

# МЕТОДИ І ЗАСОБИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

**В.М. Бублясь<sup>1</sup>**

ORCID:0000-0003-1296-1637  
bublias@ukr.net

**О.Л. Шевченко<sup>2</sup>**

ORCID: 0000-0002-5791-5354  
shevch62@gmail.com

УДК 556.024:556.042:551.507:551.508:  
550.8.024 (556.322. 556.388)

DOI: [https://doi.org/10.15407/  
Meteorology2024.05.063](https://doi.org/10.15407/Meteorology2024.05.063)

## ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗШИРЕНОГО СКЛАДУ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ВОДНО-БАЛАНСОВИХ СТАНЦІЯХ ТА ДОСЛІДНИЦЬКИХ ГІДРОГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІГОНАХ

- <sup>1</sup> Інститут геологічних наук  
НАН України, Київ
- <sup>2</sup> Український гідрометеоро-  
логічний інститут Державної  
служби України з надзвичайних  
ситуацій та Національної  
академії наук України, Київ

Сучасний рівень розуміння підпорядкованості та багатофакторної залежності визначальних процесів в атмосфері, літосфері та гідросфері Землі (що підштовхнув до об'єднання галузей наук про ці сфери в "науки про Землю") вимагає відповідної реорганізації базової системи моніторингу довкілля, вдосконалення та розширення досліджень на водно-балансових станціях, які можуть стати опорними "вузлами" цієї системи. Поява принципово нових теоретичних розробок, сучасних приладів і устаткувань, великої кількості програмних засобів тощо, спонукає до суттєвої реорганізації та посилення системи моніторингу навколишнього середовища. В статті обґрунтовується додатковий комплекс досліджень, який доцільно включити до регламенту спостережень на вже існуючих водно-балансових станціях, з обов'язковою їх модернізацією. Контролю підлягають атмосфера, поверхнева і підземна гідросфери, які змінюються в часі із різною швидкістю та літосфера (точніше її верхня частина — педосфера). Певна інерційність гідрогеологічних процесів передбачає можливість використання метеорологічних показників, за якими можна передбачити зміни в режимі вологи в зоні аерації та неглибоких ґрунтових вод на найближчу перспективу, а за достеменно передбачуваними змінами останніх — прогнозувати зміни ресурсів міжпластових підземних вод і т.д. Запропоновано включити в регламент моніторингу такі показники стану довкілля, які дозволять виявляти і аналізувати причини змін водної обстановки, балансу та ресурсів, визначати механізми перенесення та накопичення вологи, а також будувати моделі і виконувати прогнозні оцінки. Результати комплексних досліджень на полігоні Лютиж демонструють значну варіабельність гідрогеофізичних показників та зміни інтенсивності природних сигналів залежно від ландшафтної приуроченості, новітньої тектоніки, геологічної основи та типу ґрунту. Представлені оригінальні прилади, за допомогою яких визначаються показники електричного та теплового полів, співвідношення додатних і від'ємних аероіонів тощо.

**Ключові слова:** водно-балансова станція, полігон, атмосферні електричні явища, водний баланс, гідрофізичні показники, рівень ґрунтових вод.

### ВСТУП

Згідно "Водної стратегії України" (2021) дефіцит прісної води питної якості спостерігається в 13 областях України. Зазначається також, що "зміни клімату істотно впливають на сезонний розподіл водних ресурсів та призводять до затяжних посушливих періодів". Проте, на відміну від антропогенних чинників забруднення, які достатньо добре описані у "Водній стратегії", у ній немає чітко прописаних ознак метеорологічних, сільськогосподарських та гідрологічних посух (які з них згадуються також не зазначено), відсутні кількісні та якісні їх характеристики по регіонах України, у зв'язку із чим частина по-

ложень Стратегії виглядає необґрунтовано. Очевидно, що така інформація буде відсутня поки рівень фінансового та матеріального (інструментального) забезпечення мережі державного моніторингу довкілля є одним із найнижчих в системі бюджетного фінансування, а мережа водно-балансових, відомчих дослідних станцій, пунктів гідрогеологічного моніторингу весь час після 1992 р. занепадала і скорочувалась. З 2021 р. фінансування гідрогеологічного моніторингу по державній мережі припинилось зовсім, що відображає глибоку стагнацію Державної служби геології та надр України. І хоча Законом України "Про внесення змін до деяких за-

конодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в *управлінні водними ресурсами* за басейновим принципом” започатковані структурні зміни у галузі управління водними ресурсами, інформаційне та наукове забезпечення такого управління практично відсутнє взнаки *відсутності мережі комплексного моніторингу*, придатного для визначення водного балансу та оцінки чинників впливу на водні ресурси. Здавалося б цілком очевидно, що низка створених інструментів управління (плани управління річковими басейнами, схеми використання та охорони води і відновлення водних ресурсів, тощо) не можуть працювати без достовірної поточної інформації, яку слід регулярно отримувати за допомогою сучасної апаратури не лише на гідропостах та метеостанціях, а й на достатній кількості басейнових водно-балансових станцій та полігонів (відповідно кількості басейнових управлінь водними ресурсами, яких станом на початок 2022 р. налічувалось 12). Особливо бракує на сьогодні регулярних та репрезентативних (для типових ґрунтово-кліматичних зон і окремих водозбірних басейнів) *гідрофізичних та гідрогеологічних* спостережень.

Без базових комплексних досліджень *in situ* та кліматичних прогнозів неможливо надати об’єктивної оцінки майбутнього впливу водогосподарського або іншого об’єкту, що вимагають оновлені підходи, прописані в Законі України “Про оцінку впливу на довкілля” (ОВД) (2017).

Неможливо також конкурувати на міжнародному рівні в галузі моделювання природних процесів без тривалих рядів спостережень, розуміння механізмів процесів, залежностей між окремими взаємодіючими елементами, закономірностей їх розподілу в просторі і часі (Shin et al., 2020). Для отримання достовірних результатів за допомогою найдосконаліших моделей штучний інтелект треба попередньо навчити на великих масивах достовірних даних, які можна отримати лише під час тривалих спостережень *in-situ*.

Наявні на сьогодні мережі спостережних пунктів, станцій та полігонів, відомчо розрізнені, територіально не підпорядковані і працюють у різному режимі і за різними методиками. Вони не спроможні надати достатньої інформації для вирішення складних нагальних питань. Наприклад: чому інтенсивність зростання температури повітря в Україні за останні 40 років є найвищою в Європі і одна з найвищих у світі? Нині вона перевищує 0,5°C/10 років, при тому, що середній глобальний показник складає 0,15°C/10 років. Яка послідовність формування та прямі і опосередковані ознаки гідрогеологічної посухи, а також які її запобіжники? Живлення

ґрунтових вод хоча і підпорядковане опадам, проте на пряму від них не залежить, а інколи навіть має від’ємну кореляцію (Шевченко та ін., 2019, 2021, 2023), що важко пояснити спираючись лише на загальноприйняті теорії. Як прогнозувати величину інфільтраційного поповнення ґрунтових вод, якщо немає прямої кореляції між опадами, інфільтрацією та коливаннями рівня ґрунтових вод? Чому, за здавалося б достатньої кількості атмосферних опадів рівні ґрунтових вод (РГВ) лишаються низькими, або навпаки, за незначної кількості опадів — зростають? Чому змінюється тривалість ( поступово зростає або зменшується) ритмів метеорологічних та гідрологічних показників: чотирьохрічні поступово переходять у восьмирічні і навпаки, проте частіше одночасно тривають циклічності різної періодичності, причому для РГВ на різних глибинах вони різні (2–3; 7; 26 років або 4,4; 8; 12,5; 42 роки тощо), що вдалось виявити за допомогою вейвлет-аналізу тривалих рядів спостережень (Шевченко та ін., 2021).

Також не спостерігається чіткої підпорядкованості або успадкованості гідрологічної посухи від метеорологічної посухи. В одному регіоні можуть фіксуватися різні за знаком коливання та тренди змін РГВ, які, відповідно, або добре корелюють, або майже не корелюють із змінами суми опадів. Щодо проблем з пошуком відповідності між сумою прибуткових і витратних складових балансу ґрунтових вод та кількістю атмосферних опадів наголошувалось ще у 1965 р. в роботі К.Д. Ткаченка.

Вірогідно, відповіді на більшість з поставлених вище питань треба шукати за межами вузьких дисциплін і звичних теорій. Не дарма всі наукові напрямки, що стосуються різних оболонок планети Земля, в тому числі атмосфери, нині *об’єднані в “науки про Землю”*. Очевидно, що відповідно до сучасного розуміння тісної взаємодії та взаємозалежності усіх процесів, що відбуваються глибоко в надрах (геосфері та підземній гідросфері), у верхній оболонці геосфери (педосфері та поверхневій гідросфері, або наземній біосфері, що їх об’єднує), в атмосфері Землі а також в Сонячній системі, необхідно вдосконалювати існуючу або розбудовувати нову систему комплексних моніторингових спостережень. Вона не має бути лише вузько галузева: суто метеорологічна, гідрологічна або гідрогеологічна чи сейсмічна.

