

Modern conditions for the formation of the stability of riverbeds in the Dnipro basin area (within Ukraine)

Obodovskiy O. G., Korniienko V. O., Perevozchikov I. M.

Assessment of the stability of riverbeds is one of the most important components in the analysis of riverbed processes and is of great practical importance. At the same time, it includes an ecological content, which is primarily related to the analysis and forecast of the intensity of channel deformations, which can significantly affect the conditions of life and management within the river channel-flood complex. The concept of stability of riverbeds consists in their comparison based on the quantitative assessment of conditions and the rate of manifestation of channel deformations. The study of channel processes in rivers and the conditions that shape their stability is closely related to the mechanism of water erosion in their basins. Therefore, for a more objective assessment of channel processes in general and the stability of river channels in particular, it is necessary to take into account all water-erosion processes in the river basin.

Research and classification of various approaches to assessing the stability of riverbeds has been carried out. An additional substantiation of the erosion resistance indicator Lo was confirmed and conducted. A retrospective analysis of its spatio-temporal changes in the erosion coefficient and erosion resistance index was carried out based on the data of 17 representative hydrological stations located on the rivers of the Dnieper basin (within Ukraine). The research results confirmed the low variability of the Lo indicator during the last 30 years with the presence of a tendency to increase the stability of riverbeds according to this indicator. A comparative analysis with other indicators of stability shows the best coincidence of the erosion indicator of channel stability Lo and the indicator of relative invariance Mx , which can be recommended for further use in the study of channel formation processes of the indicated rivers.

Keywords: stability of riverbeds, erosion stability indicator, erosion coefficient, relative invariance indicator, comparative analysis of stability indicators.

Надійшла до редколегії 31.01.2023

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.1.5>

УДК 556.531.631.62(477)

Холоденко В.С.¹, Басюк Т.О.¹, Будз О.П.¹, Голчак І.В.², Холоденко А.О.³

¹ Національний університет водного господарства та природокористування

² Державне агентство водних ресурсів України,

³ Київський університет права НАН України Рівненський інститут

ОЦІНКА ОДНОРІДНОСТІ РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА КІЛЬКІСТЮ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ ТА РІВНЯМИ ВОДИ НА ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ ЗОНИ ВПЛИВУ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АЕС

Енергетичною стратегією України до 2030 року передбачається добудова та введення в експлуатацію на Хмельницькій АЕС 3 і 4 енергоблоків. Важливим чинником правильної, безперебійної роботи ХАЕС є наявність відповідних водних ресурсів і рівнів води, які можуть відновлюватися за допомогою опадів, а також регулюванням стоку. У період дослідження з 2019 р. по 2023 р. підживлення ставка-охолоджувача ХАЕС перекачуванням води із р. Горинь не проводилося. Методика дослідження побудована в напрямку застосування гідролого-генетичного та статистичного методу. Визначено однорідність рядів спостережень за статистичними параметричними та непараметричними критеріями; побудовано інтегральні сумарні криві рівнів води; побудовано графіки поверхонь; розраховано коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів. Обґрунтовується можливість та доцільність застосування статистичних критеріїв для оцінки значущості наявності трендів, які виявлені за даними спостережень рівнів води, опадів для річки Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі ХАЕС. Встановлено, що у більшості випадках на неоднорідність рядів спостереження можуть впливати антропогенні чинники, такі як зарегульованість водосховища, робота меліоративних систем, сільськогосподарські поля, заростання берегів ставка, замулення та заболочення, заплавні луки та інше. У випадках незначного річного розподілу опадів у річці Ямпіль та у ставку охолоджувачі ХАЕС, останній не несе значного впливу на розподіл рівнів води у них.

Ключові слова: статистичні критерії; однорідні ряди; річка, опади; водосховище.

Вступ, актуальність теми дослідження. Після катастрофи на ЧАЕС атомна енергетика в Україні зазнавала змін, і все більше, в бік закриття атомних електростанцій, але враховуючи реалії сьогодення: кліматичні зміни; економічні; військові дії на території України; вичерпання сировини; жорсткі обмеження з викидів парникових газів у атмосферу; енергетична діяльність у закордонних країнах, все це показує, що без атомної генерації важко забезпечити енергетичну безпеку країни. Адже в розвинених країнах на

атомних електростанціях виробляється 30 % електроенергії, а також енергетика в багатьох країнах базується на АЕС. Навіть країни, які свого часу відмовилися від атомної енергії, зокрема Італія і Німеччина, роблять переоцінку своїх поглядів на ситуацію в енергетиці. І також, з точки зору, впливу на навколишнє природне середовище, АЕС є найбільш безпечнішими, тільки захоронення відходів та термін експлуатації енергоблоків залишаються актуальними питаннями. Тому, все більше визнання у світі одержує той факт, що в умовах зростання цін на природне паливо (газ, вугілля, нафту) і нестабільності світових ринків природного газу та нафти забезпечити зростання промислового виробництва й задоволення споживчого попиту населення у відносно дешевій електроенергії на комунальні потреби здатна тільки атомна енергетика. На даний час в Україні більше як 95% теплових енергоблоків відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тисяч годин), у тому числі більше як 70% перевищили граничний ресурс (170 тисяч годин), понад половина енергоблоків перебуває в експлуатації понад 200 тисяч годин. На чотирьох діючих АЕС України експлуатується 15 енергоблоків, які відпрацювали половину проектного терміну експлуатації [13]. Тому, у період до 2030 року об'єктивно необхідно створювати компенсуючі енергетичні потужності замість енергоблоків, що будуть виводитись з експлуатації, а також добудовуватися та вводитися в експлуатацію на Хмельницькій АЕС – 3-й та 4-й енергоблоки, згідно із «Енергетичною стратегією України до 2030 року».

