

УДК 556.332.52

**Галік О. І., к.с.-г.н., доцент, Бровко Г. І., ст. викладач**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Бровко А. С., аспірант** (Київський національний університет ім. Тараса Шевченка)

## **СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ КУЗНЕЦОВСЬКОГО КАРСТОЛОГІЧНОГО ПОЛІГОНУ**

**Застосовані різниці інтегральні криві для виявлення циклічних коливань глибин залягання підземних вод.**

**Ключові слова:** підземні води, різниця інтегральна крива.

Питання дослідження режиму підземних вод є актуальним при оцінках процесів вологообігу в контексті сучасних кліматичних змін.

На сьогодні в гідрогеологічній практиці достатньо широко застосовують статистичний аналіз для дослідження динаміки рівнів підземних вод з метою розробки прогнозів їх режимів відповідно до закономірностей режимоутворювальних чинників [1-3].

Оцінка процесів вологообігу при характеристиці сучасних кліматичних змін вимагає перевірити наявність багаторічних циклічних коливань в часових рядах рівнів підземних вод. На сьогодні це завдання намагаються вирішувати тільки шляхом встановлення ритмічності режимоутворювальних чинників і тому вважається, що багаторічні циклічні коливання рівнів підземних вод не мають чітко виявленої періодичності в часі.

Метою роботи є проведення статистичного аналізу часових рядів середніх за рік глибин залягання підземних вод на свердловинах, які охоплюють різні геологічні горизонти та знаходяться під різним впливом господарської діяльності, на предмет виявлення направлених змін та аперіодичних (циклічних) коливань безпосередньо за даними режимних спостережень за період з 1985 – 2011 рр.

У роботі були використані середні за рік глибини підземних вод, які отримані у вигляді середніх арифметичних значень з декадних вимірювань на Кузнецовському карстологічному полігоні. Досліджувана ділянка площею 116 км<sup>2</sup> знаходиться у північно-західній частині Рівненської області, північно-східна межа її обмежена річкою Рів, західна та південна – проходить по р. Стир.

Для статистичного аналізу використані дані режимних спостере-

жень по 16 свердловинах Кузнецовського карстологічного полігону Рівненської геологічної експедиції ПДРГП «Північгеологія», який складається із двох ділянок Кузнецовськ-1 та Кузнецовськ-2. Ділянка Кузнецовськ-1 розташована поряд із інфраструктурними об'єктами РАЕС, а ділянка Кузнецовськ-2 знаходиться в 1,5 км на північ. Ці ділянки знаходяться на окремих тектонічних блоках. На першій ділянці свердловинами 10 р-ч, 10 р, 20 р-ч, 20 р, 6 р, 18 р, 21 р, 25 р розкриті четвертинні відклади потужністю 4-9 м. Потужність верхньокрейдових відкладів складає 8-9,1 м. На ділянці Кузнецовськ-2 потужність четвертинних відкладів у свердловинах 1 р-ч, 1 р, 2 н-ч, 3 р-ч, 3 р, 14 р, 23 р-м, 68 н зростає до 9-17 м, а підошва верхньокрейдових утворень занурюється до глибини 13,1-33,3 м. Потужність крейди зростає від 10 до 24 м. Тільки у св. 23 р-м потужність крейдових відкладів складає 5,3 м та ще й ускладнена карстовою порожниною.

Дані про середні за рік глибини залягання підземних вод можна розглядати як часовий ряд, що складається з дискретних значень. В загальному випадку часовий ряд може характеризувати випадкові та не випадкові коливання глибин. Невипадкова складова може бути обумовлена наявністю однієї (або декількох) компонент. До них слід віднести: детермінаційну складову (її зазвичай оцінюють коефіцієнтом автокореляції); направлені зміни середнього значення в часі (тренд); аперіодичні (циклічні) коливання навколо середнього значення.