Все більша інтеграція України до міжнародної наукової спільноти зобов’язує до гармонізації як теоретичних, так і методичних підходів в організації моніторингу, модернізації та підвищення статусу водно-балансових станцій (наприклад, в країнах Європи спостереження проводяться на еталонних експериментальних басейнах). Оновлення концеп-

ції досліджень та модернізація станцій України необхідні для забезпечення мінімальної конкурентності в галузі апаратурних гідро-метеоспостережень та інтеграції їх наукових результатів в світове інформаційне поле.

Науковцями виявлено велику кількість чинників, що впливають на перерозподіл вологи в атмосфері, на поверхні Землі, в ненасиченій зоні та підземній гідросфері (Ткаченко, 1967; Ситников, 1986; Шестопалов и др., 2007; Othman, 2024). При обґрунтуванні доцільності таких додаткових досліджень варто спиратись на досвід їх проведення на поодиноких полігонах в Україні та за кордоном (Вольфцун, 1972; Дзекунов и др., 1987, Ситников и др., 2003, Bugai et al., 2008).

Порівняно нещодавно, завдяки гідрофізичному натурному моделюванню, вдалось пояснити такі незвичні явища, як, наприклад, непропорційне підвищення РГВ у відповідь на опади (Gillham, 1984), тобто ситуацію, коли невелика кількість опадів, скажімо 0,3 см, призводить до дуже великого відгуку РГВ, скажімо, на 30 см. Це явище, яке здебільшого називають зворотним ефектом Вірінгермеєра (Gillham, 1984), пояснюється наявністю товстої капілярної смуги над РГВ, яка сягає поверхні землі (Cloke et al., 2006; Gillham, 1984). Потрібен лише невеликий шар води, щоб створити в цій зоні насичення позитивний поровий водний тиск, що спричинить підйом ґрунтових вод до поверхні землі (Baird and Low, 2022). Значне та швидке зростання РГВ також може бути спричинене надмірним тиском повітря, затиснутого під фронтом зволоження, що просувається після дощу або зрошення, цей процес називається ефектом Ліссе (Weeks, 2002).

Очікується, що зміна клімату істотно вплине на живлення (поповнення) підземних вод по всьому світу (Rasmussen et al., 2017; Othman, 2024), що матиме наслідки для управління водними ресурсами та сталого розвитку. Очевидно, що необхідно створити кращі за існуючі моделі, які б наповнювались більш достовірними різнобічними (багатошаровими) регулярними даними, що зможе допомогти зменшити невизначеності в прогнозах та підвищити рівень поінформованості при прийнятті управлінських рішень.

На сьогоднішній день саме *польові спостереження* екстремальних кліматичних явищ, таких як хвилі спеки, посухи та інтенсивні опади проводяться не системно. Тому однозначно з'ясувати та кількісно оцінити їх вплив на поповнення ресурсів підземних вод та річок досить складно. Брак оперативної емпіричної інформації ускладнює прогнозування змін водних ресурсів в умовах зміни клімату. Кількісна оцінка динамічних і часто короткочасових змін

живлення відкритих водойм під час екстремальних погодних явищ вимагає вимірювань з високою часовою і просторовою роздільною здатністю.

Щоб передбачити гідрогеологічну посуху або підтоплення необхідно аналізувати дані спостережень на комплексних метео-геофізичних водно-балансових станціях (*басейновий рівень*) спільно з *регіональними* характеристиками змін клімату та поверхневого стоку, визначеними за даними кількох метеостанцій і постів, співставляючи їх з *глобальними* процесами циркуляції в атмосфері. Це дозволить поєднати глобальні, регіональні і місцеві чинники. У глобальному масштабі на природну мінливість клімату впливають антропогенні *викиди парникових газів*, що може змінювати частоту та інтенсивність посушливих періодів або посилювати та подовжувати посухи (Mirchi, 2021).

Виходячи з вищенаведеного, **метою даної роботи** є обґрунтування доцільності залучення нових показників до регламенту спостережень на водно-балансових станціях, що врешті повинно стати основою для розробки нової редакції "Настанов водно-балансовим станціям та полігонам", підпорядкованих Українському гідрометеорологічному центру ДСНС України. Ці доповнення спрямовані на вирішення головних, актуальних завдань Кліматичної програми України (1997) та Всесвітньої кліматичної програми (WCP). Як проголошується на сайті Всесвітньої Метеорологічної Організації (WMO) "застосування WCP полягає у визначенні фізичної основи кліматичної системи, що дозволить виконувати достовірні кліматичні прогнози, а також у розробці та підтримці глобальної системи спостережень, яка була б здатна *найповніше задовольнити потреби в кліматичній інформації*".

## МЕРЕЖА ВОДНОБАЛАНСОВИХ ТА ПОДІБНИХ ЇМ ДОСЛІДНИХ СТАНЦІЙ В УКРАЇНІ

Розбудова мережі станцій для спостережень за опадами, температурою повітря та води, випаровуванням, ґрунтовими водами, стоком струмків, річок та площинного стоку зі схилів, снігозапасами та промерзанням ґрунту почалась в Україні з 1925 р.

До недавнього часу (2015 р.) в мережі пунктів спостережень та надходження інформації Українського гідрометеорологічного центру ДСНС України (УкрГМЦ), окрім 189 наземних метеорологічних станцій та 480 гідрологічних постів (в т.ч. в межах транскордонних річкових басейнів), з яких 365 пунктів на річках для вимірювань рівня і витрат, нараховувалось три водно-балансові станції (Придеснянська, Велико-Анадольська, Закарпатська) та одна польова експериментальна гідрологічна база

(Богуславська), хоча на сторінці “діяльність” сайту УкрГМЦ згадки про ці, підпорядковані йому станції немає. З 2014 р. Велико-Анадольська станція перебуває у зоні бойових дій та окупації, тому питання щодо проведення на ній досліджень не на часі.

На сторінці “Агрометеорологічна діяльність” сайту УкрГМЦ до функцій відповідного відділу включено “забезпечення інформацією про запаси вологи у ґрунті, рівні залягання ґрунтових вод...” тощо, що передбачає існування мережі спостережних свердловин, лізиметричних установок або дослідних шурфів для спостережень за вологоперенесенням в зоні аерації. Можливо при організації сайту передбачалось, що подібна інформація буде надходити від регіональних гідрогеолого-меліоративних експедицій, які вже розформовані, або від Басейнових управлінь водних ресурсів в системі Держводагенства, або системи відомчого гідрогеологічного моніторингу Держгеонадра України, від якої вже відмовились. Відомо, що в системі дослідних станцій колишнього Міністерства меліорації і водного господарства УРСР, а за часів незалежності — Державного комітету України з водного господарства (з 2011 р. — Держводагенство) також існували дослідні станції: Кам’янсько-Дніпровська, ДУ “Сульське дослідне поле”, Брилівська (ДП “Дослідне господарство Брилівське”), ДП “Дослідне господарство “Великі Клини” (Голопристанський р-н Херсонської області), Сарненська станція та Кримський науково-дослідний центр, на яких у свій час проводились спостереження на стаціонарних лізиметрах, свердловинах тощо. Дослідні станції підпорядковувались Інституту гідротехніки і меліорації, який в 2011 р. був перейменований в Інститут водних проблем і меліорації УААН. Діяльність ДУ “Сульське дослідне поле” та Брилівської станції, розташованої в Олешківському районі Херсонської області була припинена у 2012 р. Кримський науково-дослідний центр та “ДГ “Великі Клини” із зрозумілих причин також нині не підпорядковується інституціям України. На належному рівні працює лише Сарненська станція, проте і вона потребує істотної модернізації.

У свій час станції обладнувались вимірювальними пристроями, які передбачені для метеостанцій II розряду, включаючи термограф, барограф, гідрограф, дощомір, дощовий самописець, плевіограф. Таке обладнання залишається у використанні й сьогодні, що хоча й забезпечує добру успадкованість та порівнюваність отримуваних даних, свідчить про значне технічне відставання на рівні європейської та світової мереж гідрометеорологічних спостережень. Відмітимо також, що спостереження на водно-балансових станціях (ВБС) України ще й досі регламентуються “Руководством стоковим станціям”,

виданим за радянських часів в далекому 1954 році! Тим не менш, обладнання стокових майданчиків та визначення на них поверхневого стоку зі схилів лишається на сьогодні найбільш надійним та безальтернативним методом встановлення цієї важливої складової балансу вологи, перенесення розподілених на поверхні забруднювачів (Шевченко та ін., 2011) та динаміки ерозійних процесів, що слід враховувати під час модернізації ВБС.

Серед базових полігонів та станцій, що так чи інакше досліджували абіотичні компоненти ландшафтів, в т.ч. проводили спостереження за гідрофізичними і метеорологічними показниками, варто відзначити ДУ “Граківське дослідне поле” та “Коротичанське дослідне поле” Національного наукового центру “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського”. Унікальні та важливі для практики дослідження колись проводились на Баришівській болотній станції, яка нині перетворилась на звичайну метеостанцію. На базі Інституту сільського господарства Карпатського регіону (с. Оброшино Пустомитівського району Львівської області) тривалий час проводяться стаціонарні дослідження, в т.ч. й водного режиму ґрунтів. Ці станції, за відповідної реконструкції та модернізації, також можна було б включити до державної мережі ВБС.