Законодавча та нормативно-правова база забезпечення діяльності АЕС в Україні налічує більше 70 законодавчих, нормативно-правових актів та документів. Добудова енергоблоків №3, 4 Хмельницької АЕС передбачена «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року», схваленою розпорядженням КМУ №145-р від 15.03.2006 р. Станом на 2022 рік 3-й та 4-й енергоблоки ХАЕС ще недобудовані, за словами президента ДП «НАЕК «Енергоатом» Петра Котіна загальний стан будівельної готовності блоків: №3 - 75%, №4 - 15% [14]. Головне призначення ставка-охолоджувача ХАЕС – це резервуар води для охолодження конденсаторів турбіни атомних реакторів Хмельницької АЕС, а побічне призначення — промислова риболовля. Тому, технічне водопостачання ХАЕС забезпечується за рахунок води, яка акумулюється у водоймі-охолоджувачі багаторічного регулювання об'ємом 120 млн.м³. Для поповнення водойми-охолоджувача передбачений забір води з р. Горинь та в ньому повністю акумулюється стік р. Гнилий Ріг. Отже, одним із важливих чинників правильної, безперебійної роботи ХАЕС є наявність відповідних водних ресурсів і рівнів води, які можуть відновлюватися за допомогою опадів, а також регулюванням стоку. Зосередимо далі свої дослідження саме на рівнях води та опадах.

Аналіз виконаних досліджень за означеною темою. Рівні води та опади – це гідрометеорологічні характеристики на зміну яких впливають як природні, так і антропогенні фактори, головним чином клімат. На сьогодні це є однією з найважливіших проблем у світі [1]. Із другої половини минулого століття почалося різке потепління клімату, яке призвело до зниження рівнів та витрат води на річках України. Але, антропогенне навантаження на басейни річок дещо вирівняло величину стоку та швидкості течії потоку, рівні води [2].

Для аналізу та оцінки змін будь-які гідрометеорологічні характеристики потребують впорядкованості даних, тобто їх однорідності та достовірності. Їх відсутність створює великі труднощі у дослідженнях. Значна частина літературних джерел [3,4,5] базується на окремих аспектах досліджень однорідності рядів, модельних оцінках. Які в результаті є мінливими і створюють неспівпадіння модельних оцінок з даними спостережень, ступінь довіри до змін характеристик рівнів води, опадів 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].

З огляду на викладене можна зробити висновок, що для однорідності рядів спостережень за змінами рівнів води та інших характеристик режиму річки, водосховища доцільно використовувати непараметричні статистичні критерії оцінки. Однак, коли ряди спостережень невеликі, тобто $n < 20$ – параметричні статистичні критерії.

Розглядом даного питання займалися багато авторів як в Україні (Войцехович В.О., Вишневський В.І., Гребень В.В., Сніжко С.І., Струтинська В.М., Горбачова Л.О., Василенко Є.В., Дутко В.О., Галік О.І., Холоденко В.С., Косяк Д.С. та інші) [6-9], так і за кордоном, ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. № 1 (67)

використовуючи різні методологічні підходи до оцінок гідрометеорологічних характеристик.

Мета дослідження. Проаналізувати актуальні питання розвитку ХАЕС в Україні в частині аналізу змін рівнів води і опадів на р. Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі ХАЕС із застосуванням статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостережень.

Методи дослідження. Методика дослідження побудована в таких напрямках: застосовано гідролого-генетичний та статистичний метод. Визначено однорідність рядів спостережень за статистичними параметричними та непараметричними критеріями; регресія даних спостережень на час; наявність зв'язків між сусідніми членами ряду; побудова інтегральних сумарних кривих рівнів води; побудовано графіки поверхонь, які дають можливість наочно оцінити прогноз їх у майбутньому; розрахунок коефіцієнта нерівномірності випадіння опадів.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети виконано наступні роботи:

- сформовано таблиці вихідних даних рядів спостереження за середньорічними рівнями води і опадами на річці Горинь – с. Ямпіль та в ставку-охолоджувачі ХАЕС;
- вибрано підхід щодо застосування статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостереження за досліджуваними характеристиками;
- проведено розрахункову основу для оцінки однорідності рядів спостереження за досліджуваними характеристиками;
- побудовано графіки поверхонь;
- розраховано коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів.

Виклад основного матеріалу.

