ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.166:551.583
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.08

О. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail:shevch62@gmail.com;
Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України,
просп. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна;
А. Скорбун, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: anskorbun@gmail.com;
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України,
вул. Кірова, 36а, м. Чорнобиль, Київська обл., 07270, Україна;
В. Осадчий, д-р геогр. наук, чл.-кор.,
E-mail: uhmi@uhmi.org.ua;
Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України,
пр. Науки, 37, м.Київ, 03028, Україна;
Д. Чарний, д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: dmitriych10@gmail.com;
ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАНУ",
просп. Акад. Палладіна, 34-А, м. Київ-142, 03680, Україна

МІНЛИВІ РИТМИ В РЕЖИМІ ҐРУНТОВИХ ВОД ТА ЇХНІЙ ЗВ'ЯЗОК З КЛІМАТИЧНИМИ ЧИННИКАМИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

У зв'язку з аномальними змінами в режимі ґрунтових вод за останні 5 років постало питання про адекватність та ефективність існуючих методів прогнозування їхнього рівня. Проаналізовано дані моніторингових спостережень з 1951 р. у верхній частині басейну річки Південний Буг. Методом скінчених різниць розраховано питомий підземний стік до річки у створі м. Хмільник. Встановлено, що наприкінці 80-х років минулого сторіччя почала проявлятись 7–8-річна циклічність в коливаннях рівня ґрунтових вод (РГВ) та підземного стоку. Вона добре корелює із циклічністю температури приземного шару повітря, та меншою мірою – із циклами місячної суми атмосферних опадів. Натомість зовсім не характерні подібні ритми для сонячної активності, для якої властиві 11-річні та 5–6-річні цикли. Саме на зв'язку із ними ґрунтується геліосиноптичний метод довгострокового прогнозування РГВ. Вірогідно, що температурні зміни, які відбуваються на Землі, здатні порушувати закономірну "сонячно зумовлену" циклічність показників режиму ґрунтових вод, тому цей метод прогнозування перестає бути ефективним. Оскільки чіткий зв'язок між температурними змінами та сонячною активністю не простежується, найбільш вірогідно, що температурні зміни спричинені діяльністю людини. З 2013–2015 рр., що започатковують на досліджуваній території маловодний цикл для ґрунтових вод, спостерігаються часті аномальні мінімуми в режимі РГВ та трансформація циклів у бік зменшення (до 5–6 років), що може свідчити про кардинальні зміни в характері живлення ґрунтових вод і відновленні їх запасів. Відхилення від 8-річних циклів та різниця у їх тривалості на різних ділянках одного водозбірного басейну пов'язані передусім з різницею у РГВ.

Як основний метод виділення циклічності застосовано вейвлет-аналіз. За допомогою множинного кореляційного аналізу встановлено, що за останні десятиріччя температура вийшла на домінуючу позицію за впливом на режим ґрунтових вод (за їх рівнів від 1,5 до 4,0 м). У підсумку відмічено, що виявлені 7–8-річні цикли добре простежуються під час відносно багатоводного періоду, спричиненого збільшенням інфільтраційного живлення ґрунтових вод внаслідок почастішання зимових відлиг (один із достовірних проявів глобального потепління), а 5–6-річні цикли кореспондуються з маловодними періодами.

Ключові слова: циклічність, рівні ґрунтових вод, підземний стік до річки, вейвлет-аналіз, режим, температура, сонячна активність, опади, спостереження, Південний Буг, чинники.

Вступ. У гідродинамічному режимі об'єктів континентальної гідросфери спостерігається багато циклів різної тривалості. Ритми в динаміці рівнів поверхневих і ґрунтових вод (РГВ) одним із перших описав Н.С. Токарєв (*Токарев, 1951*). Він помітив тривалі або довгі – 78–80-річні, середні – 11-річні та короткі (1,2–3 роки) ритми та пов'язав їх із сонячною активністю. Зв'язок окремих циклів у режимі РГВ із змінами активності Сонця та гравітаційного впливу Місяця, особливо у фази його максимального наближення до Землі, є достатньо обґрунтованим. Гравітаційний та енергетичний вплив Сонця на земну атмосферу та поверхню Землі великою мірою трансформується та проявляється у синоптико-кліматичних процесах та гідролого-гідрогеологічних явищах із значним зсувом у часі (*Ейгенсон, 1957*). У свою чергу, типи атмосферних циркуляцій, що визначають різний ступінь зволоження території (антициклональний тип – вологий літній період та багатосніжна зима; циклональний – навпаки), є однією з форм прояву на Землі впливу сонячної активності. Д.М. Кац для зрошуваних регіонів виділив ритмічні коливання природних РГВ, які відповідають змінам клімату, що відбуваються з періодичністю від 20 до 35 та від 10 до 14 років, із середнім значенням (для останнього випадку) в 11 років (*Кац, 1960*). За багаторічними спостереженнями у Ленінградській області СРСР було виділено цикли у 3–4, 5–6, 8–14 (в середньому 12) та 26–31 років (*Зальцберг, 1961*). Тривалість виділених Вільямсом (*Williams, 1961*) ритмів для опадів, температури та мінливості стоку для значної частини території світу в багатьох випадках співпала із 10,5-річними (21-річними) циклами Хейла і 88-річними циклами сонячної активності Глиссберга. Ще один цикл, встановлений за гідрологічними та кліматичними даними, – місячний і сонячний припливно-періодовий триває 18,6 років. Цей період разом із сонячними циклами детально проаналізований Currie (*Currie, 1996*). Інші вчені (*Esper et al., 2002; Liritzis and Fairbridge, 2003)* також показали, що багаторічні цикли температури повітря та інших кліматичних показників, імовірно, мають своє походження в русі Землі у космосі.

Стало очевидним, що багаторічні цикли значної тривалості (≥ 200 років) мають переважно космічне походження та достатньо незалежні і стійкі. З іншого боку, для менш тривалих ритмів помічено, що чим менша їх частота, тим менше чинників впливає на циклічність і тим чіткіше простежується її залежність від певного чинника. Відповідно, чим триваліший цикл, тим більше чинників на нього впливає; крім того, в різний час на домінуючі позиції виходять різні чинники, що робить ци-

© Шевченко О., Скорбун А., Осадчий В., Чарний Д., 2021

клічність невитриманою. Так, добові коливання неглибоких РГВ можуть бути спричинені кількома факторами, серед яких виділяють: чергування процесів заморожування та розморожування (*Gribovszki et al., 2006*); опади після полудня в тропіках; зміни гідравлічної провідності руслового потоку, спричинені коливаннями температури – для прирічкових ділянок; зміни знаку та величини заряду електромагнітного поля ґрунтового покриву під впливом зовнішніх електричних сил, що в першу чергу впливають на напрямок руху пароподібної вологи (*Бублясь та ін., 2008*), зміни атмосферного тиску та ін. У різних кліматичних зонах і ландшафтах пріоритет мають різні чинники (*Gribovszki et al., 2010; Ковалевский, 1973; Вольфцун, 1972; Коноплянцев и Семенов, 1979; Лебедев, 1980*). Так, у помірному кліматі одним з найважливіших чинників, що спричинюють щоденні коливання, є споживання води рослинністю (*Gribovszki et al., 2010*). У районах та на глибинах поширення скельних і напівскельних порід зміна ритмів стискання – розтягування добре фіксується за ступенем розкриття тріщин (*Шестопалов и Бублясь, 2016*), що позначається на коливаннях рівнів підземних вод. Ці коливання, як і деформаційні ритми, мають періодичність в один рік (*Рудаков,1993*) та спільний чинник – зміну швидкості обертання Землі.

Отже, прояви змін клімату та їхнього впливу на режим ґрунтових вод доцільно шукати у змінах циклічності температури та атмосферних опадів, пов'язаних із змінами сонячної активності.

На використанні зв'язків між сонячною активністю і атмосферною циркуляцією, з одного боку, та змінами РГВ – з іншого, було побудовано *геліосиноптичний метод* довгострокового прогнозування РГВ (*Коноплянцев и Семенов, 1979*). У його основі лежать вікова мінливість сонячної активності, яка складається з парного поєднання 11- та 22-річних циклів, та міжциклові закономірності їх послідовних змін (*Коноплянцев и Семенов, 1979; Шинкаревский, 1973*). Проте наші дослідження вказують на те, що встановлені до початку 2000-х років закономірності вже не витримуються і цей метод потребує істотного корегування, так само як і прогнозування природного режиму РГВ на основі *геоінформаційного підходу*, що п ередбачає виділення *зон однорідного режиму* за багаторічними закономірностями (*Давибіда, 2014*).

Сучасне підвищення температури повітря в Україні має поки що незмінно наростаючий характер і, відповідно до реконструкції кількості сонячних плям (*Solanki,2004*), рівень активності Сонця протягом останніх 70 років є винятковим (подібний період високої активності відбувся понад 8000 років тому).

Більшість спостережень попередніх років вказують на існування *оберненої залежності ритмічних коливань РГВ від активності Сонця*. Така залежність простежується приблизно з 1930 р. Найвищу сонячну активність за числами Вольфа (201,3) за увесь час телескопічних спостережень мав 19-й цикл 1954–1964 рр., якому відповідали мінімальні положення РГВ (*Коноплянцев, Семенов, 1979*). До останнього часу також спостерігалась здебільшого обернена залежність РГВ від активності Сонця. У 2014–2015 рр. ця залежність дещо змістилась, що помічено нами під час аналізу даних багаторічних гідрогеологічних спостережень по свердловинах державної моніторингової мережі у верхній частині басейну р. Півд. Буг: Сонце було найбільш активним у квітні 2014 р. (пік відповідав у середньому 82 сонячним плямам), проте РГВ були найвищими за період спостережень (з 1950 р.) завдяки значній кількості опадів у попередньому році (743,7 мм) та в січні 2014 р. (40 мм); а зниження РГВ у 2015–2016 рр. відбувались вже у фазі зменшення сонячної активності. 24-й сонячний цикл, перебуваючи у стані рецесії із серпня 2019 до вересня 2020 р. (рис. 1), досяг свого мінімума 15 вересня 2020 р., а період, коли Сонце було найменш активним (за згладженим числом сонячних плям – 1,8) стався в грудні 2019 р. (*Hello Solar Cycle, 2020*). Всупереч очікуваному підвищенню РГВ, як його закономірної реакції на зниження сонячної активності, 2019 р. та зима 2019–2020 рр. відзначились зниженням РГВ на 0,5–0,8 м нижче середньобагаторічної норми внаслідок дуже низької кількості опадів (забезпеченість по країні здебільшого в межах 40–70 % від річної норми) (*Стан…, 2020*). До початку жовтня 2020 р. відновлення РГВ до середньобагаторічної норми на значній території так і не відбулось, що узгоджується із свідченнями про довшу тривалість періоду низьких РГВ (гідрогеологічна посуха) порівняно з метеорологічною посухою (*Hsin-Fu and Hsin-Li, 2019*). Порушення залежності РГВ від сонячної активності може свідчити про порушення закономірної підпорядкованості гідрогеологічних процесів глобальним космічним факторам, що можливо відбувається внаслідок *докорінних змін* у характері живлення (відновлення запасів) ґрунтових вод, спричинених техногенезом та глобальними змінами клімату.