При оцінюванні детермінаційної складової найчастіше визначають загальні показники. До їх числа відносять характеристики центрів розподілу даних  $X_0$ , мінливості ( $C_v$ ), асиметрії ( $C_S$ ) та автокореляції  $r(1)$ . Значення  $r(1)$  дозволяє зробити висновок про зв'язність членів ряду між собою. Для незв'язних рядів коефіцієнт  $r(1)$  дорівнює нулю. Ряди із слабкими внутрішньо рядовими зв'язками мають  $r(1)$ , що зазвичай складає 0,2-0,4. Ряди вважають сильнозв'язними, коли  $r(1)$  дорівнюють 0,7-0,8.

Результати оцінки часових рядів середніх за рік глибин залягання підземних вод за загальними показниками наведені в табл. 1. Коефіцієнти варіації середніх за рік глибин залягання підземних вод ( $C_v$ ) є мірою оцінки коливання цих глибин за період спостережень відносно їх середнього багаторічного значення ( $C_v$ ). Результати, які наведені в табл. 1 відносно  $C_v$ , показують, що мінливість глибин залягання підземних вод є більшою на ділянці Кузнецовськ-1 в порівнянні із ділянкою Кузнецовськ-2.

Для свердловин ділянки Кузнецовськ-2 мінливість глибин залягання підземних вод фактично зменшується із зростанням глибини закладання свердловини. На свердловинах ділянки Кузнецовськ-1 такої за-

кономірності в розподілі  $C_v$  за глибиною свердловини не виявлено. Тут найбільші  $C_v$  характерні для свердловин із середньою глибиною закладання. Розподіл  $C_v$  як за відкладами, так і за глибинами свердловин говорить про можливі порушення природного режиму підземних вод на ділянці Кузнецовськ-1 внаслідок впливу господарської діяльності. Коефіцієнт асиметрії  $C_s$  характеризує несиметричність ряду досліджуваних величин  $X_i$  відносно їх середнього значення  $X_0$ . Результати розрахунків  $C_s$  (табл. 1) показують, що на ділянці Кузнецовськ-1 переважають ряди із від'ємною асиметрією, а на ділянці Кузнецовськ-2 переважають ряди із додатною асиметрією. Абсолютні значення  $C_s$  є більшими на ділянці Кузнецовськ-1, що може свідчити про можливі порушення режиму внаслідок господарської діяльності.

Таблиця 1

Загальні показники статистичної оцінки часових рядів середніх за рік глибин залягання підземних вод на ділянках Кузнецовського карстологічного полігону

№ свердловин	$X_{0,m}$	$C_v$	$C_s$	$r(1)$	$\alpha$	$ \alpha /\sigma_\alpha$
Кузнецовськ-1						
10 р-ч	2,26	0,162	-0,082	0,64	+0,040	0,43
20 р-ч	1,42	0,207	-0,120	0,85	+0,210	2,77
6 р	1,59	0,128	-0,017	0,70	+0,100	1,89
18 р	2,34	0,203	+0,033	0,64	+0,151	1,21
20 р	2,38	0,537	+0,069	0,83	-1,313	3,93
21 р	1,75	0,516	-0,275	0,49	-0,660	2,86
10 р	2,01	0,166	-0,045	0,46	+0,140	1,61
25 р	2,33	0,070	-0,003	0,59	-0,0003	0,007
Кузнецовськ-2						
1 р-ч	1,60	0,158	-0,015	0,48	+0,063	0,98
3 р-ч	1,98	0,122	-0,027	0,69	-0,074	1,18
2 н-ч	1,43	0,120	+0,077	0,65	-0,074	1,68
1 р	1,67	0,118	+0,004	0,47	-0,049	0,98
3 р	1,62	0,092	+0,005	0,47	-0,067	5,79
14 р	1,90	0,094	-0,007	0,30	-0,074	6,90
23 р-н	3,30	0,054	+0,002	0,65	-0,094	2,07
68 н	12,3	0,077	+0,000 6	0,72	-1,015	3,24

