах, навіть за відкритих щитів греблі, течії немає. У річку скидаються води осушувальної системи.

Отже, антропогенний фактор впливу зарегульованості стоку на р. Прип'ять, який призводить до збільшення стоку (особливо меженого), вторинного заболочування, заростання русла і заплави, уповільнення процесів стікання води (швидкостей течії) підтверджують М.Ю. Калінін і О.Г. Ободовський [7]. Все це впливає на однорідність даних двох вибірок.

Для річки Стохід біля с. Малинівка річище каналізоване, дно мулисто-піщане, берега висотою 1,0–1,5 м, задерновані. На гідрологічний режим впливає робота насосної станції, яка розміщена в 1,5 км вище поста. Річка є водоприймачем осушувальних систем. Вочевидь викладені причини дають підстави вважати, що розглянуті вибірки суттєво відрізняються одна від одної.

Для інших річок (Вижівка, Тур'я, Вирка, Случ, Тня, Смолка, Уборть, Уж) вибірки є однорідними, нульова гіпотеза не відхиляється від альтернативи (H_1).

За Критерієм Ван дер Вандера (X) оцінка однорідності рядів є більш потужною та чутливою порівняно з критерієм Стьюдента, коли відомо, що розподіли явно відрізняються від нормального. У нашому випадку рівень значущості буде дорівнювати $|X| > X(\alpha)$, де $X(\alpha)$ – критичне значення статистики X -критерію, яке встановлюється за таблицями і враховує значення обсягу об'єднаної вибірки N та різни-

цю обсягів m та n ; $|X|$ – значення критерію для меншої вибірки. Рівень значущості відповідає $\alpha = 0,05$.

Нульова гіпотеза H_0 для річки Уборть біля с. Рудня Іванівська відхиляється за всіма характеристиками (Q_{cep} , V_{max} , V_{min}). Для річки характерна зміна норми стоку і швидкостей течії, яка відбувається через те, що річище звивисте, на окремих ділянках заростає водною рослинністю, у районі поста каналізоване. У басейні річки до створу поста є 13 ставків загальною площею 151 га і загальним об'ємом в межах 1,8 млн м³. Ставки використовуються для господарських потреб. Ці причини дають підстави стверджувати, що розглянуті вибірки суттєво відрізняються одна від одної. Для всіх інших річок нульова гіпотеза не відхиляється, тобто ряди спостереження однорідні.

За Критерієм Сіджела-Тьюкі (S) ця модифікація називається S -критерієм. За його допомогою порівнюють дві вибірки по відхиленнях, залишаючи без уваги їх середні значення. Якщо дисперсії (стандартні відхилення) двох вибірок будуть однаковими, то ці вибірки будуть однорідними [11]. Оцінюємо значення функції, оберненої до нормального розподілу, при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Порівнюємо відхилення U та значення функції $\Psi(1 - \alpha/2) = \Psi(0,975)$.

У нашому випадку нульова гіпотеза H_0 не відхиляється від альтернативи H_1 за всіма характеристиками (Q_{cep} , V_{max} , V_{min}) для річки Прип'ять біля с. Любязь і за Q_{cep} – для річки Прип'ять біля с. Річиця. Для всіх інших річок відбувається характерна зміна норми стоку і швидкостей течії, яка пов'язана з розглянутими причинами, тобто можна наголошувати на тому, що у вибірках дисперсії (квадратичні відхилення) неоднорідні.

За серійним критерієм (Q) дві вибірки, що порівнюються, належать одній генеральній сукупності. Можна припустити, що в об'єднаній і впорядкованій за зростанням вибірки елементи кожної з двох вихідних вибірок повинні чергуватися. Оцінюємо значення функції, оберненої до нормального розподілу, при рівні значущості $\alpha = 0,05$. Порівнюємо відхилення U та значення функції $\Psi(1 - \alpha/2) = \Psi(0,975) = 1,96$.

У досліджуваному випадку нульова гіпотеза H_0 не відхиляється від альтернативи H_1 за характеристикою Q_{cep} для всіх річок, крім Уборті біля с. Рудня Іванівська, де нульова гіпотеза H_0 відхиляється і є підстави вважати, що розгляну-

ті вибірки суттєво відрізняються одна від одної. Відбувається зміна норми стоку і швидкостей течії, яка пов'язана з викладеними причинами.