Врешті комплексні регулярні спостереження за геофізичними, гідрофізичними, водно-балансовими та метеорологічними показниками проводились до 2010 р. на ВБС “Феофанія” Інституту геологічних наук України (Ситников и др., 2003), а з 2000 р. проводяться на Лютізькому полігоні НЦРПД НАН України. В Чорнобильській зоні відчуження ДСП “Екоцентр” та МС “Чорнобиль” виконують метеорологічні та радіологічні ландшафтні, гідрологічні і гідрогеологічні спостереження; тривалі спостереження за процесами волого- та масоперенесення на дослідному полігоні “Рудий ліс” до недавнього часу проводились підрозділом Інституту геологічних наук НАНУ (Бугай та ін., 2007).

На одній з небагатьох нині діючих Придеснянській ВБС досі проводяться регулярні спостереження та збирається багато цікавої для інтерпретації і наукових узагальнень інформації, проте її значна частина майже не використовується, оскільки не сформульована концепція наукового супроводу спостережень та не обґрунтована репрезентативність показників для зони Полісся.

### **ОБҐРУНТУВАННЯ ДОДАТКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ**

В наш час менш працевитратні дистанційні методи досліджень, завдяки збільшенню роздільної здат-

ності і використанню штучного інтелекту, є значно привабливішими для дослідників, ніж інструментальні спостереження на майданчиках вдаліні від зручних кабінетів. Проте, навіть надсучасні нейронні мережі не здатні навчитися прогнозувати без довгого ряду вхідних даних натурних спостережень.

Наведемо лише окремі, на нашу думку вирішальні підстави, що зумовлюють необхідність проведення комплексних *метеорологічних, гідрофізичних (в зоні аерації), гідрогеологічних, геофізичних та гідрологічних* спостережень *in situ*.

1. Першим є положення Володимира Вернадського про обмін та всепроникність вологи в земній корі. Істотно зменшується ефективність робіт та достовірність моделювання, якщо розглядати окремо баланс річок, вологи в атмосфері, зоні аерації, насиченій зоні при *вирішенні проблеми дефіциту ресурсів питної води в регіоні (водному басейні)*.

2. Одним із головних підходів до планування використання водних ресурсів, що забезпечує зменшення залежності від впливу невизначеностей у змінах ресурсів у майбутньому, є *постійний моніторинг ресурсів підземних вод* або принаймні основних чинників, що контролюють прибуткову і витратні статті балансу водонесних горизонтів. До таких чинників слід віднести щонайменше: вологість ґрунту, опади, випаровування, рівні та витрати підземних вод, що вимірюються безпосередньо на площі водозборів. Ця мінімальна кількість даних може забезпечити лише загальну уяву про поточні та можливі гідрологічні зміни (Holländer et al., 2016). Для завчасного виявлення несприятливих змін метеорологічних показників, до того як вони негативно відобразяться на водних ресурсах необхідні додаткові дослідження. Завчасне виявлення негативних тенденцій дасть більше часу (залежно від гідравлічної чутливості системи) на розробку відповідної стратегії адаптації та водокористування.

Одними з найбільш актуальних завдань сучасності є *з'ясування впливу змін клімату на ресурси прісних вод на континентах та розробка стратегії водокористування в умовах цих змін*. Як відомо, в першу чергу глобальні зміни проявляються в атмосфері. Тому і першим наслідком глобального потепління буде метеорологічна посуха. Реагування ґрунтової (порової) вологи та підземної гідросфери на зміни погодно-кліматичних умов відбувається із запізненням. Отже, існують граничні значення ряду *метеорологічних показників*, за якими можна достатньо впевнено передбачити настання гідрогеологічної посухи для певних ландшафтно-кліматичних умов.

3. *Моніторинг* довілля повинен швидко реагувати на зміни пріоритетів у дослідженнях, а також

зосереджувати більше уваги на явищах і процесах, які підпорядковуються як внутрішнім так і зовнішнім чинникам різної природи. Тобто спостереження слід проводити не лише в межах певного напрямку або галузі науки (метеорології, гідрології, радіології тощо), що контролює лише одну із сфер або компонентів середовища (атмосферу, поверхневі або підземні води чи педосферу) і підпорядковано лише відомчим інтересам чи то УкрГМЦ чи Держслужби геології та надр України або що, а одночасно по всіх складових, оскільки пояснення для більшості маловивчених явищ та закономірностей можна знайти лише на стику різних наук, про що ми вже наголошували в попередніх роботах (Шевченко та ін., 2023).

4. Прогнозуючи події, пов'язані із *змінами клімату*, серед багатьох використовують підхід "псевдоглобального потепління", який передбачає створення збурюючого сигналу (як то значне надходження в атмосферу парникових газів тощо), який провокує відповідні відгуки метеорологічних і гідрологічних показників (Rasmussen et al., 2017). Отже, прогнозна модель обов'язково включатиме показники, які змінюються під впливом збурення. Це: температура поверхні землі, приземного повітря, висота геопотенціалу, вологість повітря або дефіцит вологості, горизонтальний вітер, температура поверхні моря, тиск на рівні моря та температура ґрунту (Liu et al., 2017; Rasmussen et al., 2017).

Цілком очевидно, що прогнозуючи *живлення ґрунтових вод та РГВ* слід спиратись на ряди прямих даних, проте враховувати і регіональні кліматичні, і локальні гідрофізичні показники в зоні аерації. Проте, і цього може бути недостатньо коли постає завдання завчасного виявлення небезпечних процесів, як то гідрологічна посуха, що призводять до регіональних змін водних ресурсів.

5. В роботі К.Д. Ткаченка (1965) наголошувалось на необхідності врахування швидкості вітру, насичення повітря водяною парою тощо, як метеорологічних чинників "другого плану", при розрахунках та прогнозуванні *складових балансу ґрунтових вод*. Серед чинників, що впливають на коливання РГВ є й такі, що безпосередньо не пов'язані із живленням або розвантаженням ґрунтових вод. До них належать гравітаційні сили Місяця і Сонця, баричні коливання атмосфери і слабкі вібротехнічні процеси.

6. Оцінюючи *масообмін вологою між атмосферою і літосферою* слід зосереджувати увагу на вивченні ролі в ньому *мікроструктури покривних відкладів* із зонами швидкої міграції, *пружних поверхневих хвиль* і *електричних потенціалів приземної атмосфери*. Заслужують на увагу *мікрогеодинамічні і електродинамічні коливання* різного рівня

циклічності: добові, місячні, сезонні, річні, багаторічні тощо. Кожен цикл має свої генетичні особливості і ступінь впливу на РГВ. Механізми цього впливу на гідрогеосферу досліджені недостатньо.

Нові чинники енерго- та масообміну слід шукати через аналіз природних сил, які можуть впливати на високорухомі складові ландшафтів. Встановлено, що домінуючим чинником більшості динамічних явищ є *мікрогеодинамічні процеси*, які проявляють дію пружних автоколивальних хвиль у поверхнево-му шарі геологічного середовища. Такі явища мають ряд унікальних властивостей, які відсутні в глибших горизонтах масиву. Це пов'язано з тим, що денна поверхня є ареною взаємодії глибинних енергетичних потоків з атмосферними і космічними. Всі ці поля формують високо динамічне середовище (Бублясь В., 2009; Бублясь М., 2009). Мова йде про *генерацію пружних хвиль* завдяки складному комплексу обер-тальних рухів, здійснюваних нашою планетою, яка, по-перше, обертається навколо своєї вісі з лінійною швидкістю на екваторі 465 м/с, по-друге, обертається навколо Сонця зі швидкістю, яка перевищує попередню майже на порядок — близько 30 км/с, по-третє, спільно з Сонцем та іншими планетами Сонячної системи рухається навколо центру Галактики із ще більшою середньою швидкістю — 270 км/с. Всі ці ротаційні рухи в різних площинах відрізняються за швидкістю і коливальною ритмічністю. Вони відображаються в ландшафтних процесах і формують структуру земної кори (Шамаєв, 2011). Елементарною ланкою цієї структури є *мікрогеодинамічні зони* (МГЗ) (Бублясь В., 2009).

7. Після вивільнення пружними хвилями плівок води, сорбованої на елементарних частинках порід (принцип вібраційних ефектів у дисперсних тілах — сепарації за щільністю) волога переміщується під впливом гравітаційних та електричних (в т.ч. електромолекулярних) сил у напрямку шарів, де мають перевагу від'ємні заряди, в тому числі й до водоносних горизонтів. Необхідною умовою здатності електричних сил переміщувати вологу у породах зони аерації є достатньо великий градієнт. Такий градієнт може бути сформований в результаті взаємодії *атмосферних і літосферних електричних полів* (Бублясь та ін., 2008).

*Електричні і електромагнітні явища*, які генеруються у геологічному середовищі і приземній атмосфері є важливими чинниками, що регулюють живлення ґрунтових вод. Найбільшим постачальником електричної енергії у покривні відклади виступають *атмосферні статичні електричні поля*. З іншого боку у покривних породах електричні і теплові поля виникають в результаті вивільнення енергії при затуханні автоколивальних пружних хвиль.