1. Під час формування таблиць вихідних даних рядів спостереження виконано наступні дії: проаналізовано дані регіональних офісів водних ресурсів з гідрометеорологічної та водогосподарської обстановки у Хмельницькій області для р. Горинь – с. Ямпіль та для ставка-охолоджувача ХАЕС, зокрема, це рівні води та опади. Період дослідження взято з 14.03.2019 року по 17.01.2023 року. Цей період вибрано із врахування того факту, що в ньому рівень води змінювався під впливом метеорологічних факторів, і підживлення ставка-охолоджувача ХАЕС перекачуванням води із р. Горинь не проводилося.

Також для порівняння 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 рівнями води та опадами сформовано таблиці вихідних даних рядів спостереження за двома характеристиками – тижневі рівні води та опади і середньомісячні рівні води та опади.

Однорідність рядів спостереження досліджено на р. Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі ХАЕС, а також за опадами у цих пунктах.

У зв'язку із значною зміною рівнів води та опадів ряд спостережень на об'єктах був поділений на дві сукупності. Період дослідження описано вище. В основному, цей період дослідження, зорієнтований на природний статус річки Горинь та ставка-охолоджувача ХАЕС, властивий їм за умов відсутності чи незначного впливу людської діяльності, тобто найбільш наближеним до природного екологічного стану і досліджувані гідрологічні характеристики найменше змінені господарською діяльністю людини, тому це позитивно вплине на однорідність вибірок [10].

2. Розрахункова основа оцінки однорідності рядів рівнів води і опадів за непараметричними статистичними критеріями для річки Горинь та ставка-охолоджувача ХАЕС включає статистичну обробку даних, яку можна здійснити у програмному пакеті EXAL або STATISTICA.

Алгоритм розрахунків дослідження включає методи математичного аналізу: математичні, статистичні методи обробки результатів спостереження. А саме, статистичні критерії (Стюдента та Фішера), непараметричні статистичні критерії Вілкінсона (W), Ван дер Вардена (X), модифікація критерію W , яка запропонована Сіджелом і Тьюкі (S -

критерій), серійний критерій (Q) та критерій Колмогорова – Смирнова (λ^2).

Непараметричні критерії можна об'єднувати у три групи. Критерії першої групи (Вілкінсона (W) та критерій Ван дер Вардена (X)) виявляють відмінності в центральній тенденції, але ігнорують відмінності у відхиленнях сукупностей, які порівнюють. Критерії другої групи (модифікація критерію W , яка запропонована Сіджелом і Тьюкі (S -критерій)) визначають відмінності у відхиленнях, але залишають без уваги відмінності в центральній тенденції. Критерії третьої групи (серійний критерій (Q) та критерій Колмогорова – Смирнова (λ^2)) виявляють відмінності в характері розподілу, але не вказують, у чому саме вони полягають.

Отже, зазначені критерії застосовують, якщо постає завдання про порівняння двох сукупностей за вибірками, які одержані на одному об'єкті, але в різний час. Нульова гіпотеза для критеріїв першої групи формулюється як $H_0: \mu\xi = \mu\eta$, де $\mu\xi$ та $\mu\eta$ – характеристики центрів розподілу випадкових величин ξ та η відповідно, реалізаціями яких є вибіркові значення X та Y . Альтернативною гіпотезою буде $H_1: \mu\xi \neq \mu\eta$. Нульова гіпотеза для критеріїв другої групи формулюється як $H_0: \sigma x^2 = \sigma y^2$, де σx^2 та σy^2 – дисперсії (стандартні відхилення) двох вибірок. Альтернативною гіпотезою буде $H_1: \sigma x^2 \neq \sigma y^2$. Нульова гіпотеза для критеріїв третьої групи формулюється як $H_0: F(X) = F(Y)$, де $F(X)$ та $F(Y)$ – накопичені відносні частоти відповідних вибірок X та Y . Альтернативною буде $H_0: F(X) \neq F(Y)$.

Для статистичного обґрунтування значущості можуть бути побудовані тренди застосування непараметричних статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів.

3. Вважаємо, що найпростіший та достовірніший метод оцінки гідрометеорологічних характеристик – це статистичний. Статистичні методи дозволяють показати в своїх оцінках залежності від одного, двох іноді двох-трьох чинників. Розглянемо результати дослідження за параметричними статистичними критеріями – *Стюдента* та *Фішера*. 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 Стюдента за заданого рівня значущості та числа ступенів вільності, яке дорівнює 2 (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].

Що стосується розподілу Фішера, то цей критерій є дещо слабшим у відношенні зв'язків між досліджуваними показниками. Відношення двох виправлених вибіркових дисперсій, які відповідають одній і тій же генеральній сукупності з нормальним законом розподілу є випадкова величина F .

Розподіл Стюдента та Фішера показав, що для рівнів води та опадів вибірки є однорідними (таблиця 1).

В цілому ж критерій Стюдента доцільно використовувати, коли кількість членів вибірки $n < 20$. Коли ж вибірка велика, (від 30 до 100 років) і $\bar{X}_i$ наближається до нормального розподілу, то середньоквадратичні відхилення наближаються до 0,9-1.