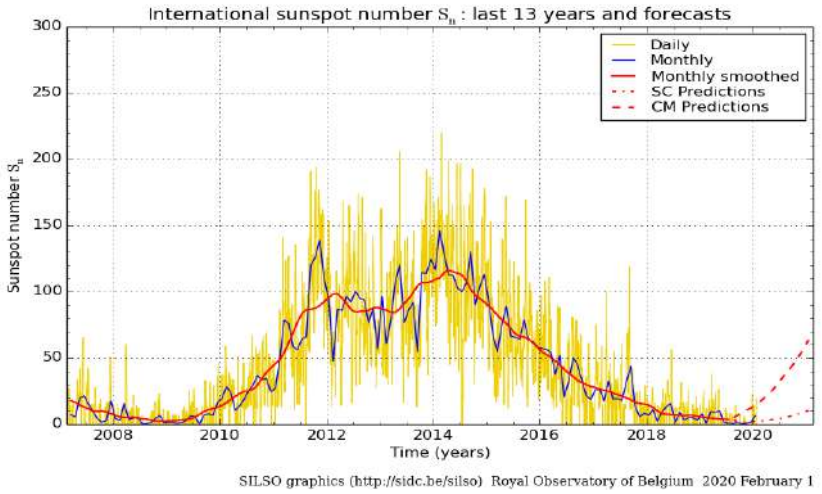

Рис. 1. Зміни сонячної активності під час 24-го сонячного циклу, що закінчився у вересні 2020 р. (*Hello Solar Cycle 25, 2020*)

Отже, з аналізу існуючих даних можна припустити, що глобальне потепління (або певні першопричини чи пов'язані із ним процеси) могло змінити усталену закономірну циклічність показників режиму ґрунтових вод, а вплив місцевих чинників на режим ґрунтових вод з часом нівелюється, оскільки зниження РГВ відбуваються по всій території України та за її межами незалежно від початкових рівнів, ландшафтної належності, сейсмічної активності тощо. Проявляються невластиві певним кліматичним зонам України аномальні зниження РГВ, що може свідчити про зміщення або розширення аридної зони на північ. У зв'язку із цим можуть порушитися статистично обґрунтовані попередніми багаторічними спостереженнями зв'язки між показниками режиму ґрунтових вод та незалежними чинниками, що істотно зменшує точність прогнозування РГВ.

Тому ми поставили за **мету** визначити притаманні режиму ґрунтових вод сучасні види циклічності, встановити їх витриманість, підпорядкованість та узгодженість із циклічністю режимоформувальних чинників, а саме: температури, опадів, витрат найближчої річки; а також порівняти встановлені ритми із циклічністю сонячної активності та виділити сучасні тренди змін підземного стоку та режимоформувальних чинників.

Методи досліджень. Для визначення обсягів питомого стоку ґрунтових вод до річок застосовано чисельний гідродинамічний метод на основі скінченно-різницевого рівняння (*Вольфцун, 1972*). Основним методом виділення циклічності в рядах даних багаторічних спостережень за РГВ та режимоформувальних чинників нами обрано вейвлет-аналіз, як один із досконалих сучасних статистичних методів (*Grossmann and Morlet, 1984, Hsin-Fu and Hsin-Li, 2019*). Для порівняння та верифікації результатів застосовувався метод швидкісних перетворень Фур'є, а також множинний кореляційний аналіз (*Дубнов, 2004*).

Результати досліджень. Циклічність РГВ та стоку ґрунтових вод до річки. Для виявлення циклічності у коливаннях рівнів та витрат стоку ґрунтових вод ми обрали ряди одних з найбільш тривалих (з 1951 р.), майже безперервних спостережень за РГВ на території України по свердловинах на ґрунтові води у непорушених умовах у басейні р. Півд. Буг (Вінницька область).

Спочатку для виділення одноманітних періодів в режимі РГВ та переламних років, що можуть кореспондуватись із істотними метеорологічними змінами, було побудовано різницеві інтегральні криві. На них добре виділяються два тривалих етапи – зниження та підйому (рис. 2). Переламна точка (екстремум), що розділяє ці два етапи для РГВ по свердловині № 5-5 (середньобагаторічне значення РГВ 3,65 м від поверхні) припадає на **1989 р.** (рис. 2). Для свердловини № 5-3 (РГВ = 1,76 м) можна виділити й третій етап, що також виділяється з 1989 р. за помітним переламом кривої підйому.

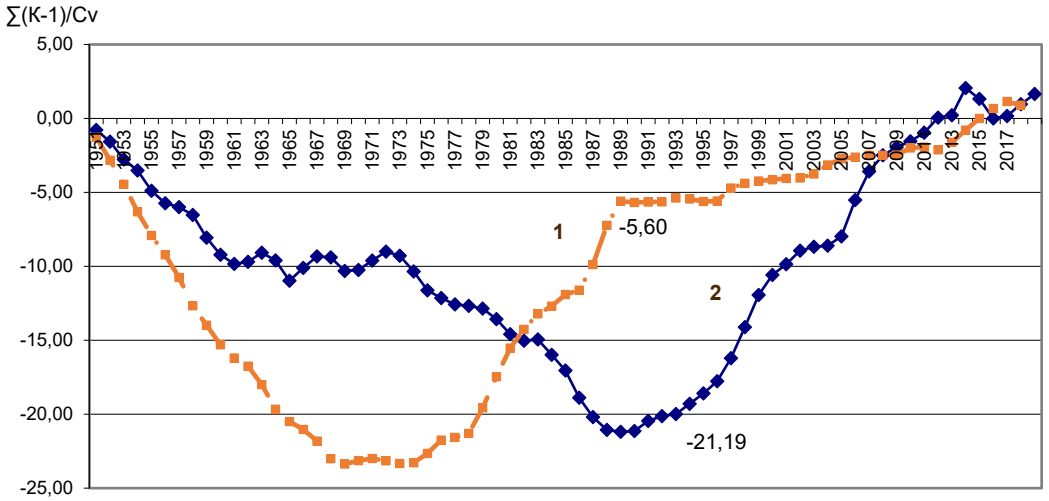

Рис. 2. Різницеві інтегральні криві по РГВ у свердловинах № 5-3 (1) і 5-5 (2) у м. Хмільник Вінницької області на період 1951–2019 рр.

На форму інтегральної кривої найбільше має впливати *характер багаторічних змін рівнів* і передусім інтенсивність та *тривалість основних та другорядних циклів* коливань рівня (*Коноплянцев и Семенов, 1979*). Оскільки свердловини № 5–5 і № 5–3 перебувають на різних гіпсометричних рівнях (друга свердловина нижче), на різній віддаленості від річки (перша, на лівому березі, – далі; друга на острові, на 50 м ближче), мають істотно різний середньобагаторічний РГВ (відповідно 3,65 і 1,76 м) тобто очевидно мають різний тип режиму, а отже і різні домінуючі режимоформувальні чинники, то і характер інтегральних кривих у них відрізняється (рис. 2). Вважається, що для РГВ 1,5–2,0 м провідним режимоформувальним чинником є температура повітря, а для глибин 3,0–4,5 м – атмосферні опади (*Коноплянцев и Семенов, 1979*).

Якщо звернутись до хронологічного графіку РГВ по свердловині № 5–5 (рис. 3), то побачимо, що простежується витримана повторюваність маловодних років 82–99 % забезпеченості. Вона вкладається у достатньо чіткі 5–6- та 10–11-річні цикли, які узгоджуються із циклами сонячної активності. Проте такі цикли РГВ стають невиразними після 1986 р. (*Шевченко та ін., 2019; Shevchenko et al., 2020*).

Період високих РГВ, що почався для водоносного горизонту у верхньочетвертинних і сучасних алювіальних відкладах (св. № 5–5) після 1989 р. (рис. 3) добре кореспондується з першим переходом у цьому році середньомісячних температур лютого (Метеостанції "Гайсин" і "Любашівка") до позитивних значень і відносно стабільним утриманням середніх температур цього місяця вище –4,5 ˚С (*Осадчий та ін., 2013; Шакірзанова та Казакова, 2015*), а також абсолютним багаторічним максимумом температури повітря саме в грудні 1989 р. (*Осадчий та ін., 2013)*. Загалом **1989 р.** визнано роком "початку значущих змін клімату в Україні" (*Осадчий та ін., 2013; Степаненко та ін., 2015*). Очевидно, що саме зимові відлиги, які різко почастішали з 1989 р., призвели до збільшення інфільтраційного живлення, підйому РГВ (*Шевченко та ін., 2019; Diffenbaugh et al., 2013; Shevchenko et al., 2020)* і масштабних підтоплень території України.