Перспективними і слабо дослідженими на сьогодні є питання впливу на гідросферу *магнітного поля* Землі, яке зазнає не лише монотонних вікових змін, пов'язаних із земними надрами, а й добові коливання, підпорядковані дії ультрафіолетового сонячного опромінення (іонізацією атмосфери). Магнітні бурі, як відомо, мають 27-денну та 11-річну повторюваність. Якщо 11-річна циклічність має також місце в режимі підземних вод, то дослідження проявів 27-денної циклічності в їх режимі невідомі, хоча вплив вертикальної складової напруженості геомагнітного поля на рівень підземних вод цілком вірогідний. В системі вода-порода усі складові мають магнітну сприйнятливості, проте їх реакції на геомагнітне поле та його мінливість істотно відрізняються (Кириухин і др., 1988). Фізична сутність впливу електромагнітних полів на переміщення вологи в зоні аерації закладена у поведінці вільних дипольних молекул. В неоднорідному електростатичному полі на диполь, крім крутного моменту, діє сила, під дією якої диполь або втягується в область сильнішого електричного поля, або навпаки — виштовхується з поля. Оскільки, неоднорідність електромагнітного поля змінюється у вертикальному напрямку, то і рух диполів води має висхідний або низхідний характер.

В залежності від знаку полюсів магнітного поля Сонця, температури атмосферних фронтів, характеру зміни напружено-деформаційного стану порід (стиснення, розтягування) формуються переважаючі додатні або від'ємні *електричні статичні поля* в приземній атмосфері і верхніх шарах літосфери, які спонукають до переміщення водні розчини, в першу чергу, до ґрунтових вод, а інколи і в більш глибокі горизонти. Встановлено, що вільні молекули води в породах зони аерації рухаються від шарів із переважаючими додатними зарядами до від'ємних. Величина *статичного електричного поля* в умовах широт України може сягати  $\pm 12000$  В/м (переважно внаслідок активізації атмосферних фронтів).

Крім того, значні електричні потенціали формуються під час іонізації повітря в порах ґрунтового покриву і порід зони аерації (ЗА) *внаслідок розпаду природних радіоактивних елементів* (Руденко, Абрамова, 1975). Іонізовані флюїди порід взаємодіють із електричними полями атмосфери. В результаті, між атмосферою і літосферою відбувається обмін електричними зарядами у вигляді електричного струму (Бублясь, 2017). Показники сили електричного струму відображають рух електронів, іонів, молекулярних заряджених асоціацій у певному фізичному стані: газоподібному, рідкому, високодисперсному твердому. Молекули води, як дипольні системи, за наявності шарів із доміную-

чими електричними зарядами переміщуються від шарів із позитивними зарядами (анодних) до негативних (катодних) полів, як в рідкому, так і в газоподібному стані. Необхідно підкреслити, що волога в пароподібній формі під впливом електричних полів рухається значно швидше ніж у рідкому стані (Шевченко та ін., 2016).

8. Важливі також спостереження за змінами *теплого поля* у верхніх шарах літосфери, оскільки за значних змін клімату можливе зміщення на глибину подошви шарів добових, сезонних, річних та навіть багаторічних змін (амплітуд) температури, з чим пов'язане згадуване вище конденсатогенне живлення підземних вод а також швидкість виснаження сформованої за вологий період "верховодки". В Україні ж практично відсутні сучасні систематичні визначення швидкості конвективного теплоперенесення в породах, в той час як є висока вірогідність значних змін товщини шару сезонних амплітуд температури (зазвичай вона складає 8–10 м), обумовлених зростанням та тривалістю високих температур в приземному шарі атмосфери. Це врешті визначає механізми та обсяги вологоперенесення в зоні аерації, а отже і живлення ґрунтових вод. Для скельних та щільних дрібнодисперсних порід більш важливим є кондуктивний механізм, або "температурна хвиля", який проте має запізнення на 20–30 діб на кожен метр глибини. Важливо слідкувати і за змінами амплітуд температури до подошви шару її багаторічних змін. Потужність цього шару (зазвичай 20–25 м) суттєво пов'язана із кліматичними циклами в 11 і 35 років. Ізотермічні поверхні в товщі осадових відкладів якісно корелюють із поверхнею радіаційного балансу певної території.

Важливо, щоб спостереження за випаровуванням проводились не лише на водно-балансових а й на усіх метеорологічних станціях.

9. Оскільки в умовах потепління клімату в зоні достатнього та надлишкового зволоження спостерігається швидке нарощування рослинної біомаси і *зростання ролі транспірації*, більшої вагомості та значення набувають *геоботанічні* дослідження, які також покликані контролювати зміни рослинних угруповань при зміщенні та розширенні на північ посушливої та недостатньо зволоженої зон України (Ромащенко та ін., 2020).

### ДОСЛІДЖЕННЯ НА КОМПЛЕКСНОМУ ПОЛІГОНІ (ПРИКЛАД)

Для демонстрації ефективності комплексних досліджень, що охоплюють приземні шари атмосфери, зону аерації, насичену зону першого від поверхні постійного водоносного горизонту а також верхні

шари літосфери перейдемо до короткого огляду методів і методичних прийомів експериментальних досліджень на Лютізькому полігоні ІГН і НІЦРПД НАН України.

Визначальним компонентом природного комплексу полігону є *кліматичні умови*. Вони є результатом складної взаємодії великої кількості чинників, що врешті сформували певний тип ландшафту. В основі клімату лежать процеси, які сприяють обміну речовини і енергії між окремими складовими ландшафту. Відбуваються певні зміни у ґрунтовому покриві, породах зони аерації і підземних водах (переважно верхніх горизонтів). Найбільше значення для геологічних і гідрогеологічних процесів серед кліматичних чинників мають: 1) сонячна радіація, 2) атмосферні опади, 3) напруженість електромагнітного поля, 4) баричні зміни, 5) співвідношення додатних і від'ємних аероіонів.

*Загальна концепція* спостережень та наукових досліджень на Лютізькому полігоні була сформульована в часи актуальності вивчення закономірностей міграції забруднюючих речовин, зокрема радіонуклідів, у геологічному середовищі. Визначення захищеності підземних вод, дослідження волого- та масоперенесення в зоні аерації ґрунтувались на порівнянні значних відмінностей між цими показниками і процесами у мікрозападинах та на прилеглому "фоні" пласких або підвищених ділянок. Так вдалось виявити істотну роль мікрозападин, як аномальних зон швидкої міграції, у загальному живленні та забрудненні ґрунтових вод (Шестопапов и др., 2007). Отриманий досвід у поясненні різноманітних аномалій в процесах вологоперенесення та масообміну переконав у доцільності обладнання станцій або дослідних полігонів спеціальними приладами та засобами спостережень.

**Матеріали та методи.** Лютізький експериментальний дослідний полігон обладнаний майданчиками регулярних спостережень за станом погоди, атмосферними електричними статичними полями, напружено-деформаційним станом порід зони аерації, змінами їх зволоження, рівнями ґрунтових вод. Велика увага приділяється вивченню атмосферних явищ, які є основними чинниками екзогенних процесів в межах зони гіпергенезу. Крім теплової енергії, генерованої сонячною короткохвильовою радіацією в атмосфері і підстильній поверхні, проводяться режимні спостереження за характером руху атмосферних фронтів, опадами, напруженістю статичного електричного поля, співвідношенням додатних і від'ємних аероіонів, баричними показниками, вологістю повітря тощо.

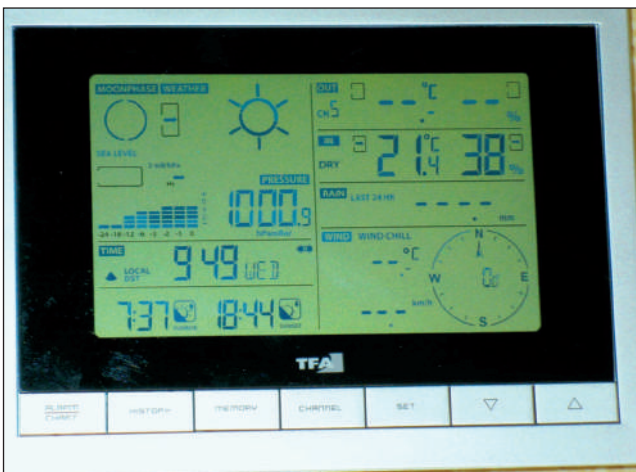
На полігоні використовуються геофізичні прилади із автоматичною електронною фіксацією даних,



**Рис. 1.** Гідрогеофізична 8-канальна станція синхронного вимірювання і автоматичного записування показників зони аерації

механічні самописці і ручний режим вимірювання. До першої групи належать: 1) гідрогеофізична 8-ми канальна станція синхронного вимірювання і автоматичного записування у цифровому форматі (рис. 1); 2) електронна метеостанція SINUS (рис. 2). До другої групи належать барографи, гідрографи і термографи (рис. 3); до третьої — обладнання для контролю за РГВ, температурою, вологістю ґрунту, атмосферними опадами, для вимірювання аероіонів (рис. 4), атмосферного тиску, вологості повітря тощо.