Також нами була перевірена статистична значущість  $C_S$ , тобто було доведено, що  $C_S$  вірогідно відрізняється від нуля. Показник вірогідності ( $t_A$ ) визначають за схемою Стьюдента, як відношення  $C_S$  до його стандартної похибки ( $m_A$ ). Асиметрія розподілу вважається доведеною, якщо  $t_A$  буде більшим за табличне значення критерію Стьюдента ( $t_{\text{табл}}$ ) при числі ступенів вільності  $v = N - 1$  та рівні значущості 0,05 або 0,01 (5% або 1%). В результаті такої перевірки було виявлено, що на ділянках та свердловинах, які були розглянуті, у всіх випадках  $t_A < t_{\text{табл}}$ . Таким чином, ряди середніх за рік глибин залягання підземних вод на Кузнецовському карстологічному полігоні є наближеними до нормального розподілу.

Результати, які наведені в табл. 1, відносно  $r(1)$  показують, що майже для усіх свердловин характерними є ряди середніх за рік глибин залягання підземних вод із достатньо тісними та дуже тісними зв'язками із суміжними членами ряду. В цілому наявність тісних внутрішніх рядних зв'язків є проявом різноманітних циклів [4].

Одним із основних методів вивчення направлених змін середнього значення є оцінка трендів середнього значення в часі. Найчастіше розглядають регресію даних спостережень на час і визначають коефіцієнт лінійного тренду ( $\alpha$ ) та похибку коефіцієнту лінійного тренду  $\sigma_\alpha$ .

Для оцінки статистичної значущості наявності тренду розглядають ймовірність нульової гіпотези, тобто ймовірність того, що  $\alpha = 0$ . В якості критичної умови, за якої нульова гіпотеза відхиляється часто використовують відношення,  $|\alpha|/\sigma_\alpha \geq 2$  [4].

Параметри лінійних трендів наведено в табл. 1. Вони вказують на різну направленість змін глибини залягання підземних вод. На ділянці Кузнецовськ-1 переважають додатні значення  $\alpha$ , що говорить про тенденцію на зростання глибини залягання підземних вод та зменшення їх рівнів. На ділянці Кузнецовськ-2 майже для всіх свердловин виявлені від'ємні значення  $\alpha$ , що свідчить про тенденцію на зменшення глибини залягання підземних вод та збільшення їх рівнів.

Абсолютні значення коефіцієнтів лінійних трендів  $\alpha$  більші на ділянці Кузнецовськ-1 в порівнянні із значеннями  $\alpha$  на ділянці Кузнецовськ-2. Абсолютні значення коефіцієнтів лінійних трендів  $\alpha$  є більші мінливими на ділянці Кузнецовськ-1. Усе викладене вище стосовно коефіцієнтів лінійних трендів  $\alpha$ , говорить про відносно більшу їх стабільність за знаками, за величиною та для відкладів різного віку на ділянці Кузнецовськ-2 в порівнянні із ділянкою Кузнецовськ-1.

Результати, які наведені в табл. 2 стосовно співвідношення  $|\alpha|/\sigma_\alpha$ , показують, що майже у 44% випадків, виявлені тренди є статистично значимими. При цьому кількість таких трендів на ділянці Кузнецовськ-2 є більшою, ніж на ділянці Кузнецовськ-1. Також, в цілому, абсолютні значення  $|\alpha|/\sigma_\alpha$  є більшими для свердловин на ділянці Кузнецовськ-2.