Більш цікавими є непараметричні статистичні критерії, так як їх використання не вимагає попереднього визначення оцінок невідомих параметрів розподілу і навіть наближеного закону розподілу ознаки, а також характеризують більше якісну складову рядів дослідження. Вони можуть бути застосовані під час аналізу однорідності рядів, які мають переважно асиметричний розподіл [6], такі як гідрометеорологічні характеристики.

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 вірною є інша альтернативна гіпотеза H_1 . Зазвичай при перевірці однорідності рядів α приймають 0,05 (5%), більш рідко 0,01 (1%) та 0,10 (10%).

Результати оцінки однорідності рядів спостереження за багаторічною витратою, максимальними та мінімальними швидкостями течії води представлені у вигляді таблиці 1. Згідно таблиці 1, якщо дані вибірки однорідні, то приймається нульова гіпотеза (H_0), якщо вибірка неоднорідна, то вірною є інша альтернативна гіпотеза (H_1).

За Критерієм Вілксона (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 $\alpha=0,05$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) не відхиляється від альтернативи (H_1) за характеристикою рівнів води для р. Горинь – с. Ямпіль та опадів, тобто ряди є однорідними. Для ставка-охолоджувача ХАЕС за рівнями води (H_0) відхиляється, ряди неоднорідні. На це міг вплинути антропогенний фактор зарегульованості водосховища, адже його площа складає 20 км², а об'єм 120 млн.м³. Також в цьому районі добре розвинута робота меліоративних систем, багато сільськогосподарських полів, які сприяють заростанню берегів ставка, його замуленню та заболоченню, що сприяє уповільненню процесів стікання води, тобто це може впливати на зміну рівнів води. Отже, вище згадані причини, дають підстави вважати, що розглянуті вибірки суттєво відрізняються одна від одної.

За Критерієм Ван дер Вандера (X) оцінка однорідності рядів є більш потужною та чутливою в порівнянні з критерієм Стюдента, 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 визначається за таблицями і враховує значення обсягу об'єднаної вибірки N та різницю обсягів m та n ; $|X|$ – значення критерію для меншої вибірки. Рівень значущості відповідає $\alpha=0,05$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) відхиляється за характеристиками рівнів води для річки Горинь біля с. Ямпіль та ставка-охолоджувача ХАЕС. Скоріш за все, на це могли вплинути зовнішні фактори зарегульованості водосховища та забудови берегів річки Горинь, а також інші антропогенні чинники, тому що ряди опадів залишаються однорідними за цим критерієм. Також в басейні річки Горинь біля с. Ямпіль спостерігаються заплавні луки, які частково розорані, окультурені та перебувають під випасами, що призводить до їх деградації, а також змиву при паводках у річкове русло значних домішок — органічних, бактеріальних і твердого стоку.

За Критерієм Сіджела-Тьюкі (S) – ця модифікація називається S -критерієм. За його допомогою порівнюють дві вибірки по відхиленням, залишаючи без уваги їх середні значення. У випадку, коли 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 рівнів води та опадів для річки Горинь та ставка-охолоджувача ХАЕС (табл. 1).

Таблиця 1. Оцінка однорідності рядів рівнів води та опадів за статистичними критеріями для р. Горинь біля с. Ямпіль та ставка-охолоджувача ХАЕС, за 2019-2023 рр.

Назва об'єкту та характеристики	Статистичні параметричні критерії		Статистичні непараметричні критерії				
	Стюдента T	Фішера F	Вілкоксона (W)	Ван дер Вандера (X)	Сіджела-Тьюкі (S)	Серій (Q)	Колмогорова-Смірнова (λ^2)
Горинь – с. Ямпіль, Н, см	H_0	H_0	H_0	H_1	H_0	H_0	H_1
Ставок-охолоджувач ХАЕС, Н, см	H_0	H_0	H_1	H_1	H_0	H_1	H_1
Опади, мм	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_0	H_1

За серійним критерієм (Q) дві вибірки, що порівнюються належать одній генеральній сукупності, то можна припустити, що в об'єднаній і впорядкованій за зростанням виборці, 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 нашому випадку, нульова гіпотеза (H_0) не відхиляється від альтернативи (H_1) за характеристикою рівнів води для р. Горинь біля с. Ямпіль, а також опадів. Для ставка-охолоджувача ХАЕС нульова гіпотеза (H_0) відхиляється і є підстави вважати, що розглянуті вибірки суттєво відрізняються одна від одної. Відбувається характерна зміна рівнів води, яка може бути пов'язана з вище розглянутими причинами (табл. 1).

За критерієм Колмогорова-Смірнова (λ^2), який базується на порівнянні вибірок (рядів) накопичених частот двох сукупностей. При великих обсягах 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 $\lambda^2 > 1,84$.

У нашому випадку нульова гіпотеза (H_0) відхиляється від альтернативи (H_1) за всіма характеристиками для всіх досліджуваних об'єктів (табл. 1). На це могла вплинути недостатня кількість спостережень, адже необхідною умовою при використанні критерію узгодженості Колмогорова є велике число спостережень (не менше ста).