За допомогою гідрогеофізичної 8-ми канальної станції проводились експериментальні роботи з метою виявлення закономірностей руху порових розчинів в породах зони аерації. Для пояснення



**Рис. 2.** Електронна метеостанція SINUS фірми TFA



**Рис. 3.** Метеорологічна будка із механічними тижневими самописцями атмосферного тиску, вологості і температури повітря, а також лічильника аероіонів





Рис. 4. Вимірювання аероіонів і їх співвідношення іономіром MAC- 01

коливань інфільтраційного живлення в часі та виявлення чинників цих коливань були розроблені спеціальні прилади, здатні вимірювати коливання напружено-деформаційного стану порід і статичні електричні поля приземної атмосфери в автоматичному режимі.

Для вимірювання величини горизонтальних коливальних рухів (стиснення–розтягнення) порід розроблена спеціальна стаціонарна установка (деформограф), принцип роботи якої полягає у фіксації величини лінійного (горизонтального) зміщення порід. Для вимірювання вертикальних коливань напружено-деформаційного стану порід побудовані дві сейсмостанції (рис. 5). Сейсмодатчики мають оригінальну конструкцію: коливальний контур базується на магнітній подушці із високою чутливістю, в т.ч. й до звукових акустичних хвиль. Деформографи і сейсмостанції змонтовані в спеціально обладнаних шурфах (на фоновій ділянці і в аномальній зоні) із захисними засобами зниження зовнішніх впливів (температури, вологи, динамічних технічних коливань).

Експериментальні дослідження зміни температури в породах зони аерації проводились на двох ділянках — фоновій і аномальній (в центральній частині западини). На кожній з них було споруджено 5 свердловин глибиною 10, 50, 100, 150 і 200 см. Паралельно із вимірюванням температури порід проводилось і вимірювання температури верхнього шару ґрунтових вод. Вимірювання здійснювалось глибинним електронним термометром ЛТ-300 із

чутливістю платинового датчика 0,010, переважно двічі на добу — вранці та ввечері.

Вивчення *структурно-геодинамічних* зон методом *еманаційного зондування* дозволяє виявляти аномальні ділянки безпосередньо в покривних відкладах. Еманаційне зондування (профілювання і зйомка) використовується і для визначення інтенсивності аномальних проявів радіоактивних газів, та, певною мірою, оцінки інтенсивності геодинамічних процесів на окремих ділянках (рис. 6). Розміри зон розущільнених порід і деякі їх аномальні властивості (ступінь роздробленості, висота водопроникність) добре фіксуються під час детальної еманаційної зйомки проявів радіоактивних



Рис. 5. Сейсмостанція (датчик і адаптер) для фіксації вібраційних і коливальних вертикальних рухів в аномальній і фоновій ділянках на полігоні "Лютіж" (спроектована і виготовлена Чурубровим М.С.)



**Рис. 6.** Вимірювання радону в ґрунтовому повітрі в аномальній зоні і на фоновій ділянці полігону “Лютіж” приладом альфа-бета аналізатор  $\gamma$ -спектрометр РГА-01

та вуглекислого газу. Для вимірювань концентрації еманцій радону ( $Rn^{222}$ ) і торону ( $Rn^{220}$ ) в ґрунтах (на глибині 0,5 м) використовувався альфа-бета аналізатор і гамма-спектрометр NS-4826 і РГА-01 (рис. 6). Інтенсивність аномального поля розраховується за радон-тороновим співвідношенням і порівнянням цих даних із фоновими показниками. За складом виділяються радонові, торонові і змішані (радон-торонові і торон-радонові) еманції.

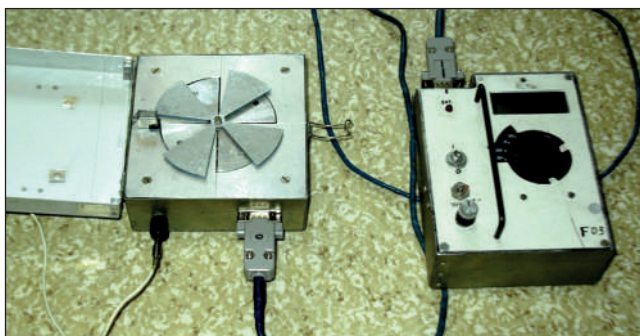
Електричні і електромагнітні явища вивчалися на рівні атмосфери і літосфери і їх взаємозв'язку. Для визначення рівня напруженості електромагнітного поля був розроблений, апробований і

успішно використаний у тривалих спостереженнях флюксметр ФЧ-2/06. Принцип дії даного приладу базується на фіксації статичних електричних потенціалів, що знаходяться у приземній атмосфері і попадають на приймальні пластини датчика (рис. 7).

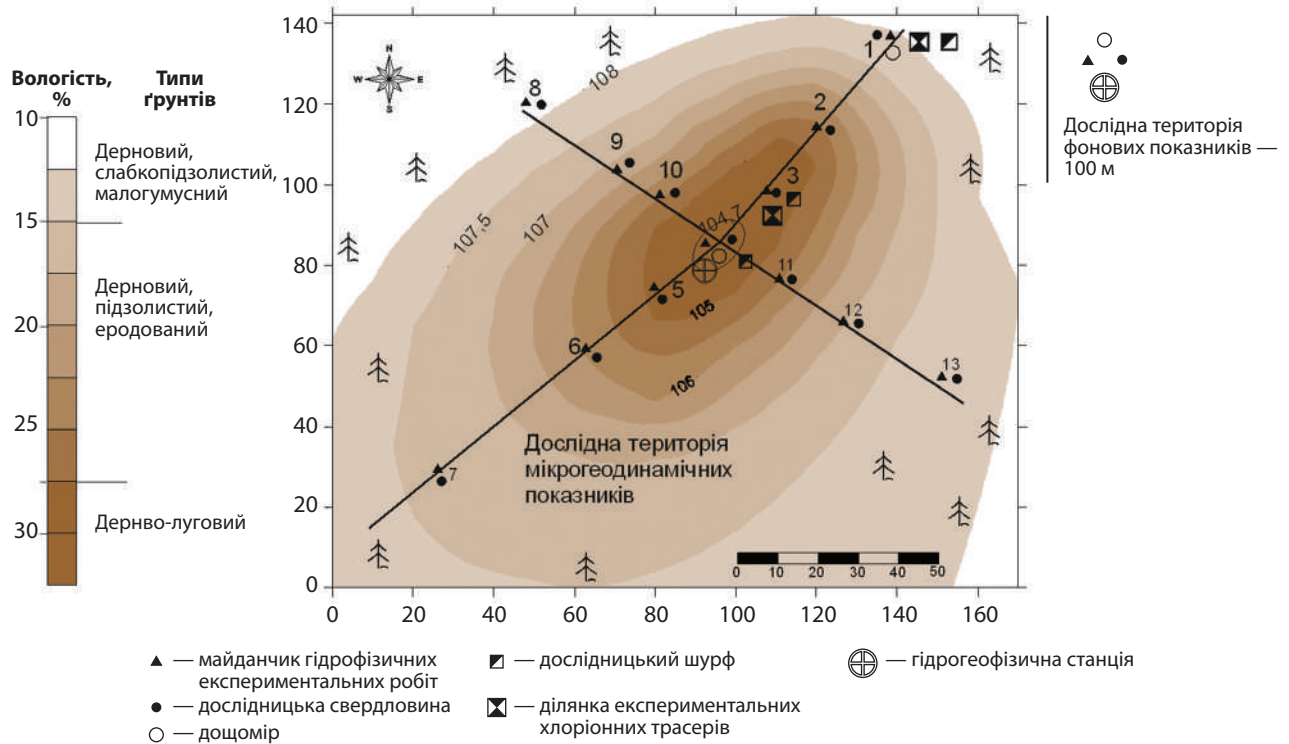
### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ПОЛІГОНІ “ЛЮТІЖ”

На науково-дослідному полігоні розміщено два експериментальних майданчика, які представляють фонуву і мікрогеодинамічну зони (рис. 8), на яких усі спостереження проводяться синхронно, що є необхідною умовою експериментально-дослідних робіт. Даний підхід дає можливість виявити геодинамічні особливості, притаманні мікрогеодинамічній зоні у порівнянні з фоновими показниками.

Для виявлення закономірностей руху вологи в зоні аерації і живлення підземних вод велике значення має визначення ролі кожного окремого фактору у водообміні. А тому важливо отримати показники режиму усіх чинників масообміну у добовому, сезонному і річному циклах. Для цього були розроблені нові методичні підходи щодо оцінки перенесення розчинів та окремих природних хімічних елементів. Ці підходи базуються на використанні високоточних приладів вимірювання із



**Рис. 7.** Флюксметр ФЧ-2/06 для вимірювання напруженості статичного електричного поля у приземній атмосфері (спроектовано і виготовлено Чурубровим М.С.)



**Рис. 8.** Схема западинної морфоскульптури та прилеглої фонові ділянки полігону "Лютіж" із інструментальними пунктами моніторингу мікрогеодинамічних процесів і ландшафтних компонентів

автоматичною фіксацією даних на цифрові носії інформації (Bublias and Shevchenko, 2022).