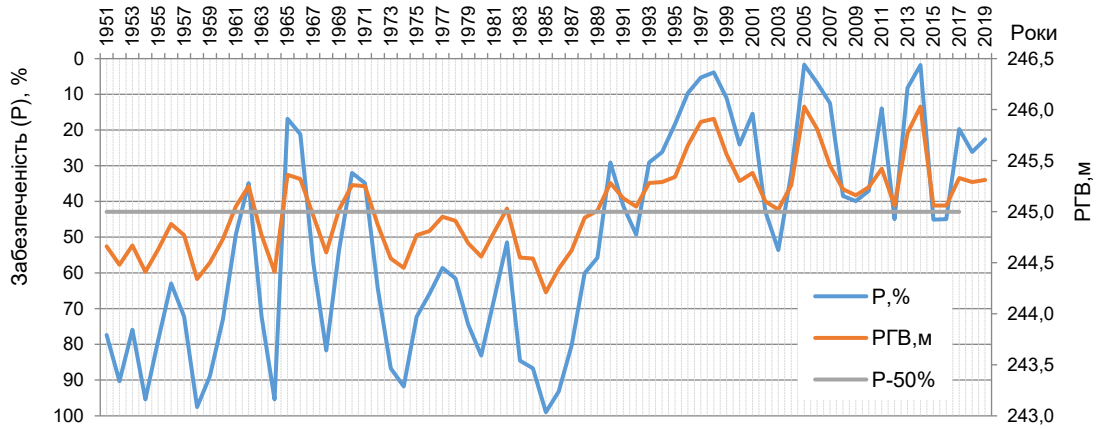

Рис. 3. Хронологічні графіки рівня ґрунтових вод (РГВ, м) до 2019 р. та їх забезпеченості (Р, %) порівняно з рівнем 50 % забезпеченості для свердловини № 5–5, м. Хмільник Вінницької області, басейн р. Півд. Буг

Для виділення часу виникнення, тривалості та зв'язків між різними циклічностями було застосовано метод вейвлет-аналізу. За середньомісячними даними нами виявлено 7–8-річну циклічність коливань РГВ для всіх спостережних свердловин з непорушеним або слабопорушеним режимом у верхній частині басейну р. Півд. Буг. Зокрема, для свердловини № 5–5 (м. Хмільник) така циклічність найбільш чітко простежується приблизно з **1989 р.** (рис. 4). При цьому дуже *невиразною* стає *10,6-річна циклічність*, яка проявилась лише на час маловодного періоду 1972–1988 рр. (рис. 3), що майже збігся із 21-м сонячним циклом (1976–1986 рр.). Приблизно до цього ж часу добре проявляється 30–32-річна циклічність (другий невеликий пік знизу на графіку праворуч рис. 4), яка потім майже зникає. Після 2011 р. 7,8-річна циклічність порушується, що можна пов'язати з реакцією режиму РГВ на початок маловодного періоду (на рис. 2 – наближення та перехід через "0"). Вказані роки (як і 1989 р.) можна визнати поворотними, від яких починаються нові етапи в режимі ґрунтових вод, пов'язані із змінами умов їх живлення. На спектрограмі вище ряду 7–8-річних циклів, позначеного більшою стрілкою, також помітний ряд малих плям (навпроти меншої синьої стрілки), що означає наявність 5,5-річного ритму в коливаннях РГВ. Він добре витримувався під час вже згадуваного 19 циклу сонячної активності, проте в період з 1970 по 1986 рр. плавно переходить у 7–8-річні цикли. Тобто, якщо розглядати всі три типи циклічності у взаємодії, то в означений період відбулось "злиття" 5–6-річної та 11-річної циклічностей у 8-річну.

На спектрограмі РГВ (1,5–2,0 м від поверхні) по свердловині 5–3 (рис. 5), що знаходиться на острові посеред р. Півд. Буг у м. Хмільник, від початку спостережень у 1951 р. також виділяються ритми в середньому по 5±0,6 років, а ритми у 8,1±1,0 років починають простежуватись раніше, приблизно з **1975** р. Майже з цього ж року для даної ділянки розпочався тривалий етап високих РГВ (рис. 6). Отже, слід шукати певні метеорологічні події, що відбулись за цей рік і призвели до зміни циклічності РГВ та їх підвищення. Згідно з (*Осадчий та ін., 2013*) 1974 р. на заході країни відзначався абсолютним багаторічним максимумом температури повітря у березні місяці а 1976 – у грудні, у **1975** р. зафіксовано *одне з найбільших додатних відхилень середнього максимума температури січня* (5,2 °С) (*Осадчий та ін., 2013*). Цілком вірогідно, що саме ці події, які добре узгоджуються із концепцією глобального потепління, призвели до кардинальних змін у режимі неглибоких (РГВ = 1,0…2,0 м) ґрунтових вод та започаткували для них період високої водності.

Перед тим як плями 8-річної циклічності стають найбільш яскравими (початок 80-х років – у центрі спектрограми на рис. 5), 5–6-річні цикли, які простежуються у вигляді горизонтального ряду плям посередині між позначками 16 та 64 (вісь ординат), навпаки стають невиразними. Вірогідно, що "*нова" 7–8-річна ритмічність спричинена навіть більш впливовим глобальним чинником, ніж сонячна активність.* Проте після 2004 р. (503 місяць на осі абсцис) і ці ритми стають дуже нечіткими.

З наведеного вище випливає, що найбільш чітка 5–6-річна циклічність характерна для тривалих періодів переважно низьких РГВ, а *7–8-річна* – краще проявляється під час *періодів високих рівнів*. Врахування цього дозволяє підвищити точність прогнозування РГВ.

На водозборах малих приток р. Півд. Буг для ґрунтових вод також характерні близькі до 7-річного цикли із несуттєво меншою тривалістю. Так у басейні р. Соб (м. Липовець) для РГВ (3,0–6,0 м) від початку спостережень у 1988 р. по свердловинах державної мережі гідрогеологічного моніторингу встановлені цикли 6,9±0,3 роки, проте у 2013 р. вони зникають. Достатньо чіткий цикл у 2,2 роки зникає вже після 1997 р., ще менш тривалим є цикл у 3,9 років, проте добре проявляється ритм у 26 років. Для РГВ (0,4–1,8 м) у верхів'ях зарегульованої р. Згар (с. Городище) більш-менш чітко проявляється лише циклічність у 7 років (спостереження почались у 1986 р.).

Здавалося б, що постійні та спільні для всієї водної оболонки Землі космічні об'єкти та геофізичні процеси повинні формувати якщо не синхронні цикли, то хоча б ритми з однаковою повторюваністю. Проте виявляється, що достатньо витриманої повторюваності (циклічності) у змінах показників режиму немає. Спостерігаються не лише ритми різної періодичності для одного водного об'єкта, скажімо першого від поверхні водоносного горизонту (ґрунтових вод), а й тимчасові зникнення певних ритмів, поява інших циклів та різна ритмічність для однакових але віддалених об'єктів. Останнє може бути зумовлене значним впливом ландшафтних відмінностей, у т. ч. умов дренованості, на формування режиму ґрунтових вод та інфільтраційного живлення зокрема (*Лебедев, 1980; Гриневский и Маслов, 2010*). Наприклад відомо, що навіть за меншого надходження літньо-осінніх опадів на поверхню ґрунту в лісі (70 % від запасів на відкритому полі чи луках), тут глибина зволоження ґрунту та інфільтраційне живлення ґрунтових вод істотно більші, ніж на полі (*Гриневский и Маслов, 2010*). На полях інфільтраційне живлення в літній період практично відсутнє. Те, що понад 70 % території нашої держави займають відкриті ґрунти сільгоспугідь, робить її природні водні ресурси дуже вразливими до виснаження в умовах зменшення кількості опадів та підвищення температури.

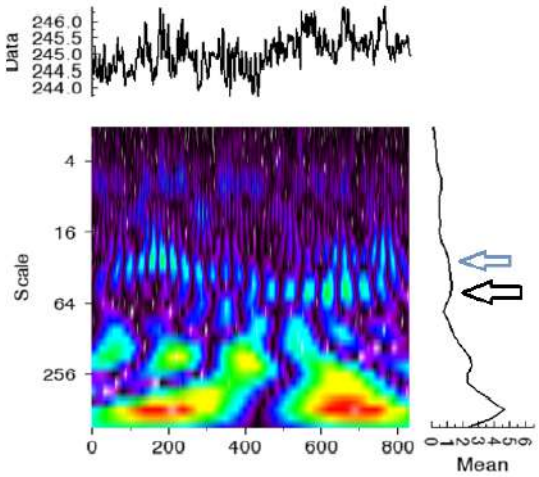

Рис. 4. Вгорі – хронологічний ряд середньомісячних значень РГВ (в абсолютних відмітках БС) у свердловині № 5–5 (м. Хмільник, лівобережжя р. Півд. Буг) за 1950–2020 рр.
Під ним – двовимірна спектрограма його вейвлет-розкладу. По горизонталі – місяць від початку спостережень. По вертикалі – напівперіод в одиницях горизонтальної осі. Стрілками показано ряди плям, для яких можна достатньо надійно визначити період

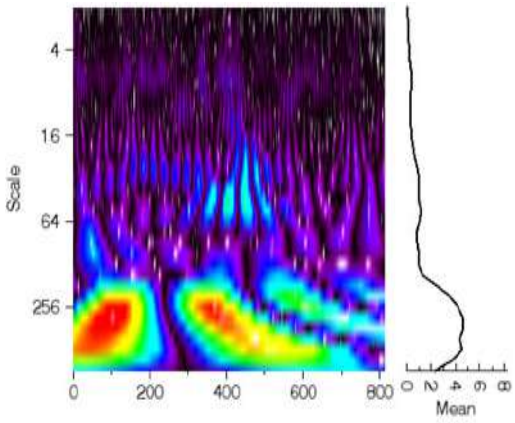

Рис. 5. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу даних багаторічних (1951–2018 рр.) спостережень за РГВ у свердловині № 5–3 (м. Хмільник, острівна ділянка)

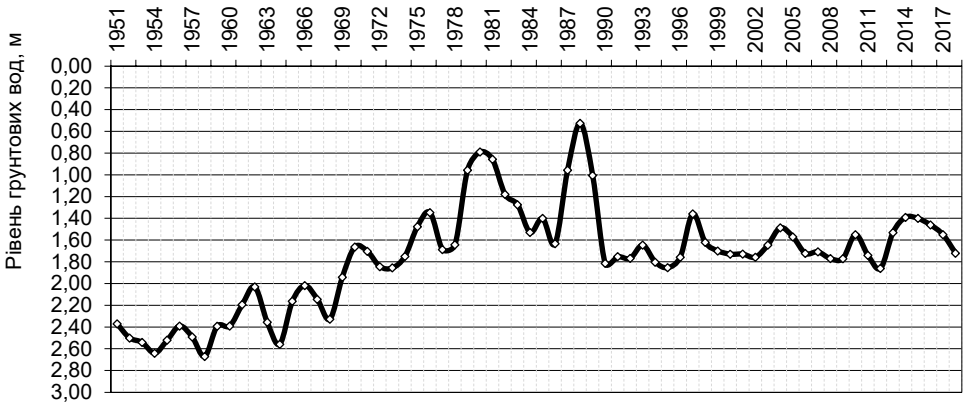

Рис. 6. Динаміка середньорічних РГВ (водоносний горизонт у голоценових алювіальних відкладах) по свердловині № 5–3 в басейні р. Півд. Буг, м. Хмільник. Помітний вихід на вищі відмітки у 1975 р. та зміна тренду (стає горизонтальним після тривалого зростання) з 1989 р.