3.1. Важливим чинником, який змінює та забезпечує відповідний рівень води в річці Горинь біля с. Ямпіль і в ставку-охолоджувачі ХАЕС є якісний та кількісний стан вод, що формуються у різні фази водного режиму протяжі року. Так в багаторічному розрізі часу водний режим досліджуваних об'єктів оцінюється льодоставом, період якого настає у кінці грудня і може тривати до льодоходу – кінець лютого-березня, літньо-осіння межень настає у кінці липня і може тривати до вересня, а зимова межень настає у грудні. Повінь настає у березні-квітні.

За досліджуваний період максимальний рівень води в р. Горинь біля с. Ямпіль склав 350 см у грудні-січні 2023 р., а найменший рівень води 273 см спостерігався у серпні-вересні 2019 р., амплітуда коливання склала 77 см, що у багаторічному розрізі часу майже дорівнює найменшому рівню води у 72 см, який спостерігався в 1957 році. Модальний рівень складає 278 см.

Для ставка-охолоджувача ХАЕС за досліджуваний період максимальний рівень води склав 202,85 см у квітні-травні 2022 р., а найменший рівень води 201,56 см спостерігався у вересні 2019 р., амплітуда коливання склала 1,29 см. Тобто рівні води майже не змінювалися, що вказує на те, що не відбувалося зарегулювання стоку водосховища. Також це підтверджується і дослідженнями [13] в зв'язку з тим, що для експлуатації одного енергоблока ХАЕС води було достатньо, довгий час водозабір з р. Горинь для поповнення водойми-охолоджувача не проводився, за винятком забору води під час випробування насосів. Така ж ситуація спостерігалась і у випадку експлуатації двох енергоблоків. А також, за підрахунками науково-дослідних інститутів для роботи чотирьох енергоблоків запасів води у водосховищі також буде достатньо, а невелике поповнення з р. Горинь буде здійснюватися лише у роки з достатньою водністю та урахуванням санітарних витрат по р. Горинь. Враховуючи ступінь заповнення водойми-охолоджувача, акумуляцію стоку р. Гнилий Ріг та відсутність за вказаної причини технічної можливості повернення усієї фільтраційної води дренажного каналу, мали місце фільтраційні втрати в старе русло р. Гнилий Ріг з подальшим надходженням в р. Вілія, а далі в р. Горинь [13].

3.2. Проведено аналіз часової структури рядів спостережень для всіх рівнів води та опадів, заявлений у дослідженні [12]. Побудовані інтегральні сумарні криві (рис. 1), які дозволяють побачити тенденцію зміни рівнів води та опадів на зростання або спад.

З рис. 1,а бачимо, що рівні води на обох об'єктах спостереження зберігають тенденцію до збільшення, відрізняючись один від одного часом добігання відповідних рівнів води. А на рис. 1,б інтегральна сумарна крива опадів зберігає прямолінійну тенденцію без змін до зростання або спаду. Це підтверджує той факт, що опади і рівні води не завжди відображають пряму тенденцію залежності один від одного, а є і інші антропогенні чинники впливу, які розглянуто вище.

4. Для рівнів води та опадів, були побудовані графіки поверхонь, які дають можливість наочно оцінити прогноз параметрів у майбутньому, якщо вони і надалі будуть мати таку тенденцію до зростання або спаду із впливом тих же самих факторів (рис. 2).

З рис. 2 видно, що на графіку поверхонь а) відбувається зростання рівнів води на водних об'єктах; а на графіку поверхонь б) збільшення опадів на р. Горинь біля с. Ямпіль, не призводить до прямого зростання рівнів води на посту. Тобто маємо підтвердження висновків, що висвітлені у п. 3.2.

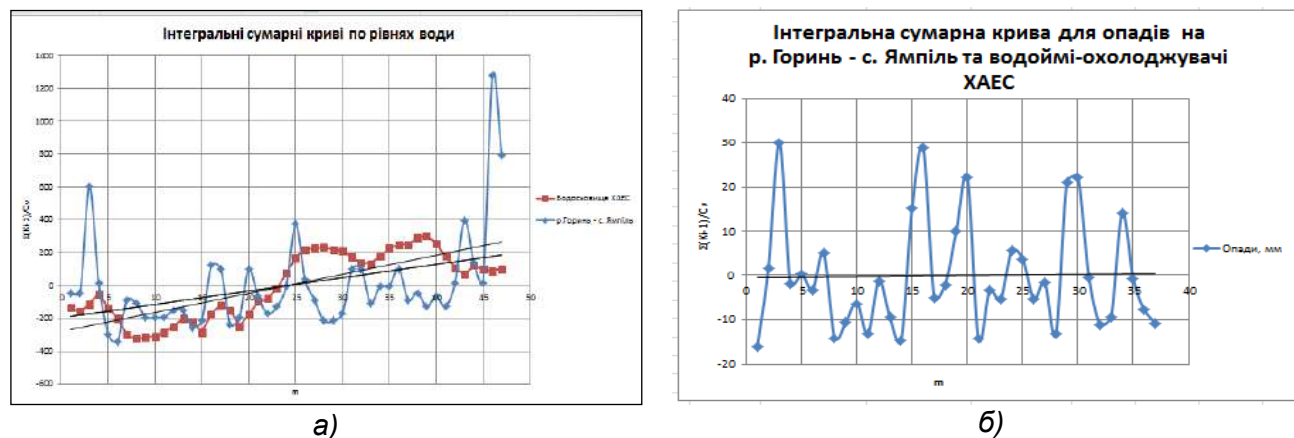


Рис. 1. Інтегральні сумарні криві: а) для рівнів води на р. Горинь – с. Ямпіль та для ставка-охолоджувача ХАЕС; б) для опадів