Науково-дослідна (оціночна) частина моніторингових робіт виконувалась за двома напрямками: 1) оцінка чинників, що впливають на міграцію високорухомих складових порід зони аерації і 2) вивчення процесів вертикального і горизонтального напрямків руху рідкої, твердої і газоподібної складових МГЗ.

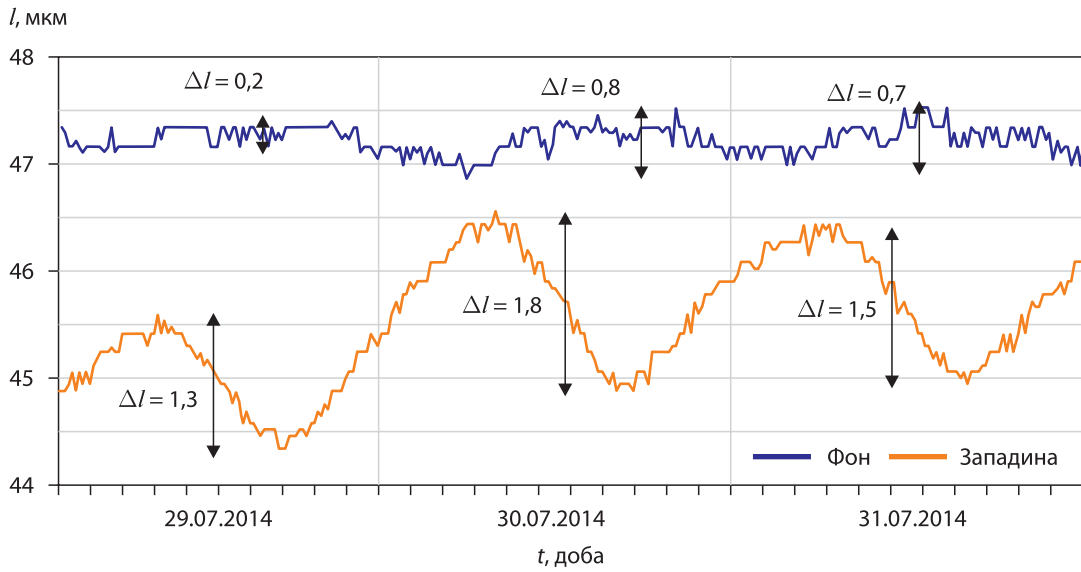
Попередні дослідження величин напружено-деформаційного стану порід дають підставу вважати, що покривні відклади, навіть платформних, тектонічно стабільних областей постійно зазнають механічних напружень, порушень і геохімічних перетворень під впливом ротаційних сил Землі, гравітаційних сил Місяця і Сонця, електромагнітних сил, генерованих атмосферою. Всі ці сили, ймовірно, є причиною утворення МГЗ в осадовій товщі і специфічних ландшафтів з підвищеним енергомасообміном.

Внаслідок різноспрямованих рухів у покривних відкладах відбувається їх структурування у вигляді зон літологічної трансформації (сепарації) порід і зон із підвищеним напружено-деформаційним станом порід (НДСП). Наші дослідження торкаються переважно зон із підвищеними НДСП, які відносяться до розряду мікрогеодинамічних зон. Причина

високої уваги до цих геологічних об'єктів полягає у їх особливій гідрогеологічній функції: 1) перерозподілі поверхневих вод з їх концентруванням у межах геодинамічних зон, 2) генерації пружних і електричних полів, що впливають на швидкість переміщення порових розчинів, 3) в істотному впливі на живлення ґрунтових вод і 4) формуванні хімічного складу порових і ґрунтових вод.

Під час багаторічних режимних спостережень за коливанням РГВ і вологістю порід помічено, що волога з різною інтенсивністю постійно рухається як у низхідному, так і у висхідному напрямках протягом всього року, часто порушуючи традиційні причинно-наслідкові зв'язки між кількістю вологи, що надійшла на поверхню ґрунту та реакцією на неї РГВ (Бублясь В., 2009). Найбільш інтенсивні коливання РГВ спостерігаються в осінню і весняну пори року — в періоди низьких і помірних опадів, проте високої нестабільності атмосфери, статичних електричних і баричних полів, а також значних коливань величин напружено-деформаційного стану порід.

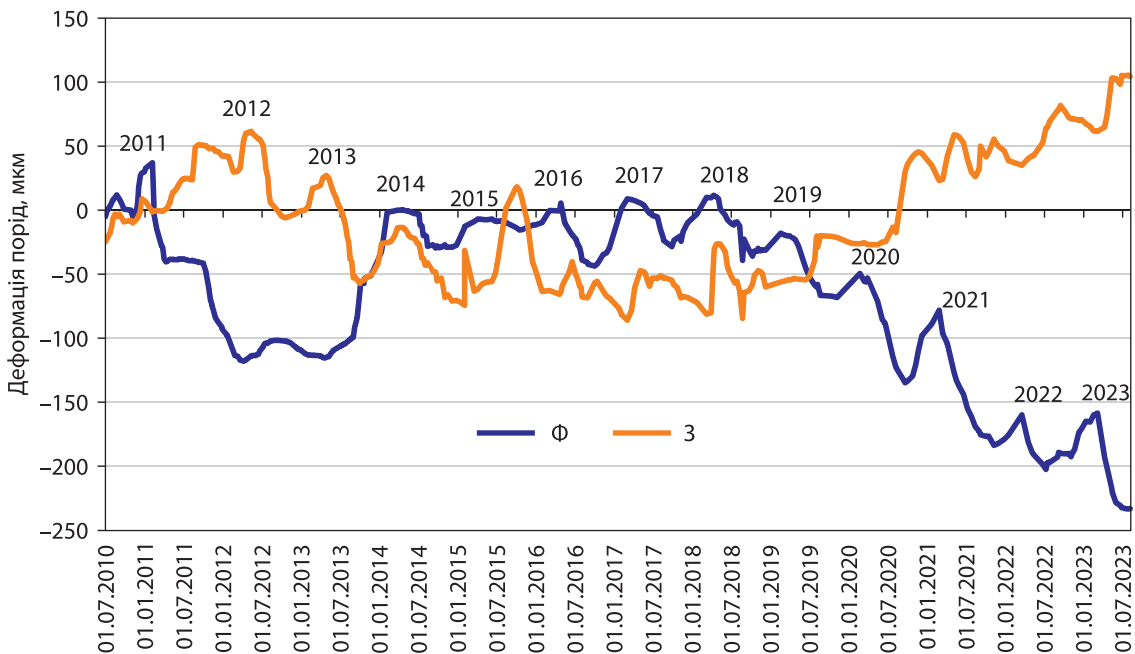
В матеріалах вимірювання показників НДСП чітко простежується циклічність (добова, місячна, сезонна, річна, багаторічна) (рис. 9), яка пов'язана із особливостями обертання Землі і планет Сонячної системи. У багаторічних циклах за роки моніторингу НДСП відбулися два періоди із синхрон-



**Рис. 9.** Типовий характер добових коливань напружено-деформаційного стану порід ( $l$ ) за даними деформатографа, в шурфі на глибині 2,5 м на фоневій ділянці і у западинній формі полігону "Лютіж" за період 29.07–01.08. 2014 р.  $\Delta l$  — амплітуда добових коливань

ним напрямком зміни НДСП в аномальній зоні і на фоневій ділянці (2008–2010 рр. і 2013–2018 рр.) і 2 періоди із асинхронним (протилежно направленим) напрямком зміни НДСП (2011–2013 рр. і 2019–2023 рр.) (рис. 10). Але, необхідно підкреслити, що наприкінці першого періоду асинхронної зміни НДСП (2013 р.) відбулася активна фаза резонансу стоячої хвилі, коли два напрямки хвиль мали зу-

стрічний характер, що викликало ряд аномальних явищ в насиченій зоні центральної частини западинної морфоскульптури. А саме: відбулося підвищення РГВ, електричних потенціалів у породах зони аерації, зміна хімічного складу порових і ґрунтових вод (загальна мінералізація підвищилася більше, ніж у 12 разів!). Судячи з характеру зміни НДСП, подібні явища можуть відбутися і у 2024 р. Якщо

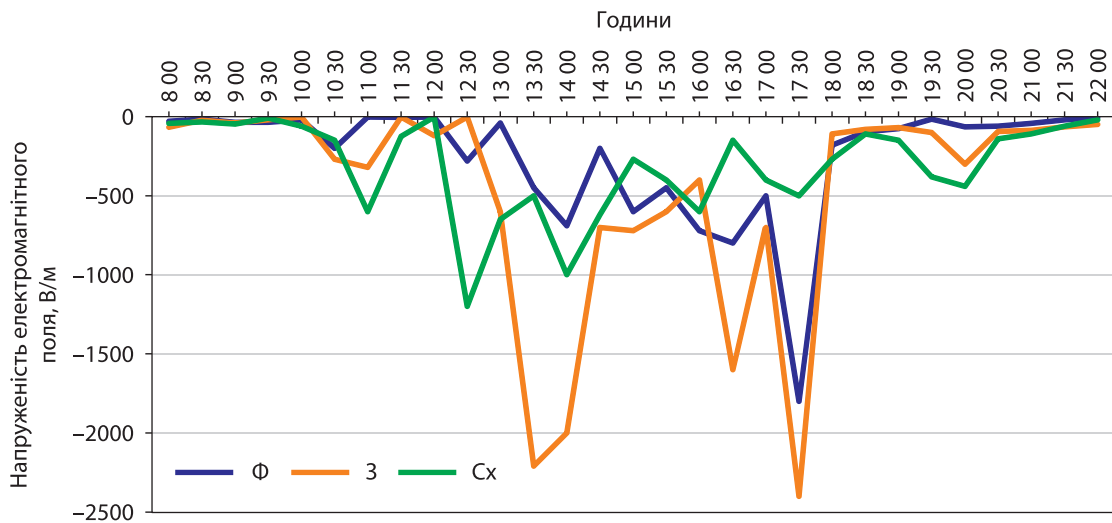


**Рис. 10.** Зміни напружено-деформаційного стану (стиснення-розтягування) порід за даними деформатографа, встановленого в спеціально облаштованому шурфі на глибині 2,5 м на фоневій ділянці (Ф) і у западинній формі (З) полігону "Лютіж" за 2009–2023 рр.