За критерієм Колмогорова-Смірнова (λ^2), який базується на порівнянні вибірок (рядів) накопичених частот двох сукупностей. За великих обсягів вибірок ($m, n > 100$) визначену різницю D (максимальне значення $|F_j(x) - F_j(y)|$, де $F_j(x)$ і $F_j(y)$ відносні накопичені частоти) порівнюють

з величиною λ^2 . Для заданого рівня значущості $\alpha = 0,05$ порівнюють одержане $\lambda^2 > \lambda^2(\alpha)$, тобто перевіряють умову $\lambda^2 > 1,84$.

Нульова гіпотеза H_0 у прикладі, що аналізується не відхиляється від альтернативи H_1 за всіма характеристиками ($Q_{сер}, V_{max}, V_{min}$) для більшості річок, крім р. Уборть біля с. Рудня Іванівська, р. Вижівка біля с. Стара Вижівка і р. Прип'ять біля с. Любязь.

Висновки

Результати порівняння сукупностей показали, що нульова гіпотеза не відхиляється за більшістю статистичних критеріїв для норми стоку, за винятком одного S -критерію. Він свідчить про неоднорідність двох сукупностей, які складають ряд спостережень, тобто вказує на статистичну значущість трендів середньорічної витрати води (норми стоку) та максимальної і мінімальної швидкості течії води.

Таким чином, із викладеного можна зро-

бити висновок про можливість та доцільність застосування параметричних та непараметричних статистичних критеріїв однорідності рядів для оцінки статистичної значущості наявності даних, які виявлені за спостереженнями на конкретних річках Прип'ятського Полісся України. Чим більша загальна вибірка обсягу спостережень, тим точніше оцінюється однорідність чи неоднорідність рядів спостережень.

Бібліографія

1. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад Рабочей группы II / Ю.А. Израэль, С.М. Семенов, О.А. Анисимов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 9. – С. 5–13.
2. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: підручник [для студентів вищих навч. закладів] / [А.В. Яцик, Ю.М. Грищенко, Л.А. Волкова, І.А. Пашенюк]. – К. : Генеза, 2007. – 360 с.
3. Тюрин Ю.Н. Непараметрические методы статистики / Ю.Н. Тюрин. – М. : Знание, 1978. – 64 с.
4. Тарасова В.В. Екологічна статистика: підручник / В.В. Тарасова. – К. : Центр навч. літ-ри, 2008. – 392 с.
5. Застосування непараметричних статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостережень за сучасними локальними змінами температури повітря та опадів / О.І. Галік, А.М. Рокочинський, Т.В. Олексюк [та ін.] / Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011. – № 1. – С. 96–99.
6. Сучасні зміни клімату та їх прояви від гло-

бального до регіонального рівнів / М.І. Ромащенко, А.М. Рокочинський, О.І. Галік [та ін.] // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Рівне, 2007. – Вип. 32. – С. 65–79.

7. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / под общ. ред. М.Ю. Калинина и А.Г. Ободовского. – Минск, БЕЛСЭНС, 2003. – 269 с.

8. Закревський Д.В. Річки Українського Полісся в умовах техногенезу: трансформація хімічного складу води / Д.В. Закревський // Водне господарство України. – 1996. – № 5. – С. 19–22.

9. Вивчення стану і якості поверхневих вод Рівненської області / [під наук. кер. М.Д. Будза]; звіт про наук. роботу; АНУ, Рівненський відділ географічного товариства України: УІВГ. – Рівне, 1995. – 113 с.

10. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у 4-х т., 7 кн. / А.В. Яцик. – К. : Генеза, 2004. – Т. 2, кн. 3; 4. – 384 с.

11. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия / Мостеллер Ф., Тьюки Дж. – М. : Финансы и статистика, 1982. – Вып. 1. – 224 с.; Вып. 2. – 240 с.

Рецензент – доктор сільськогосподарських наук, професор О.П. Якунін