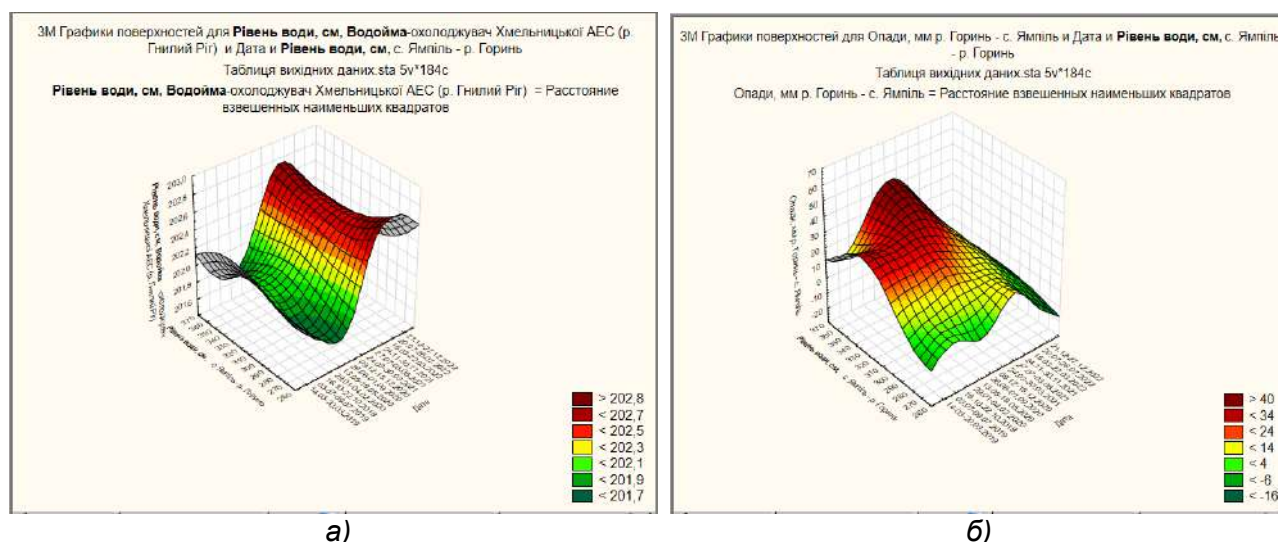


Рис. 2. Графіки поверхонь рівнів води та опадів за період дослідження з 2019 по 2023 роки: а) рівнів води на р. Горинь – с. Ямпіль та у ставку—охолоджувачі ХАЕС; б) опадів та рівнів води на р. Горинь – с. Ямпіль

5. Нерівномірність в річному розподілі опадів характеризується показником періодичності опадів, який визначається за залежністю:

$$W_H = \left[\frac{\sum \left| m_i - \frac{P}{12} \right|}{P} \right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

де P – сума опадів за рік, мм; m_i – сума опадів за конкретний місяць року, мм. Згідно з проведеними дослідженнями коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів на території змінюється у невеликих межах. Так, для р. Горинь біля с. Ямпіль та у ставку-охолоджувачі

ХАЕС W_n знаходиться у межах від 4,23% у 2021 р. до 7,03% у 2022 р., а в середньому для періоду з 2019 по 2022 рр. він становить 5,51%.

Чим більше нерівномірно випадають опади, тим збільшується значення W_n . Для прикладу, у західних берегів Європи він складає – 25%, а в Центральній Азії – 100%.

Висновки. Результати порівняння сукупностей наведено в табл. 1, із якої випливає, що нульова гіпотеза не відхиляється за більшістю статистичними критеріями для рівнів води та опадів, за винятком критерію Колмогорова-Смірнова, а також для окремих одиночних критеріїв параметрів. Неоднорідність двох сукупностей свідчить про те, що ряд спостережень, має статистичну значущість трендів (рівнів води, опадів). Так, як кожен критерій оцінки однорідності ряду вказує на різні ознаки між сукупностями і може бути вирішальним при виборі даних для спостереження.

Таким чином, із викладеного можна зробити висновок про можливість та доцільність застосування непараметричних та параметричних статистичних критеріїв однорідності рядів для оцінки статистичної значущості наявності даних, які виявлені за спостереженнями на конкретних водних об'єктах (р. Горинь біля с. Ямпіль, ставок-охолоджувач ХАЕС). Чим більша загальна вибірка обсягу спостережень, тим точніше оцінюється однорідність чи не однорідність рядів спостережень. В більшості випадках на неоднорідність рядів спостереження можуть впливати антропогенні чинники, такі як зарегульованість водосховища, робота меліоративних систем, багато сільськогосподарських полів, заростання берегів ставка, його замулення та заболочення, заплавні луки, які частково розорані, окультурені та перебувають під випасами, що призводить до їх деградації, а також змиву при паводках у річкове русло значних домішок — органічних, бактеріальних і твердого стоку. Коефіцієнт нерівномірності випадіння опадів на території змінюється у невеликих межах.