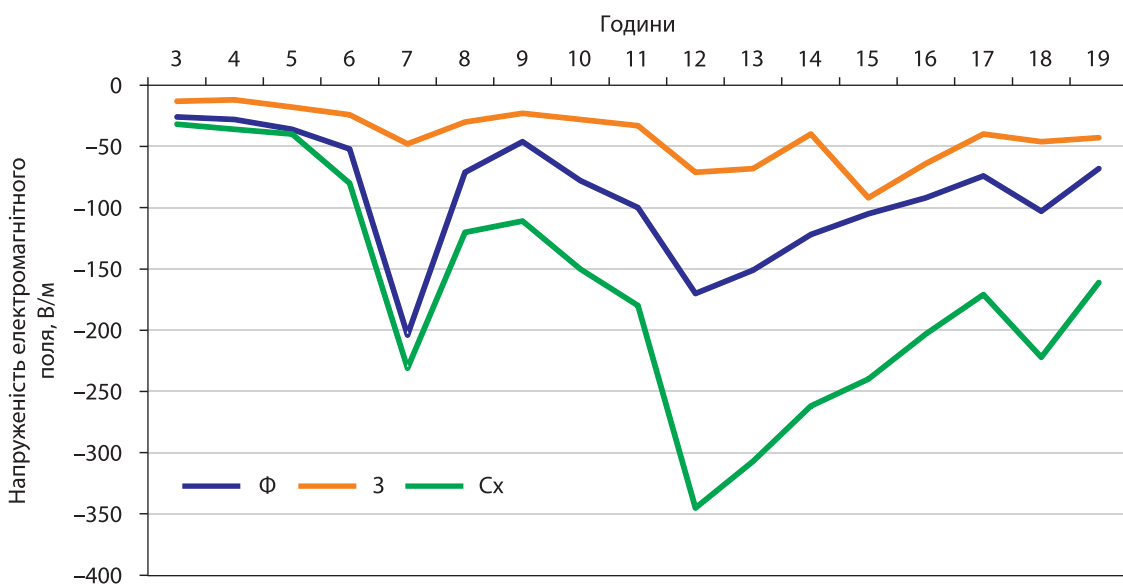
це підтвердиться, то отримані результати можна буде використовувати для прогнозування живлення ґрунтових вод.

Як і НДСП величини напруженості статичного електромагнітного поля також змінюються за правилами певної циклічності: а) у добових циклах в умовах "хорошої погоди" простежуються закономірні зміни за фазою доби: в денний час збільшується кількість від'ємних, а в темну пору — додатних величин; б) часто виділяються *тижневі* цикли, які вкладаються переважно у терміни від 5 до 8 діб; в) відносно стійкими є *сезонні* цикли, які чітко відображаються на напружено-деформаційних, елек-

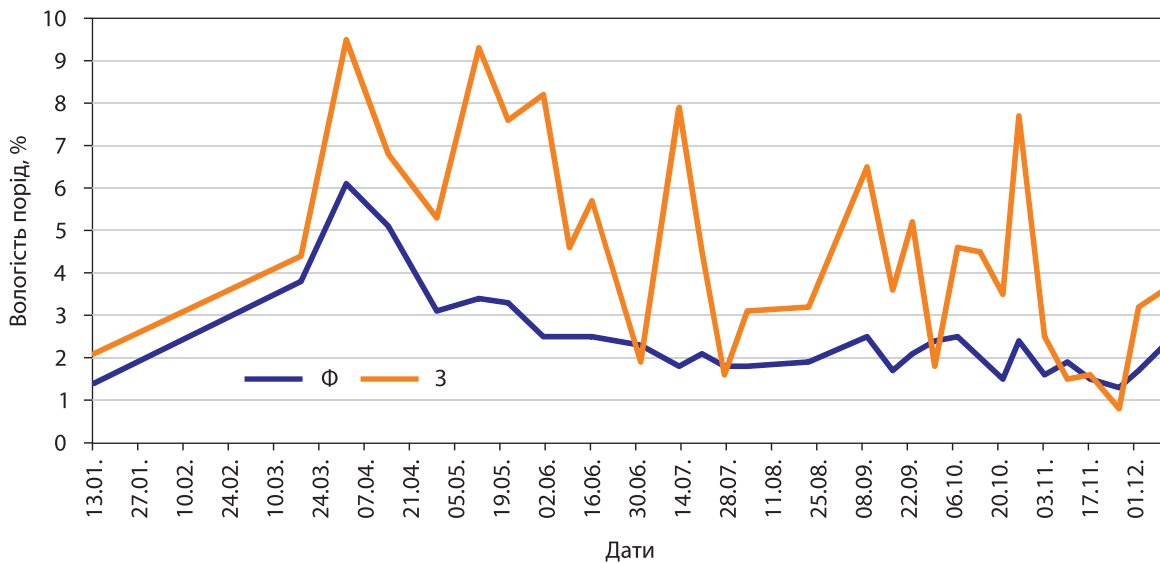
тричних показниках і коливаннях РГВ; г) річні цикли чітко проявляються для всіх показників; д) із багаторічних циклів добре виділяються 3-, 5- і 11-річні цикли. Нерідко дрібні цикли порушуються зміною циклональних і антициклональних фронтів, які постійно повторюються, але не мають чіткої часової і стабільної енергетичної прив'язки, тому спрогнозувати їх дуже важко. Але гідрологічна і гідрогеологічна їх дія вельми значуща — холодні фронти приносять, переважно, від'ємні електричні поля, а теплі — додатні (рис. 11, 12) із показниками  $E$  у декілька тисяч Вольт/метр, що відчутно впливає на переміщення вологи в породах зони аерації.



**Рис. 11.** Характер зміни напруженості статичного електричного поля у приземній атмосфері на різних морфологічних елементах западнинної морфоскульптури полігону "Лютіж" (Ф — фонові, З — центральні западини, Сх — схилові ділянки) в період приходу антициклонального фронту (станом на 28.10.05)



**Рис. 12.** Зміни напруженості статичного електричного поля у приземній атмосфері на фонівій ділянці (Ф), в центрі западини (З) та на її схилі (Сх) в період наступу циклонального фронту (станом на 04.04.2007 р.)



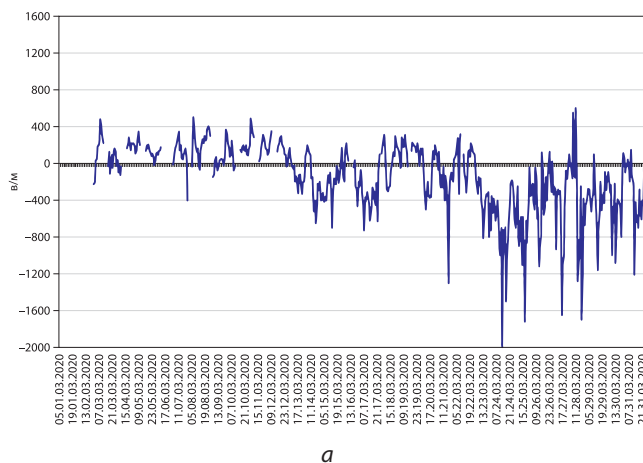
**Рис. 13.** Характер змін середніх значень вологості порід зони аерації, визначених на фоновій (Ф) і западинній (З) ділянках полігону “Лютіж” у 2010 р.

Найкраще реагує на зміну певних фронтів МГЗ, де вологість у короткі проміжки часу змінюється на декілька відсотків (рис. 13).