Наочну уяву про цикли коливання річних глибин підземних вод дають різницеві інтегральні криві, або сумарні криві відхилень річних значень глибин від середнього багаторічного їх значення за весь період спостережень. Такі криві будують у відносних величинах – у модульних коефіцієнтах, тобто  $K_i = X_i / X_0$ . Для цього послідовно підсумовують відхилення модульних коефіцієнтів хронологічного графіка глибин залягання підземних вод від їх середнього багаторічного значення, яке дорівнює одиниці, тобто знаходять  $[\Sigma(K_i - 1)]$ . Поточні ординати різницевої інтегральної кривої на закінчення року  $t$  від початку кривої визначають як за  $\Sigma(K_i - 1) = f(t)$ . Оскільки модульні коефіцієнти залежать від ступеня мінливості середніх за рік глибин залягання підземних вод, тобто від коефіцієнтів варіації  $C_v$ , то при співставленні багаторічних коливань глибин для різних свердловин виключають цей вплив і криві будують по ординатах  $[\Sigma(K_i - 1)] / C_v = f(t)$ . На рисунку показані суміщені різницеві інтегральні криві річних глибин залягання підземних вод.

Застосована різницева інтегральна крива має ряд властивостей. Відхилення середнього значення величини (в даному випадку модульного коефіцієнта) за будь-який інтервал часу із  $m$  років від середнього його значення за весь багаторічний період спостережень, яке дорівнює одиниці, характеризується тангенсом кута нахилу лінії, яка з'єднує точки початку та закінчення інтервалу, до горизонтальної прямої і визначається за співвідношенням

$$K_{cp} - 1 = (L_k - L_n) / m, \quad (1)$$

де  $L_k$  та  $L_n$  – відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої, для розглянутого відрізка часу;  $m$  – число років в цьому відрізку.

Зазначений відрізок, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил вверх і додатне значення величин  $K_{cp} - 1$ , відповідає фазі збільшення глибин залягання підземних вод. Період часу, для якого ділянка інтегральної кривої має нахил униз та від'ємне значення величин  $K_{cp} - 1$ , відповідає фазі зменшення глибин залягання підземних вод. Період часу, який включає фазу збільшення глибин із наступною фазою їх зменшення, відповідає повному циклу змін глибини залягання підзем-

них вод. Якщо за відрізок часу, який відповідає повному циклу, різниця ординат ( $L_k - L_n$ ) буде близькою до нуля, тобто  $K_{cp} - 1 = 0$ , то це означає, що середня глибина за цей період є близькою до її середнього багаторічного значення, тобто буде близько до  $X_0$ . На ділянці Кузнецовськ-1 цикли зміни глибин виділяються тільки для трьох свердловин із восьми. При цьому цикли не співпадають в часі між собою.

Для семи свердловин із восьми на ділянці Кузнецовськ-2 (табл. 2) можна виділити цикли зміни глибини залягання підземних вод. Для шести свердловин виявлено по два цикли зміни глибин. При цьому моменти початку, вершин та закінчення циклів майже співпадають. Перший цикл спостерігається від 1985 р. по 2000–2001 рр. (вершини співпадають з 1995–1997 рр.). Другий цикл можна виділити від 2001 – 2002 рр. по 2011 р. (вершини відповідають 2004–2005 рр.). На св. 68н виділяється один цикл від 1989 р. по 2011 р., при цьому пік припадає на 2001 р. Таким чином, багаторічні коливання середніх за рік глибин залягання підземних вод на свердловинах ділянки Кузнецовськ-2 можна визнати синфазними.

Також нами була проведена оцінка репрезентативності виділених циклів на ділянці Кузнецовськ-2. Зазначені цикли можна вважати показовими, якщо середні глибини для них будуть близькими до їх середнього багаторічного значення за увесь період спостережень. Це означає, що для виділених циклів величина  $K_{cp} - 1$  повинна бути близькою до  $K_{cp} - 1$  за увесь період спостережень.