Слід відзначити, що в історії режимних спостережень за РГВ 6–8-річні цикли вже виділялись, зокрема при обробці даних коливань температури, опадів, мінімального стоку р. Дон та РГВ на 1 вересня кожного року у Кам'яному Степу (Воронезька обл. РФ) (*Коробейников, 1965*). Окрім семирічних проявлялись також й інші цикли, проте найбільш чіткими були 11- та 7-річні. Семирічні стійкі цикли доволі чітко проявляються також для стоку річок Дністра та Пруту поряд із 5- та 29-річними (*Лукьянец и Каминская, 2015*).

Випадки "зникнення" 11-річної циклічності в динаміці різних гідрометеорологічних явищ також вже траплялися (зокрема, для рівнів оз. Вікторія та Каспійського моря), що М.С. Ейгенсон (*Эйгенсон, 1957*) пояснював "приховуванням" їх більш чіткими 5–6-річними циклами. Важливо відмітити, що у так званий перехідний період (2008–2009 рр.) також виявлено *порушення в синхронних змінах 11-річного циклу Сонячної активності* та глобальної температури, які спостерігались включно до 1998 р. (*Лаба та ін., 2013*).

Є підстави вважати, що за останні десятиріччя відбулись глибокі, *докорінні зміни режиму ґрунтових вод*, що практично повністю робить непридатними статистичні моделі прогнозування РГВ, побудовані на закономірностях, встановлених за даними спостережень минулого сторіччя. Це підтверджує оцінка порушень статистичної стійкості коливань РГВ. Виконаний нами *аналіз ступеня гіпервипадковості* щодобових вимірювань РГВ у свердловинах даного басейну за період 1980–2020 рр. допоміг виявити часовий перехід від випадкових змін режиму РГВ до *гіпервипадкових*, який припадає приблизно на 1990–1993 рр. Це означає, що стохастичні моделі, за допомогою яких можна було описувати коливання РГВ протягом десятків років до цього, після 1993 р. стали непридатними.

Семи-восьмирічні цикли добре помітні й на графіку *витрат ґрунтового стоку до річки* Півд. Буг (рис. 7), які було розраховано чисельним методом за даними гідрогеологічних та гідрометричних спостережень. На хронологічному графіку також помітно два періоди за характером змін підземного притоку до річки: 1) монотонного та стрімкого зростання (1980–1998 рр.); 2) врівноваження загальної тенденції, проте з наявними різкими екстремумами – найвищими максимумами та достатньо глибокими мінімумами (1999–2019 рр.). Повторюваність максимумів – 8–9 років (наступний максимум можна очікувати приблизно у 2023 р.).

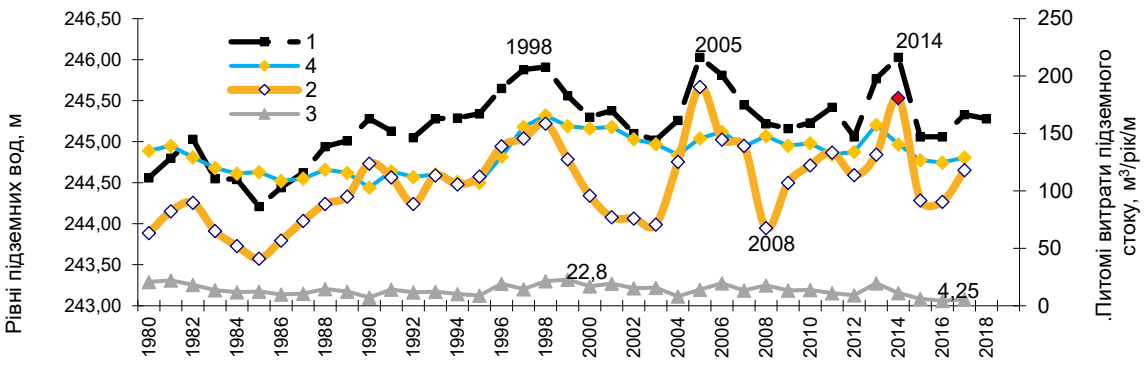

Рис. 7. Хронологічні графіки змін показників режиму ґрунтових вод (1 – РГВ св. 5–5, м абс. відм. БС; 2 – питомий стік до річки, м. Хмільник, м³/рік/м) за період максимальних проявів глобального потепління у співставленні з показниками режиму поверхневого стоку (3 – середньорічний стік р. Півд. Буг, пост "Лелітка", м³/с; 4 – середньорічний рівень р. Півд. Буг, м. Хмільник)

Зростання підземного стоку в маловодні періоди (піки 2011, 2014 рр.) звичайно пов'язані із створенням значних градієнтів стоку між підвищеними РГВ у прирічковій зоні та зниженим рівнем води в річці (рис. 7), що пояснюється швидкою реакцією рівня річки та поверхневого стоку на дефіцит опадів і уповільненою – рівнів ґрунтових вод. Це підтверджує сезонний розподіл, згідно з яким найбільші обсяги стоку ґрунтових вод припадають на літні місяці, коли рівень у річці найнижчий (*Шевченко та ін., 2019)*.

За результатами вейвлет-аналізу даних *підземного стоку до річки* Півд. Буг (рис. 8) підтверджується чітка **7,5**-річна циклічність, проте вона більш очевидна з 1993 р. (половина ритму після 1989 р.) – початку етапу гіпервипадкових змін у режимі ґрунтових вод. На спектрограмі підземного стоку, на відміну від РГВ (рис. 4–6), 5–6-річні ритми майже не помітні, проте з розрахунків тривалості окремих періодів 7–8-річної циклічності випливає, що тривалість циклу з часом зростає від 5,8 (1985 р.) до 8,5 років (2009 р.), а наприкінці починає зменшуватись до 8,0 років (по напівциклу на 2013 р.). Тобто очевидно, що 7–8-річній циклічності підземного стоку до річки також, як і для РГВ, передувала 5–6-річна циклічність.

Наявність циклічності у **7,4** роки (88,8 міс.) для питомого (м³/пог. м/міс.) підземного стоку на весь період (1980–2016 рр.), а також цикли в 1 та 4 роки підтверджено спектральним аналізом даних методом швидкісних перетворень Фур'є (*Shevchenko et al., 2019*), проте останній метод не дозволяє визначати час появи та зникнення цієї циклічності. На відміну від 7–8-річних циклів РГВ, такі цикли в динаміці підземного стоку практично не зменшують інтенсивності свого прояву і в останні роки (рис. 8). Тобто період 2011–2019 рр. за циклами РГВ характеризується як маловодний, а за циклічністю підземного стоку – навпаки. Якщо проаналізувати методом Фур'є ряд даних за період 1999–2016 рр., то виявляється пік достатньо чіткої 9-річної (108 місяців) циклічності. Це видно і за двома максимумами стоку у 2005 та 2014 рр. (рис. 7).

Циклічність поверхневого (річкового) стоку важлива тим, що гідрологічний режим річки є впливовим режимоформувальним чинником для ґрунтових вод на обох ділянках. Очевидно, що якщо 7–8-річні цикли виділяються для достатньо широкого діапазону РГВ, то вони скоріш за все зумовлені загальними зовнішніми чинниками, а не гідрогеологічними умовами чи локальними умовами дренованості. Отже, можна припускати, що такі ритми проявлятимуться і в режимі поверхневих вод. Вейвлет-аналіз за даними *витрат річки* Півд. Буг цілком підтвердив це припущення. Дійсно, *в коливаннях* присутні **7**–**8**-річні цикли, проте вони порівняно швидко (за 2003–2005 рр.) зміщуються до 11-річних (рис. 9) напередодні маловодного для поверхневого стоку циклу років (почався у 2008–2009 рр.). Дещо пізніше, приблизно з 2011 р., формується також 5–6-річна циклічність.

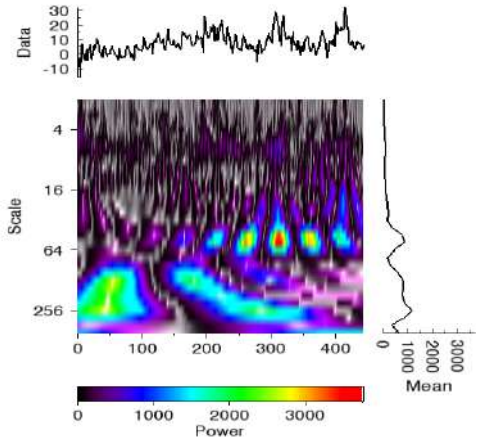

Рис. 8. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу розрахункових даних (1980–2016 рр.) підземного стоку до р. Півд. Буг. Пляма означає половину циклу. Ряд яскравих плям на рівні позначки 64 з помітним піком на кривій праворуч відповідає циклічності близько 7,5 років

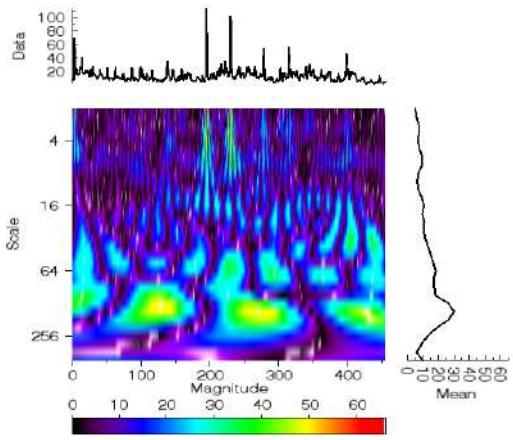

Рис. 9. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу середньомісячних значень витрат р. Півд. Буг за період 1980–2016 рр. на посту с. Лелітка

Цілком логічно припускати, що виявлені відхилення від стабільної ритмічності зумовлюються не накладеною дією кількох незалежних більш менш рівноцінних чинників, а домінуючою дією одного чинника, яка викривлюється під впливом місцевих факторів.