Список літератури

1. Израэль Ю.А., Семёнов С.М., Анисимов О.А. и др. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата : вклад рабочей группы II // Метеорология и гидрология. 2007. №9. С. 5–13.
2. Водні ресурси : використання, охорона, відтворення, управління : підручник для студентів вищих навч. закладів / Яцик А. В., Грищенко Ю. М., Волкова Л. А., Пашенюк І. А.. Київ : Генеза, 2007. 360 с.
3. Тюрин Ю.Н. Непараметрические методы статистики. М. : Знание, 1978. 64 с.
4. Тарасова В.В. Екологічна статистика : підручник. К.: Центр учбової літератури, 2008. 392 с.
5. Галік О.І., Рокочинський А.М., Олексюк Т.В., Савчук Т.В., Маринич А.І. Застосування непараметричних статистичних критеріїв оцінки однорідності рядів спостережень за сучасними локальними змінами температури повітря та опадів // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2011. №1. с. 96–99.
6. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки однорідності і стаціонарності гідрологічних рядів спостережень // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2014. Т.1(32). С. 22–31.
7. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
8. Холоденко В.С., Косяк Д.С. Часова структура річних сум, теплого та холодного періодів атмосферних опадів в межах Прип'ятсько-Волинської моренно-зандрової рівнини та Волинської денудаційної височини // Географія та туризм. 2015. Вип.32. С. 209–220.
9. Галік О.І., Будз О.П., Косяк Д.С., Холоденко В.С. Застосування гідролого-генетичних методів для характеристики змін атмосферних опадів в контексті оцінки ресурсів річкового стоку // Тези доповідей першого Всеукраїнського гідрометеорологічно-го з'їзду (з міжнародною участю), м. Одеса, 22-23 берез. 2017 р. Одеса, 2017. С. 114–115.
10. Методика визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок з метою збереження сталого функціонування їх екосистем / А. В. Яцик та ін. ; під наук. кер. А. В. Яцика, Київ : Оріяни, 2002. 48 с.
11. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. Москва : Финансы и статистика. 1982. Вып.1. 224 с.; Вып.2. 240 с.
12. Холоденко В.С., Холоденко А.О. Оцінка змін метеорологічних параметрів на метеостанції Рівне // Географія та туризм. 2022. Вип.69. С. 64–72.
13. Інформаційно-аналітичний огляд матеріалів «Хмельницька аес. техніко-економічне обґрунтування спорудження енергоблоків № 3, 4 URL : https://web.archive.org/web/20150526035014/http://energoatom.kiev.ua/files/file/information_rus.pdf

14. *Котін П.* Експерти вважають конструкції ХАЕС-3 придатними для будівництва. *Незалежне Інтернет-ЗМІ «Українська енергетика ua-energy.org»*. 2022. 10 січня. URL : <https://ua-energy.org/uk/posts/eksperty-vvazhaiut-konstruktsii-khaes-3-prydatnym-dlia-budivnytstva-kotin>