150

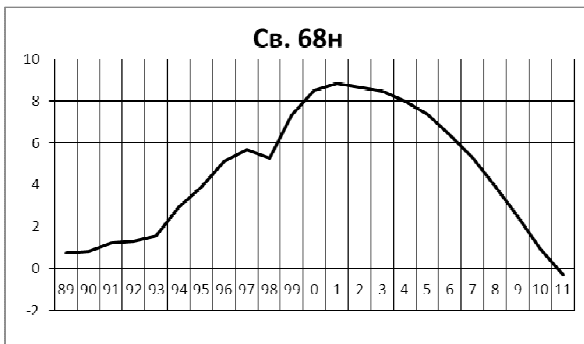
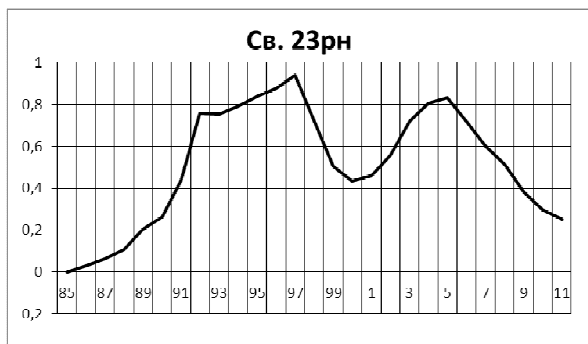
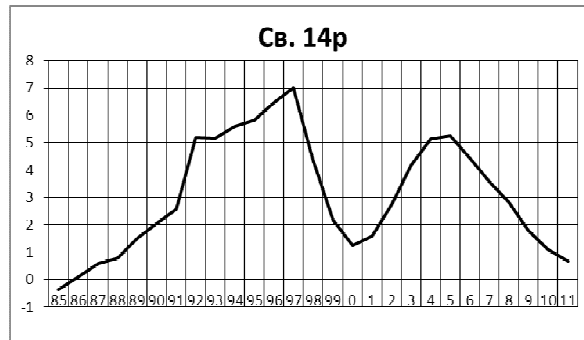
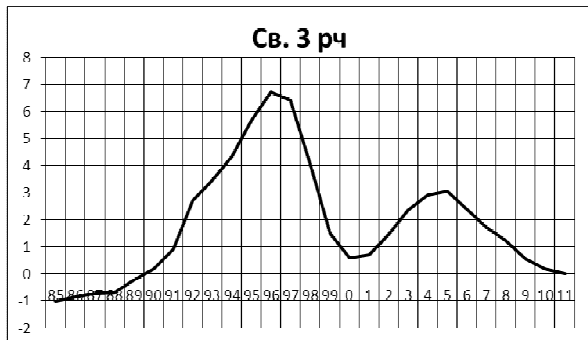


Рисунок. Різницеви інтегральні криві середніх за рік глибин залягання підземних вод у свердловинах ділянки Кузнецовськ-2 за період спостережень 1985 – 2011 рр.

Циклічність коливань середніх за рік глибин залягання підземних вод на ділянці Кузнецовськ -2

№ свердловин	Тривалість фаз	$K_{cp} - 1$ за фазу	Тривалість циклів	$K_{cp} - 1$ за цикл	$K_{cp} - 1$ за період спостережень
1 р-ч	1985 – 1992	+0,283	не виявлено		+0,087
	1993 – 2000	-0,582			
	2001 – 2011	+0,605			
3 р-ч	1985 – 1996	+0,476	1985 – 2000 2001– 2011	+0,100 -0,054	-0,037
	1997 – 2000	-1,531			
	2001 – 2005	+0,494			
	2006 – 2011	-0,511			
2 н-ч	1985 – 1996	+0,721	1985 – 2000 2001 – 2011	+0,224 -0,265	+0,043
	1997 – 2000	-0,687			
	2001 – 2005	+0,740			
	2006 – 2011	-0,695			
1 р	1985 – 1997	+0,499	1985 – 2000 2001– 2011	+0,065 -0,079	+0,055
	1998 – 2000	-1,870			
	2001 – 2005	+1,001			
	2006 – 2011	-0,688			
3 р	1985 – 1997	+0,505	1985 – 2000 2001– 2011	+0,146 -0,118	+0,038
	1998 – 2000	-1,415			
	2001 – 2005	+0,068			
	2006 – 2011	-0,981			
14 р	1985 – 1997	+0,567	1985 – 2000 2001 – 2011	+0,101 -0,052	+0,039
	1998 – 2000	-1,919			
	2001 – 2005	+0,802			
	2006 – 2011	-0,096			
23 р-н	1985 – 1997	+0,076	1985 – 2000 2001 – 2011	+0,027 -0,017	+0,009
	1998 – 2000	-0,168			
	2001– 2005	+0,079			
	2006 –2011	-0,096			
68 н	1989 – 2001	+0,623	1989 – 2011	-0,046	-0,046
	2002 – 2011	-0,915			