Циклічність опадів та температури повітря. Як відомо, найвпливовішими режимоформувальними чинниками, які для всіх випадків і типів режиму використовують як предиктори для короткотермінового прогнозування РГВ, є в першу чергу опади і температура приземного шару повітря (*Коноплянцев и Семенов, 1979; Козловський, 1995; Уралов та Шевченко, 2001; Рубан та Шинкаревський, 2005*). Нами встановлено, що переламні порушення в циклічності режиму ґрунтових вод здебільшого збігаються із значущими змінами температури, меншою мірою – зі змінами в розподілі кількості опадів. Тобто і в ритмах цих режимоформувальних чинників також слід шукати збігу з циклами РГВ.

Виявлені за допомогою вейвлет-аналізу ритми ***атмосферних опадів***, (рис. 10), на відміну від ритмів РГВ, мають дещо більшу тривалість – **8,7** та 16,9 років. Раніше для близьких широт (Кам'яний Степ, Воронезька обл.) за результатами обробки річних сум опадів та сумарних опадів холодного періоду було виявлено циклічності у 3–4, 6–8, 11, 13–16, 21–23, 26 і 34–35 років (*Коробейников, 1965*). Найбільш чіткими та стійкими були 11-річні "сонячні" цикли.

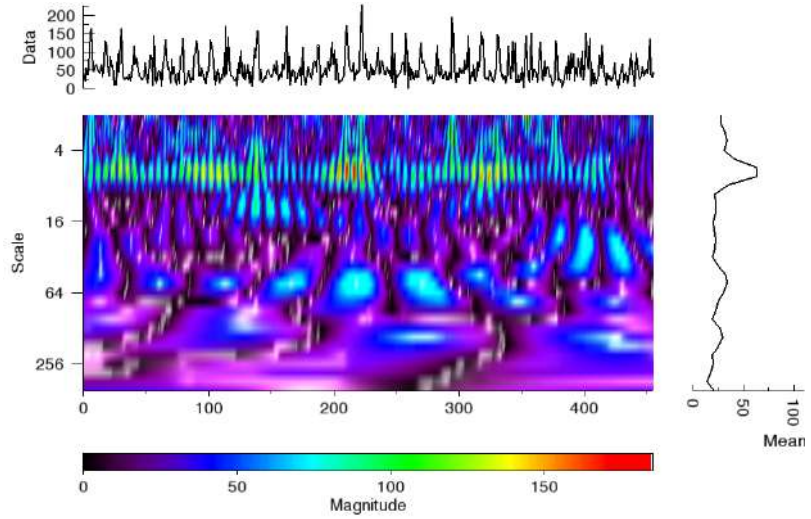

Рис. 10. Спектрограма за результатами вейвлет-аналізу даних багаторічних (1980–2016 рр.) спостережень за атмосферними опадами (місячна сума) по метеостанції м. Хмільник

Можна припустити, що 7–8-річна циклічність повинна проявитись і у змінах ***температури*** приземного шару повітря. Дійсно, на спектрограмі вейвлет-аналізу добре виділяються ритми у **8,1**±1,1 роки (рис. 11). Найменші вертикальні (часові) відхилення вони мають після 1986 р. Тут важливо відмітити переваги вейвлет-аналізу, оскільки під час застосування методу швидкісних перетворень Фур'є, ні для опадів, ні для температури не було виявлено ніяких циклів окрім 12 місячних (для поверхневого стоку встановлено також ряд слабких ритмів, серед яких є 9,25 років). Для порівняння, встановлені раніше періодограмним методом цикли температури для Кам'яного Степу мали тривалість 3–4, 6–8, 11–12, 13–17, 19–21, 23–25 та 32–34 років (*Коробейников, 1965*), з найбільш чіткими циклами в 11 та 32–34 роки. Проте у нашому випадку 11-річні цикли зовсім не проявляються і лише короткий час (дві плями між 100 та 200-м місяцями) помітні 10-річні цикли.

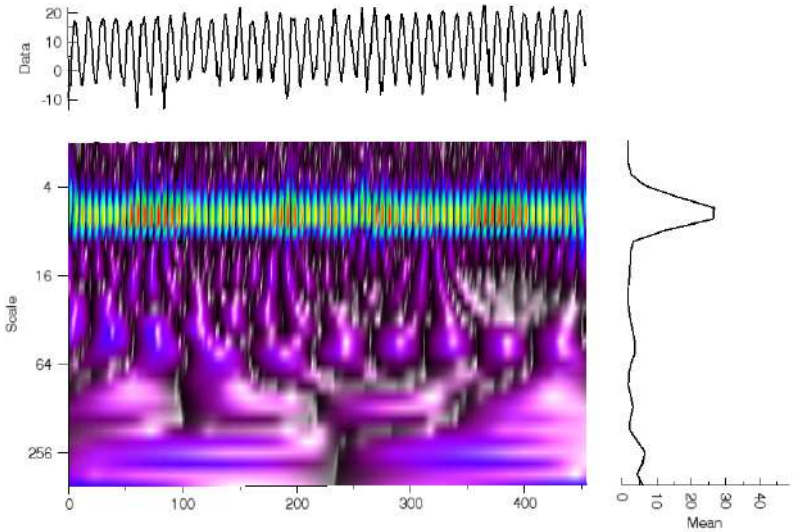

Рис. 11. Спектрограма температурної циклічності (м. Хмільник) за період 1980–2016 рр.

Результати множинного кореляційного аналізу також свідчать про домінуючу роль температури повітря у формуванні режиму стоку ґрунтових вод до річки (за даними по свердловині № 5–5 з більш глибоким РГВ). Істотно слабше проявляється залежність підземного стоку від опадів і режиму поверхневого стоку річки (*Шевченко та ін., 2019;Shevchenko et al., 2019*). Низький статистичний зв'язок між стоком ґрунтових вод або РГВ та опадами пояснюється значним запізненням реакції РГВ на опади: підвищення РГВ відбувається на 12–90 діб пізніше. Така значна і нерегулярна різниця у зміщенні реакції РГВ на опади в часі, яка залежить переважно від погодних умов, у тому числі тривалості та інтенсивності дощу, не дозволяє спиратись на якусь певну, чи хоча б сезонну поправку під час прогнозування РГВ. Температура ж, як головний регулятор інфільтраційного живлення ґрунтових вод, більш витримана впродовж часу, за який відбувається і випадіння опадів, і реакція на них РГВ та підземного стоку. Тому і ваговий коефіцієнт впливу температури на підземний стік найбільший серед інших чинників (6,06), що кореспондується з тісним зв'язком їх циклічностей – відповідно 8,1 і 7,5–7,8 років, а приблизно з 1997 р., коли починаються порушення 11-річної сонячної активності, відбувається майже повна синхронізація їх циклів.

Рівняння регресії багатофакторної моделі лінійного виду, що пов'язує стік ґрунтових вод до річки із трьома природними режимоформувальними чинниками за даними 1980–2016 рр., має вигляд

$$Q_{підз.} = 6{,}396 + 0{,}01198 \cdot P + 0{,}229 \cdot t - 0{,}0724 \cdot Q_{пов.} \quad (1)$$

де $Q_{підз.}$ – підземний стік, м^3/міс./м; P – місячна сума опадів, мм; t – температура середньомісячна, °С; $Q_{пов.}$ – середні за місяць витрати річки Півд. Буг (пост с. Лелітка), м^3/с.

Низькі характеристики моделі, а саме: коефіцієнт множинної кореляції R = 0,36, коефіцієнт детермінації R^2 = 0,13, рівень значущості за критерієм Фішера $p = 3{,}9 \cdot 10^{-13}$, F = 21,724, свідчать про наявність більш вагомих чинників, що впливають на підземний стік, які в моделі не враховано (фільтраційні параметри водоносного горизонту, гідродинамічні умови, геофізичні показники тощо), а головне – про некоректність об'єднання періодів різної водності з відмінною циклічністю. Рівняння не можна вважати досконалим та придатним для ефективного прогнозування на сучасному етапі, оскільки з 2015 р. відбувається загострення гідрогеологічної посухи (за РГВ).

На рис. 12 продемонстровано наскільки істотно можуть впливати тренди змін питомих витрат ґрунтових вод та опадів першого етапу на тренди другого етапу і навпаки, якщо їх не розділяти. Особливо значне відхилення на другому етапі (слабке зростання) від лінійного тренда першого етапу (стрімке зростання) спостерігається для витрат підземних вод. Тому, очевидно, що більш достовірним може бути прогнозування лише в межах певного етапу з умовно усталеним трендом. А вже тривалість цих етапів залежно від водності допомагає визначити вищенаведений аналіз циклічності у змінах показника режиму.

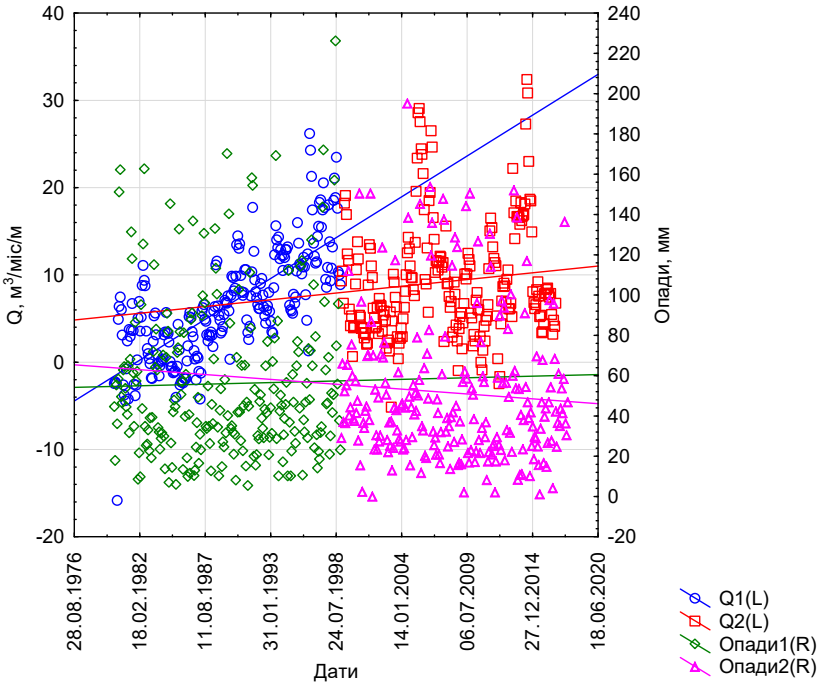

Рис. 12. Порівняння трендів витрат ґрунтових вод (Q) до р. Півд. Буг з лівобережної частини водозбору (м. Хмільник) та суми місячних атмосферних опадів (Опади), побудованих окремо за даними першого (1980–1998 рр.) – лінії Q1(L) та Опади1(R) та другого (1999–2016 рр.) – лінії Q2(L) та Опади2(R) етапів

Якщо гідрогеологічна посуха буде тривати й надалі та поглиблюватись, що повинно підтвердитись чіткою черговістю 5–6-річних циклів РГВ, то за отриманими для періоду після 2011 р. рівняннями регресії можна буде виконувати достовірні прогнози РГВ на наступний маловодний цикл (2031–2040 рр.)