References

1. *Izrael Yu.A., Semyonov S.M., Anisimov O.A. i dr.* Chetvertii otsenochnyi doklad Mezhpriavitel'stvennoi gruppi ekspertov po izmeneniyu klimata : vklad rabochei gruppi II [Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change : Contribution of Working Group II] // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2007. №9. S. 5–13.
2. *Vodni resursy : vykorystannia, okhorona, vidtvorenna, upravlinnia : pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navch. zakladiv* [Water resources: use, protection, reproduction, management: a textbook for students of higher education. institutions] / *Yatsyk A.V., Hryshchenko Yu.M., Volkova L.A., Pasheniuk I.A.*. Kyiv : Heneza, 2007. 360 s.
3. *Tyurin Yu.N.* Neparametricheskie metody statistiki [Nonparametric methods of statistics]. M. : Znanie, 1978. 64 s.
4. *Tarasova V.V.* Ekologichna statystyka : pidruchnyk [Ecological statistics: a textbook]. Kyiv : Tsentr uchbovoi literatury, 2008. 392 s.
5. *Halik O.I., Rokochynskyi A.M., Oleksiuk T.V., Savchuk T.V., Marynych A.I.* Zastosuvannia neparametrychnykh statystychnykh kryteriiv otsinky odnorodnosti riadiv sposterezhen za suchasnymy lokalnymy zminamy temperatury povitria ta opadiv [Application of non-parametric statistical criteria for assessing the homogeneity of series of observations of modern local changes in air temperature and precipitation] // *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho aharnooho universytetu*. 2011. №1. S. 96–99.
6. *Horbachova L.O.* Metodychni pidkhody shchodo otsinky odnorodnosti i statsionarnosti hidrolohiichnykh riadiv sposterezhen [Methodical approaches to assessing the homogeneity and stationarity of hydrological series of observations] // *Hidrologiia, hidrokhimiia i hidroekologiia*. 2014. T.1(32). S. 22–31.
7. *Hrebin V.V.* Suchasnyi vodnyi rezhym richok Ukrainy (landshaftno-hidrolohiichniy analiz) [Modern water regime of rivers of Ukraine (landscape and hydrological analysis)]. Kyiv : Nika-Tsentr, 2010. 316 s.
8. *Kholodenko V.S., Kosiak D.S.* Chasova struktura richnykh sum, teploho ta kholodnoho periodiv atmosferychnykh opadiv v mezhakh Prypiatsko-Volynskoi morenno-zandrovoi rivnyny ta Volynskoi denudatsiinoi vysochyny [Temporal structure of annual sums, warm and cold periods of atmospheric precipitation within the boundaries of the Pripyat-Volyn moraine and sand plain and the Volyn denudation upland] // *Heohrafiia ta turizm*. 2015. Vyp.32. S. 209–220.
9. *Halik O.I., Budz O.P., Kosiak D.S., Kholodenko V.S.* Zastosuvannia hidroloho-henetychnykh metodiv dlia kharakterystyky zmin atmosferychnykh opadiv v konteksti otsinky resursiv richkovoho stoku [The application of hydrological and genetic methods for the characterization of changes in atmospheric precipitation in the context of the assessment of river runoff resources] / *Tezy dopovidei pershoho Vseukrainskoho hidrometeorologichno-ho zizdu (z mizhnarodnoiu uchastiu)*, Odesa, 22-23 berez. 2017 r. Odesa, 2017. S. 114–115.
10. *Metodyka vyznachennia ekologichno dopustymykh rivniv vidboru vody z richok z metoiu zberezhenia staloho funktsionuvannia yikh ekosystem* [Methodology for determining ecologically acceptable levels of water withdrawal from rivers in order to preserve the sustainable functioning of their ecosystems] / *A. V. Yatsyk ta in. ; pid nauk. ker. A. V. Yatsyka*, Kyiv : Oriiany, 2002. 48 s.
11. *Mosteller F., Tyuki Dzh.* Analiz daniikh i regressiya [Data analysis and regression]. Moskva : Finansy i statistika. 1982. Vip.1 224 s.; Vip. 2. 240 s.
12. *Kholodenko V.S., Kholodenko A.O.* Otsinka zmin meteorologichnykh parametriv na meteostantsii Rivne [Assessment of changes in meteorological parameters at the Rivne weather station] // *Heohrafiia ta turizm*. 2022. Vyp.69. S. 64–72.
13. *Informatsiino-analitychnyi ohliad materialiv «Khmelnyska aes. tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia sporudzhennia enerhoblokiv № 3, 4* URL : https://web.archive.org/web/20150526035014/http://energoatom.kiev.ua/files/file/information_rus.pdf
14. *Kotin P.* Eksperty vvazhaiut konstruktsii KhAES-3 prydatnymi dlia budivnytstva [Experts consider the structures of the KhAES-3 suitable for construction]. *Nezalezhne Internet-ZMI «Ukrainska enerhetyka ua-energy.org»*. 2022. 10 sichnia. URL : <https://ua-energy.org/uk/posts/eksperty-vvazhaiut-konstruktsii-khaes-3-prydatnym-dlia-budivnytstva-kotin>

Assessment of the uniformity of series of observations on the quantity of atmospheric precipitation and water levels on water bodies in the area of influence of the Khmelnytska NPP

Kholodenko V.S., Basyuk T.O., Budz O.P., Hopchak I.V., Kholodenko A.O.

The energy strategy of Ukraine until 2030 envisages the completion and commissioning of power units 3 and 4 at the Khmelnytskyi NPP. An important factor in the correct, uninterrupted operation of the Khao NPP is the availability of appropriate water resources and water levels that can be restored with the help of precipitation, as well

ISSN:2306-5680 **Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology. 2023. № 1 (67)**

as flow regulation. During the research period from 2019 to 2023, the cooling pond of Khao NPP was not recharged by pumping water from the Horyn River. The research methodology is based on the application of the hydrological-genetic and statistical method. The homogeneity of the series of observations according to statistical parametric and non-parametric criteria was determined; integrated total curves of water levels were constructed; graphs of surfaces are constructed; the precipitation unevenness coefficient was calculated. The possibility and expediency of applying statistical criteria to assess the significance of the presence of trends, which were revealed based on the data of observations of water levels and precipitation for the Horyn River near the village, is substantiated. Yampil and in the Khao NPP cooling pond. It was established that in most cases, the heterogeneity of the observation series can be influenced by anthropogenic factors, such as the regulation of the reservoir, the operation of reclamation systems, agricultural fields, overgrowth of the banks of the pond, siltation and waterlogging, floodplain meadows, and others. In cases of insignificant annual distribution of precipitation in the Yampil River and in the Khao NPP cooling pond, the latter does not have a significant impact on the distribution of water levels in them.

Keywords: statistical criteria; uniform numbers; river; precipitation; reservoir.

Надійшла до редколегії 15.02.2023