Для виявлених циклів (табл. 2) ці величини суттєво відрізняються. Таким чином, це може означати, що за увесь період спостережень ми, фактично, маємо справу із одним циклом, на який накладаються окремі фази збільшення та зменшення глибин залягання підземних вод. Для



переважної більшості свердловин ділянки Кузнецовськ-2 в циклі можна виділити фазу збільшення глибин, яка триває від 1984 або 1989 р. (початок спостережень) і по 1996 або 1997 р., тобто до моменту коли інтегральні криві мають найбільші ординати. Фаза зменшення глибин залягання підземних вод триває від 1997 або 1998 р. до сьогодні.

**За результатами проведених досліджень можна зробити висновки.**

1. Ділянки Кузнецовського карстологічного полігону знаходяться в різних геологічних умовах, що впливає на рівневий режим підземних вод. Вони розташовані на окремих блоках розділених тектонічним розломом. Ділянка Кузнецовськ-1 знаходиться під впливом господарської діяльності.

2. Мінливість середніх за рік глибин залягання підземних вод є більшою на ділянці Кузнецовськ-1. Мінливість зазначених глибин на ділянці Кузнецовськ-2 зменшується із зростанням глибини свердловин, при цьому такої залежності для ділянки Кузнецовськ-1 не виявлено. Для усіх ділянок асиметрія рядів середніх за рік глибин підземних вод фактично не відрізняється від нуля. Ряди зазначених глибин для усіх ділянок характеризуються тісними зв'язками між членами ряду.

3. На ділянці Кузнецовськ-1 переважають додатні коефіцієнти лінійних трендів, що говорить про тенденцію зростання глибин підземних вод за період спостережень. На ділянці Кузнецовськ-2 характерними є від'ємні коефіцієнти лінійних трендів, що свідчить про зменшення глибин за період спостережень. На ділянці Кузнецовськ-1 виділені тренди є статистично значимими в 38% випадків, в той же час на ділянці Кузнецовськ-2 вони значимі у 50 %.

4. На ділянці Кузнецовськ-1 циклічність зміни глибин залягання підземних вод не виявлена. На ділянці Кузнецовськ-2 циклічність виявлена для семи свердловин із восьми, при цьому цикли можна визнати синфазними. Для них, в цілому, характерною є фаза зростання глибин (із середини 80-х років по 1996–1997 рр. включно) та наступна фаза їх зменшення, яка триває до сьогодні.

**1.** Давибіда Л. І. Закономірності динаміки рівнів підземних вод і чинників їх формування у межах території Дніпропетровської області / Л. І. Давибіда, Е. Д. Кузьменко // Lviv Politechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua>, Геодинаміка. – 2011. – № 1(10) – С. 83-93. **2.** Рубан С. А. Прогнозування режимів підземних вод / С. А. Рубан // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2006. – № 1. – С. 72-84. **3.** Рубан С. А. Методичні основи дослідження режимів підземних вод в Україні / С. А. Рубан // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2006. – № 1. – С. 56-71. **4.** Мелешко П. В. Насколько наблюдаемое потепление климата России согласуется с расчетами по объединенным моделям общей циркуляции атмосферы и океана / Мелешко П. В., Мирвис В. М., Говоркова В. А. // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 10. – С. 5-19.

Рецензент: д.г.н., професор Мельничук В. Г. (НУВГП)