Подібні поетапні та загальні для 1980–2016 рр. тренди отримано нами і для інших показників (*Шевченко и др., 2019*). Важливо відмітити, що якщо тренди опадів, підземного та поверхневого стоку на другому етапі 1999–2016 рр. помітно змінюються (поверхневий стік зменшується більш стрімко), то температура зростає майже з тією ж інтенсивністю (тренд не змінюється) і за 40 років збільшується більш ніж на 2 °С.

Отже, є достатньо підстав вважати, що вплив метеорологічних або кліматичних змін поширюється не лише на наземну гідросферу (*Huang et al, 2017*), а й на неглибокі (РГВ = 0,5…7,0 м) підземні води. Чітко виділяються 2 етапи різного впливу температурних змін на режим ґрунтових вод: 1 етап (1974–1998 рр.) – позитивного

впливу, з посиленням інфільтраційного живлення та широкомасштабними підтопленнями (*Шевченко и др., 2019; Sheffield and Wood, 2008*) і 2-й етап (1999–2020 рр.) – зростаючої посухи. Під час цього другого, сучасного етапу в режимі ґрунтових вод, який доцільно назвати періодом *наростаючої нерівномірності стоку*, на перше місце за ступенем зв'язку із РГВ вийшов режим витрат стоку р. Півд. Буг (за середньомісячними витратами, м^3/с) (*Шевченко и др., 2019)*. Це свідчить про те, що в умовах *зменшення кількості опадів* та частки суто поверхневого стоку в загальному стоці річки, зростає залежність загального річкового стоку від підземного. Нерівномірність підземного та поверхневого стоку спричинена нерегулярним розподілом місячних опадів, які змінюються в багаторічному плані без чіткої тенденції, але *із зменшенням річної суми*, що відмічають не лише в Україні (*Степаненко та ін., 2015*), а й далеко за її межами (*Groisman, 2005; Dai, 2013; Deng et al., 2018).*

На 1974–1975 та 1987–1989 рр. припадають певні граничні значення температури (або сукупності метеорологічних чинників, у тому числі перерозподіл опадів по сезонах), які спричинили відчутні зміни в режимі РГВ, спочатку на середньобагаторічних глибинах 1,5–1,8 м від поверхні (свердловина № 5–3), а пізніше – на глибинах 3,0–4,4 м (св. № 5–5), призвівши до переходу і закріплення рівнів на вищих відмітках. Другою такою граничною датою став 2004 р. для вищих РГВ (св. № 5–3) та 2011–2013 рр. – для глибших. Вірогідно, формування 7–8-річної циклічності в режимі ґрунтових вод за останні 40 років пов'язане з динамікою температурних змін. Найбільш чітко 7–8-річні ритми проявлялися під час багатоводного етапу (1989–2014 рр.), коли зростання температури холодного періоду сприяло інфільтраційному живленню ґрунтових вод.

Результати наших досліджень у цілому не суперечать висновкам інших дослідників геофізичних процесів (*Berri, 2010*) у тому сенсі, що циклічні коливання показників режиму ґрунтових вод та їх режимоформувальних чинників певним чином залежать від коливань сонячної активності, місячно-сонячних приливних сил, швидкостей обертання Землі, а також від взаємодій цих та інших геофізичних процесів. Проте нині більш вагомим чинником впливу стають глобальні кліматичні зміни (*Huangetal, 2017*; *Hsin-Fu and Hsin-Li, 2019*). Вони починаються з дефіциту опадів (метеорологічна посуха), що переростає у виснаження ґрунтової вологи (сільськогосподарська посуха), скорочення стоку (гідрологічна посуха), зниження РГВ (посуха ґрунтових вод) і, у підсумку, закінчуються соціально-економічними руйнуваннями (соціологічна посуха) (*Mishra and Singh, 2010; Mukherjee et al., 2018*), якщо не вживати жодних заходів. З наших досліджень випливає, що посуха ґрунтових вод настає через 6–7 років після початку гідрологічної посухи. Щодо "соціологічної посухи", то вже зараз слід вживати термінових заходів для її запобігання (*Pozzi et al., 2013; Чарний та Шевченко,2020*).

Висновки. Аналіз ступеня гіпервипадковості інтерпольованих щодобових значень РГВ у свердловинах басейну р. Півд. Буг за період 1980–2020 рр. продемонстрував перехід у 1990–1993 рр. від випадкових змін у режимі РГВ до стану гіпервипадкових менш передбачуваних змін, що заставляє шукати нові методи оцінки та прогнозування показників режиму ґрунтових вод.

Для середньомісячних РГВ та витрат стоку до річки, переважно в діапазоні РГВ 1,5–3,8 м, виявлено чітку 7–8-річну циклічність, яка практично повністю збігається із циклічними змінами річкового стоку (8,3 роки) температури повітря (8 років), менше – опадів (8,7 років), проте зовсім не підпорядковується циклічності сонячної активності. 7–8-річні цикли у коливаннях рівня та витрат стоку ґрунтових вод з початком багатоводного циклу у 1987–1989 рр. (зростання температури зимового періоду) заміняють собою 5–6- та 10–11-річні "сонячні" цикли. Тобто нами встановлено, що 7–8-річна циклічність краще проявляється під час тривалих періодів високої та середньої водності, а 5–6- та 10–11-річна – у маловодні, посушливі періоди.

На різних частинах басейну р. Півд. Буг 7–8-річна циклічність після 2003–2004 рр. слабшає, а з початком маловодного циклу у 2015 р. – практично зникає для рівнів ґрунтових вод. Це може свідчити про "перебудову" звичайних циклів з причин кардинальних змін у характері живлення (відновлення запасів) ґрунтових вод. Такі зміни в їх режимі можуть бути пов'язані *із змінами кліматичної зональності,* тобто розширенням Степової зони на північ. Також приблизно з 2003 р. у режимі стоку річки Півд. Буг простежуються 11–12-річні та 5–6-річні цикли. Порушення в синхронних змінах 11-річного циклу сонячної активності в 2008–2009 рр. чітко збіглися з початком нового маловодного циклу в Україні.

Помічено вплив на терміни і тривалість певних видів циклічностей місцевих чинників – у першу чергу середньорічних РГВ. Якщо раніше, до початку глобального потепління, РГВ нижче 3,0 м у Лісостеповій зоні вважалися практично недосяжними для сонячного тепла, то, починаючи з середини 80-х років минулого сторіччя підвищення температури позначається на режимі ґрунтових вод вже на глибинах 3,4–3,8 м, що більше характерно для Степової зони. Відчутні зміни в режимі ґрунтових вод з рівнями 1,5–2,5 м відбулись приблизно на 10–12 років раніше. На цих глибинах реакція циклічності РГВ на абсолютні багаторічні максимуми зимових температур відбулась ще у 1975 р.

Зіставлення трендів змін температури, опадів, поверхневого та підземного стоку до річок, з врахуванням зв'язків їх циклічностей, демонструє, що на фоні *зменшення* середньомісячного та річного поверхневого стоку, рівнів води в річках, поглиблення базису ерозії за останні 20 років, тренд підземного стоку *зберігає позитивну динаміку*, хоча дуже помітно знизився. При тому, що за останні 10 років кількість річних опадів зменшується (за винятком 2020 р.), тобто витрати ґрунтових вод не компенсуються живленням, все це свідчить про прискорене і дуже загрозливе *спрацювання запасів та зменшення ресурсів ґрунтових*, а за ними й напірних підземних вод. Отже, за всіма ознаками в досліджуваному басейні з 2015 р. почалась "посуха ґрунтових вод".

За результатами множинного кореляційного аналізу за останні десятиріччя температура вийшла на домінуючу позицію за впливом на режим ґрунтових вод (при РГВ від 1,5 до 4,0 м). Все це доводить, що прояви порушень циклічності в режимі ґрунтових вод можуть відбуватися під впливом потепління клімату. У той же час ритми температурних змін останніми роками *не збігаються із циклічністю сонячної активності*, що може свідчити про вплив антропогенних чинників на підвищення температури.

Розпочаті нами дослідження доводять ефективність застосування вейвлет-аналізу для виявлення циклів у режимі підземних вод, встановлення часу їх появи та затухання; відкривають шлях до пошуків закономірних періодичностей у змінах показників гідрогеологічного режиму і балансу на теренах інших водозбірних басейнів України, глобальних причин цих змін та місцевих чинників, що зумовлюють часову невитриманість окремих періодів. Знайдені закономірності слід використати для вдосконалення прогнозних моделей та більш точного передбачення наслідків впливу зростання температури на наземну і підземну гідросферу.

Список використаних джерел

Бублясь, В.М., Шестопалов, В.М., Бублясь, М.В. (2008). Електрогеодинамічні явища в атмосфері і літосфері та їх вплив на масообмін. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 44, 67-72.

Вольфцун, И.Б. (1972). Расчеты элементов баланса грунтовых вод. Ленинград.

Гриневский, С.О., Маслов А.А. (2010). Режимные гидрогеологические наблюдения на территории Звенигородского учебного полигона. *Матлы междунар. науч. конф.: Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования, 13-14.05.2010, Москва*. Москва: МГУ им. Ломоносова, изд-во МАКС Пресс, 227-234.

Давибіда, Л.І. (2014). Створення регіональних прогностичних геоінформаційних моделей глибини залягання рівнів ґрунтових вод. *Науковий вісник ІФНТУНГ*, 1(36), 26-35.

Дубнов, П.Ю. (2004). Обработка статистической информации с помощью SPSS. Москва: ООО"Издательство АСТ"; "НТ Пресс".

Зальцберг, Э.И. (1970).О цикличности колебаний уровня грунтовых вод. *Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод*, 25, 69-80.

Кац, Д.М. (1960). Основные причины многолетних колебаний грунтовых вод в орошаемых районах. *Разведка и охрана недр*, 7, 41-47.

Ковалевский, В.С. (1973). Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. Москва.

Козловський, Б.І. (1995). Наукові основи моніторингу осушених земель. Львів.

Коноплянцев, А.А., Семенов, С.М. (1979). Изучение, прогноз и картирование режима подземных вод. Москва.

Коробейников, В.А. (1965). Циклические многолетние изменения уровня грунтовых вод и природных процессов. *Разведка и охрана недр*, 1, 48-53.

Лаба, І.С., Янків-Вітковська, Л.М., Лісняк, П.Г., Підстригач, І.Я. (2013). Рівень активності Сонця в затяжному і глибокому мінімумі циклів 23/24 та його вплив на кліматичну систему Землі. *Журнал фізичних досліджень,*17, 3, 3902-1-3902-9.

Лебедев, А.В. (1980). Формирование баланса грунтовых вод на территории СССР. Москва.

Лукьянец, О.И., Каминская, Т.П. (2015). Закономерности и пространственная синхронность многолетних циклических колебаний водного стока рек Украинских Карпат. *Наук. вісник Чернівецького університету*, 744-745, 18-24.

Осадчий, В.І., Бабіченко, В.М., Набиванець, Ю.Б., Скринник, О.Я. (2013). Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень. Київ.

Рубан, С.А., Шинкаревський, М.А. (2005). Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України. Київ: УкрДГРІ.

Рудаков, В.П. (1993). О роли геодвижений волновой структуры в активизации геодинамических процессов в асейсмических регионах (на примере геодинамических явлений Русской платформы). *Докл. РАН*, 332 (4), 509-511.

Стан підземних вод України у 2019 році. Щорічник. (2020). Київ: ДНВП "ГЕОІНФОРМ України".

Степаненко, С.М., Польовий, А.М., Лобода, Н.С. та ін. (2015). Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. Одеса.

Токарев, Н.С. (1951). Ритмические колебания климата и их значение для режима поверхностных и подземных вод. *Труды ЛГГП*, IX, 26-37.

Уралов, О., Шевченко, О. (2001). Нові завдання експлуатаційних організацій та гідрогеолого-меліоративної служби. *Водне господарство України*, 3-4, 10-14.

Чарний, Д.В., Шевченко, О.Л. (2020). Глобальне потепління та обумовлене ним зменшення водності джерел водопостачання як головний чинник зміни засадничих підходів до забору, очистки і використання води. *Водопостачання, водовідведення*, 3, 16-25.

Шакірзанова, Ж.Р., Казакова, А.О. (2015). Гідрометеорологічні чинники і характеристики весняних водопіль в басейні р. Півд. Буг в сучасних кліматичних умовах. *Вісник Одеського держ. екол. унів.*, 19, 100-105.

Шевченко, А.Л., Осадчий, В.И., Чарный, Д.В. (2019). Изменения режима, баланса и ресурсов подземных вод Полесья и лесостепи Украины под влиянием глобального потепления. *Вучоныя записки Брескага універсітэта*, 15, 2, 117-128.

Шестопалов, В.М., Бублясь, В.Н. (2016). О формировании западинно-канальных структур миграции. *Геологический журнал,* 3 (356), 73-88.

Шинкаревский, М.А. (1973). Прогноз уровня грунтовых вод на основе площадной оценки закономерностей режима. *Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Украины*, 22–30.

Эйгенсон, М.С. (1957). Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Львов, 230.

Berri, B.L. (2010). Heliogeophysical and Other Processes, Their Fluctuation Periods and Forecasts, *Geofiz. Prots. Biosfera*, 9, 4, 7–52.

Currie, R.G. (1996). Variance contribution of luni-solar (Mn) and solar cycle (Sc) signals to climate data. *Int. J. of Climatology,* 16, 1343–1364.

Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Climate Change*, 3, 52–58. doi:https://doi.org/10.1038/nclimate1633.

Deng, S., Chen, T., Yang, N., Qu, L., Li, M., Chen, D. (2018).Spatial and temporal distribution of rainfall and drought characteristics across the Pearl River basin. *Sci. Total Environ,* 619, 28–41.

Diffenbaugh, N.S., Scherer, M., Ashfaq, M. (2013). Response of snow-dependent hydrologic extremes to continued global warming. *Nat. Climate Change*, 3, 379–384. doi:https://doi.org/ 10.1038/nclimate1732.

Esper, J, Cook E.R, Schweingruber F.H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295, 2250–2253.

Gribovszki, Z., Kalicz, P., Kucsara, M. (2006). Streamflow characteristics of two forested catchments in Sopron Hills. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica,* 2, 81–92. Отримано з http://publicatio.nyme.hu/131/1/gribovszki_kalicz_kucsara.pdf

Gribovszki, Z., Szilagyi, J., Kalicz, P. (2010). Diurnal Fluctuations in Shallow Groundwater Levels and in Streamflow Rates and their Interpretation: A Review. Papers in Natural Resources. 978. *Journal of Hydrology,* 385, 371–383. Doi:10.1016/j.jhydrol.2010.02.001.

Han, J., Singh, V.P. (2020). Forecasting of droughts and tree mortality under global warming: a review of causative mechanisms and modeling methods. *J. Water & Climate Change*, 11 (3), 600-632. https://doi.org/10.2166/wcc.2020.239

Hello Solar Cycle 25. (2020). News Around NOAA. National weather service. Отримано з https://www.weather.gov/news/201509-solar-cycle.

Hsin-Fu, Y. and Hsin-Li, H. (2019). Using the Markov Chain to Analyze Precipitation and Groundwater Drought Characteristics and Linkage with Atmospheric Circulation. Sustainability, 11 (6), 1817, 1-18. https://doi.org/10.3390/ su11061817

Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., Ma, L. (2017). The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *J. Hydrol.*, 547, 184–195.

Groisman, P.Ya., Knight, R.W., Easterling, D.T.R., Gabriele, K., Hegerl, C., Razuvaev, V.N. (2005). Trends in Precipitation Intensity In The Climate Record. *Journal of climate*, 18 (9), 1326-1350. https://doi.org/10.1175/JCLI3339.1

Grossmann, A., Morlet, J. (1984). Decomposition of Hardy functions intosquare integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal.,* 15, 723-736.

Liritzis, I, Fairbridge, R. (2003). Remarks on astrochronology and time series analysis of Lake Sake varved sediments. *J. Balkan Geoph. Soc.*, 6, 165–172.

Mishra, A.K. Singh V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology,* 391 (1–2), 202-216. doi: 10.1016 / j.jhydrol.2010.07.012

Mukherjee, S., Mishra, A., Trenberth, K.E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports,* 4 (2), 145 –163. doi:10.1007/s40641-018-0098-x

Pozzi, W., Sheffield, J., Stefanski, R., Cripe, D., Pulwarty, R., Vogt, J.V., Heim, R.R.Jr., Brewer M.J., Svoboda, M., Westerhoff, R., van Dijk A.I.J.M., Lloyd-Hughes, B., Pappenberger, F., Werner, M., Dutra, E., Wetterhall, F., Wagner, W., Schubert, S., Kingtse Mo, Nicholson, M., Bettio, L., Nunez, L., van Beek, R., Bierkens, M., de Goncalves, L.G.G., de Mattos, J. G. Z., Lawford, R. (2013). Toward Global Drought Early Warning Capability: Expanding International Cooperation for the Development of a Framework for Monitoring and Forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 776-785.

Sheffield, J., Wood, E.F. (2008). Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *J. Clim.*, 21, 432–458.

Shevchenko, O., Osadchiy, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings of 18th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine, EAGE, art.no. 15890,* 1-5. doi.org/10.3997/2214-4609.201902071

Shevchenko, O., Skorbun, A., Charnyi, D. (2020). Seven-year cyclicity manifestations in groundwater mode revealed by wavelet analysis. *Proceedings of 19-th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine, EAGE,* art.no. 18148, 1-5. doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo005

Solanki, S.K, Usoskin, I.G, Kromer, B, Schüssler, M, Beer, J. (2004). Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature,* 431, 1084–1087.

Williams, G.R. (1961). Cyclical variations in the world-wide hydrological data. *J. of Hydraulic division*, 6, 71–88.

References

Berri, B.L. (2010). Heliogeophysical and Other Processes, Their Fluctuation Periods and Forecasts. *Geofiz. Prots. Biosfera*, 9, 4, 7–52.

Bublias' V.M., Shestopalov V.M., Bublyas M.V. (2008). Electrogeodynamic phenomena in the atmosphere and lithosphere and their influence on mass transfer. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 44. 67-72. [in Ukrainian]

Charnyi, D.V., Shevchenko, O.L. (2020). Global warming as a cause of declining water content in water sources, is a major factor in changing the main approaches to water intake, treatment and use. *Vodopostachannya, vodovidvedennya*, 3, 16-25. [in Ukrainian]

Currie, R.G. (1996). Variance contribution of luni-solar (Mn) and solar cycle (Sc) signals to climate data. *Int. J. of Climatology,* 16, 1343–1364.

Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Climate Change*, 3, 52–58. doi:10.1038/nclimate1633.

Davibida, L.I. (2014). Creation of regional prognostic geoinformation models of depth of groundwater levels. *Naukovyi visnyk IFNTUNG*, 1 (36), 26-35. [in Ukrainian]

Deng, S., Chen, T., Yang, N., Qu, L., Li, M., Chen, D. (2018).Spatial and temporal distribution of rainfall and droughtcharacteristics across the Pearl River basin. *Sci. Total Environ,* 619, 28–41.

Diffenbaugh, N.S., Scherer, M., Ashfaq, M. (2013). Response of snow-dependent hydrologic extremes to continued global warming. *Nat. Climate Change*, 3, 379–384. doi:10.1038/nclimate1732.

Dubnov, P.Yu. (2004). Processing of statistical information using SPSS. Moscow. [in Russian]

Eigenson, M.S. (1957). Essays on the physical and geographical manifestations of solar activity. Lviv. [in Russian]

Esper, J, Cook E.R, Schweingruber F.H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science,* 295 (5563), 2250–2253. doi:10.1126/science.1066208

Gribovszki, Z., Kalicz, P., Kucsara, M. (2006). Streamflow characteristics of two forested catchments in Sopron Hills. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica,* 2, 81– 92.

Gribovszki, Z., Szilagyi, J., Kalicz, P. (2010). Diurnal Fluctuations in Shallow Groundwater Levels and in Streamflow Rates and their Interpretation: A Review. *Papers in Natural Resources* .978. *Journal of Hydrology,* 385, 371–383. Retrieved from https://digitalcommons.unl.edu/ natrespapers/978.

Grinevsky, S.O., Maslov, A.A. (2010). Regime hydrogeological observations on the territory of Zvenigorod training ground. *Materials Int. scientific conf.: Groundwater resources. Modern problems of study and use, 13-14.05.2010, Moscow.* Moscow.: MSU. Lomonosova, .227-234. [in Russian]

Groisman, P.Ya., Knight, R.W., Easterling, D.T.R., Gabriele, K., Hegerl, C., Razuvaev, V.N. (2005). Trends in Precipitation Intensity In The Climate Record. *Journal of climate*, 18 (9), 1326-1350. doi: 10.1175/JCLI3339.1

Grossmann, A., Morlet, J. (1984).Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM J. Math. Anal*., 15, 723-736.

Han, J., Singh, V.P. (2020). Forecasting of droughts and tree mortality under global warming: a review of causative mechanisms and modeling methods. *J. Water & climate change*, 11 (3), 600-632. doi.org/10.2166/wcc.2020.239

Hello Solar Cycle 25 (2020). News Around NOAA. National weather service. Retrieved from https://www.weather.gov/news/201509-solar-cycle.

Hsin-Fu Y., Hsin-Li H. (2019). Using the Markov Chain to Analyze Precipitation and Groundwater Drought Characteristics and Linkage with Atmospheric Circulation, *Sustainability* 11 (6), 1817, 1-18. doi:10.3390/su11061817

Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B., Ma, L. (2017). The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *J. Hydrol*., 547, 184–195.

Katz, D.M. (1960). The main reasons for long-term fluctuations of groundwater in irrigated areas. *Razvedka i okhrana nedr*, 7, 41-47. [in Russian]

Konoplyantsev, A.A, Semenov, S.M. (1979). Study, forecast and mapping of groundwater regime. Moscow. [In Russian]

Korobeynikov, V.A. (1965). Cyclic long-term changes in the level of groundwater and natural processes. *Razvedka i okhrana nedr*, 1, 48-53. [in Russian]

Kovalevsky, V.S. (1973). Conditions for the formation and forecasts of the natural regime of groundwater. Moscow. [in Russian]

Kozlovsky, B.I. (1995). Scientific bases of monitoring of drained lands. Lviv. [in Ukrainian]

Laba, I.S., Yankiv-Vitkovska, L.M., Lisnyak, P.G., Pidstryhach, I.Ya. (2013). The level of activity of the Sun in the long and deep minimum of cycles 23/24 and its impact on the Earth's climate system. *Zhurnal fizychnykh doslidzhen',* 17, 3, 3902-1-3902-9. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ jphd_2013_17_3_9. [in Ukrainian]

Lebedev, A.V. (1980). Formation of the groundwater balance in the USSR. Moscow. [in Russian]

Liritzis, I, Fairbridge, R. (2003). Remarks on astrochronology and time series analysis of Lake Sake varved sediments. *J. Balkan Geoph. Soc*., 6, 165–172.

Lukyanets, O.I., Kaminskaya, T.P. (2015). Regularities and spatial synchronicity of long-term cyclical fluctuations in the water flow of the rivers of the Ukrainian Carpathians. *Naukovyi Visnik of Chernivetskiy University*, 744-745, 18-24. [in Russian]

Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology,* 391(1–2), 202-216. doi: 10.1016 / j.jhydrol.2010.07.012

Mukherjee, S., Mishra, A., Trenberth, K.E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports,* 4(2), 145–163. doi:10.1007/s40641-018-0098-x

Osadchy, V.I., Babichenko, V.M., Nabyvanets, Yu.B., Skrynnyk, O.Ya. (2013). Dynamics of air temperature in Ukraine during the period of instrumental meteorological observations. Kyiv. [in Ukrainian]

Pozzi, W., Sheffield, J., Stefanski, R., Cripe, D., Pulwarty, R., Vogt, J.V., Heim, R.R.Jr., Brewer M.J., Svoboda, M., Westerhoff, R., van Dijk A.I.J.M., Lloyd-Hughes, B., Pappenberger, F., Werner, M., Dutra, E., Wetterhall, F., Wagner, W., Schubert, S., Kingtse Mo, Nicholson, M., Bettio, L., Nunez, L., van Beek, R., Bierkens, M., de Goncalves, L.G.G., de Mattos, J. G. Z., Lawford, R. (2013). Toward Global Drought Early Warning Capability: Expanding International Cooperation for the Development of a Framework for Monitoring and Forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 776-785.

Ruban,S.A., Shinkarevsky, M.A. (2005). Hydrogeological assessments and forecasts of the groundwater regime of Ukraine. Kyiv.: UkrDGRI. [in Ukrainian]

Rudakov V.P. (1993). On the role of wave structure geo-movements in activating geodynamic processes in aseismic regions (on the example of geodynamic phenomena of the Russian platform). *Doklady RAS*, 332 (4), 509-511. [in Russian]

Shakirzanova, Zh.R., Kazakova, A.O. (2015). Hydrometeorological factors and characteristics of spring floods in the basin of the Pivd. Bug in modern climatic conditions. *Visnyk of the Odessa state. ecol. univ*., 19, 100-105. [in Ukrainian]

Sheffield, J., Wood, E.F. (2008). Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *J. Clim*., 21, 432–458.

Shevchenko, A.L., Osadchiy, V.I., Charny, D.V. (2019). Changes in the regime, balance and resources of groundwater in Polesie and forest-steppe of Ukraine under the influence of global warming. *Vuchonyia zapiski Brestskaga universiteta*, 15, 2, 117-128. [in Russian]

Shevchenko, O., Osadchiy, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings of 18th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine, EAGE, art.no. 15890,* 1-5. doi:10.3997/2214-4609.201902071

Shevchenko, O.,Skorbun, A., Charnyi, D. (2020).Seven-year cyclicity manifestations in groundwater mode revealed by wavelet analysis. *Proceedings of 19-th International Conference: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2020, Kyiv, Ukraine, EAGE,* art.no. 18148, 1-5. doi:10.3997/2214-4609.2020geo005

Shestopalov, V.M., Bublyas, V.N. (2016). On the formation of depression-channel structures of migration. *Geological journal*, 3 (356), 73-88. [in Russian]

Shinkarevsky M.A. (1973). Forecast of the groundwater level based on the areal assessment of the regularities of the regime *Questions of hydrogeology and engineering geology of Ukraine*, 22-30. [in Russian]

Solanki, S.K, Usoskin, I.G, Kromer, B, Schüssler, M, Beer, J. (2004). Unusual activity of the Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature,* 431, 1084–1087.

Stepanenko, S.M., Field, A.M., Loboda, N.S. (2015). Climate change and its impact on the economy of Ukraine. Odesa. Retrieved from http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/klimatichni-zmini-close.pdf [in Ukrainian]

The state of groundwater in Ukraine in 2019. (2020). Shchorichnyk. Kyiv: DNVP "GEOINFORM of Ukraine". Retrieved from 129.http://geoinf.kiev.ua/ Schorichnyk_PV_2019.pdf. [in Ukrainian]

Tokarev, N.S. (1951). Rhythmic Climate Fluctuations and Their Significance for the Regime of Surface and Ground Waters. *Proceedings of LGHP*, IX. 26-37. [in Russian]

Uralov, O., Shevchenko, O. (2001). New tasks of operational organizations and hydrogeological and reclamation service. *Vodne gospodarstvo of Ukraine*, 3-4, 10-14. [in Ukrainian]

Williams, G.R. (1961). Cyclical variations in the world-wide hydrological data. *J. of Hydraulic division*, 6, 71–88.

Wolfzun, I.B. (1972). Calculations of groundwater balance elements. Leningrad. [in Russian]

Zaltsberg, E.I. (1970). On the cyclicity of fluctuations in the level of groundwater. *Issues of studying and forecasting the regime of groundwater*, 25, 69–80. [in Russian]

Надійшла до редколегії 29.01.21

O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Senior Resercher,
E-mail: shevch62@gmail.com;
Ukrainian Hydrometeorological Institute NAS of Ukraine,
37 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine;
A. Skorbun, Dr. Sci. (Tech.), Senior Resercher,
E-mail: anskorbun@gmail.com;
Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine,
36a Kirova Str., Chornobyl, 07270, Ukraine;
V. Osadchiy, Dr. Sci. (Geogr.), Corresponding Member of NAS of Ukraine,
E-mail: uhmi@uhmi.org.ua;
Ukrainian Hydrometeorological Institute NAS of Ukraine,
37 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine;
D. Charny, Dr. Sci. (Tech.), Senior Researcher,
E-mail: dmitriych10@gmail.com;
The institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,
34-A Palladin Ave., Kyiv-142, MCP 03680, Ukraine

VARIABLE RHYTHMS IN GROUNDWATER REGIME AND THEIR RELATIONSHIP WITH CLIMATE FACTORS

Due to the anomalous changes in the groundwater regime over the past 5 years, the question arose about the adequacy and effectiveness of existing methods for predicting their level. The data of monitoring observations from 1951 in the upper part of the Southern Bug river basin are analyzed. The specific underground runoff to the river in the site of Khmilnyk was calculated by the finite difference method. It is established that at the end of the 80s of the last century a 7-8 year cycle began to appear in the fluctuations of the groundwater level (GWT) and groundwater runoff. It