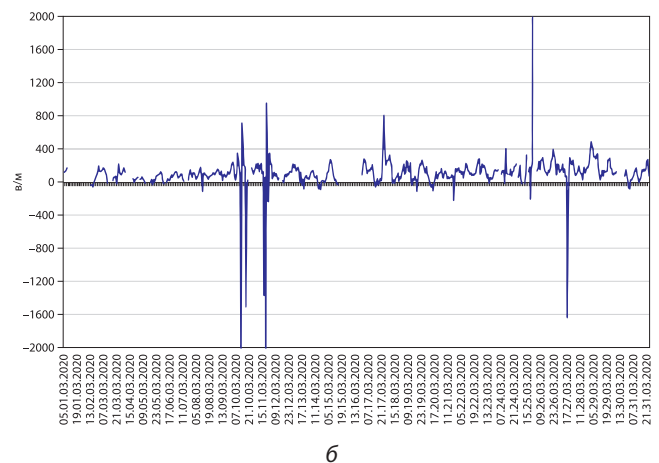
У весняно-осінній періоді активізуються геологічні процеси зміни НДСП, тобто, у березні–квітні і жовтні–листопаді відбувається зміна швидкості обертання Землі — перехідний період від уповільнення до прискорення, а вірніше, на границі гальмування–прискорення швидкості обертання планети відбувається зародження пружних хвиль стиснення-розтягування, які генерують електричні потенціали (п’єзо ефекти) і підсилюють напруженість електричного поля приземної атмосфери (рис. 14). А в літній, більш стабільний в області ротаційної мікрогеодинаміки період Е суттєво зни-

жується, як в роки із переважаючими від’ємними полями, так і в роки із додатними полями. Даний ефект, ймовірно, пов’язаний із конвекційними тепловими потоками від нагрітої земної поверхні, а головне, нагріта земна поверхня і породи зони аерації швидко компенсують заряди приземної атмосфери, що має своє відображення у характері руху вологи і живленні ґрунтових вод (Шевченко та ін., 2016). І за принципом зміни НДСП відбувається циклічна багаторічна зміна знаку переважаючих зарядів у приземній електриці та якісних і кількісних показників підземних вод.

Результати сезонних вимірювань атмосферних статичних полів (рис. 14) показують певну залежність їх показників і від зміни напружено-деформаційно-



а



б

**Рис. 14.** Особливості коливань напруженості статичного електричного поля приземної атмосфери на полігоні “Лютіж” у 2020 році: а — в період відносно стабільного стану атмосфери і літосфери (1 декада) і зміни швидкості обертання Землі у другій і третій декадах березня; б — в умовах сезонного стабільного мікрогеодинамічного стану порід із стрибками Е від грозових хмар у серпні

го стану порід. В літній період геодинамічні процеси більш стабільні і їх роль у формуванні статичної електрики зменшується, але збільшується роль атмосферних процесів — сонячної радіації, атмосферних фронтів і опадів. Грозові хмари несуть в собі великі додатні і від’ємні електричні потенціали (інколи сягають 12000 В/м).

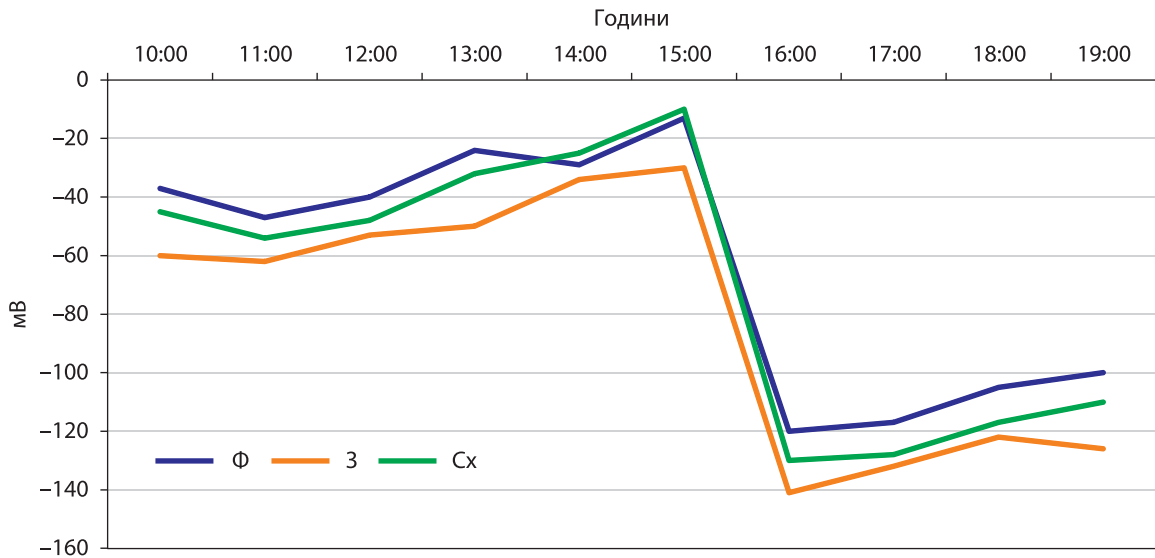
Наступним важливим компонентом у формуванні електричних полів між атмосферою і літосферою є *атмосферні опади*. Серед процесів, які відбуваються у дощових хмарах, існує багато чинників, що призводять до електризації крапель, сніжинок, градинок і можливої їх зарядки завдяки різним формам руху і фазовим перетворенням. Потрапляючи на денну поверхню краплі води віддають свої заря-

ди поверхні ґрунтового покриву (рис. 15), і взаємодіють із електрикою порід зони аерації і впливають на рух порових розчинів.

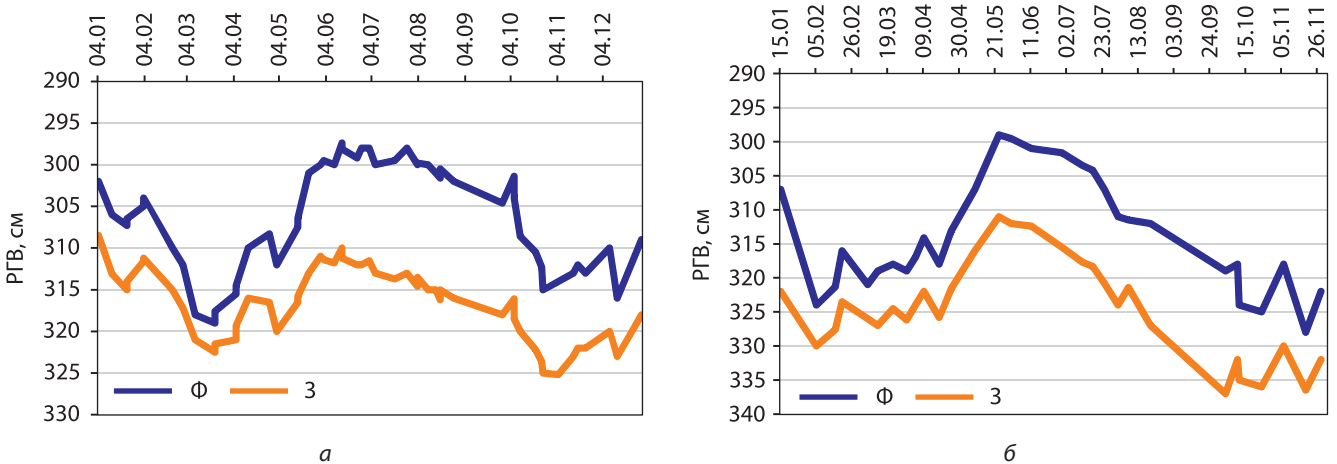
На підставі замірів напруженості, напруги і величини електричного струму, було встановлено ряд закономірних зв’язків між електричними силами і об’ємом переміщеної вологи (Бублясь та ін., 2008).

У характері зміни РГВ можна виділити ряд індикаторних позицій, які свідчать про особливості руху вологи в зоні аерації та живлення ґрунтових вод. У першу чергу це морфологія кривих, які відображають періоди активного живлення водоносного горизонту і періоди його розвантаження (рис. 16).

Динаміка рівня ґрунтових вод визначається безпосередньо за характером підняття їх дзеркала в



**Рис. 15.** Зміни величини напруги електричного струму між поверхню ґрунтового покриву і приземною атмосферою у денний час 12.05. 2006 р. в переддощовий, дощовий (з 15 до 16 години) і післядощовий періоди у фоновій (Ф), схилівій (Сх) і центральній (З) зонах западини



**Рис. 16.** Коливання РГВ у свердловинах на фоновій ділянці (Ф) і у мікрогеодинамічній зоні (З) полігону “Лютіж” за 2017 (а) і 2019 (б) роки

період інтенсивного живлення і їх зниження під час активного розвантаження водоносного горизонту, а роль мікрогеодинамічних процесів можна виявити за результатом порівняльних оцінок графіків по фоновій ділянці і западині. Для прикладу розглянемо графіки коливання РГВ в западині і на фоновій ділянці на полігоні "Лютіж" за 2017 і 2019 рр. (рис. 16).

Кількість опадів за ці роки була майже однаковою, відповідно 436 мм і 420 мм. За більшої суми опадів в 2017 р. РГВ на фоновій ділянці піднялися лише на 20 см, а при опадах 420 мм у 2019 — на 25 см. Більш показово представлена невідповідність між опадами і коливанням РГВ в западинній формі (табл. 1). Примітно, що величина зниження перевищила показники підвищення РГВ.

Таблиця 1. Порівняльна оцінка величин підняття і зниження рівнів ґрунтових вод у свердловинах фоновій ділянці і мікрогеодинамічній зони протягом року за 2017 і 2019 рр.

	2017 р., опади 436 мм		2019 р., опади 420 мм	
	Підняття (см)	Зниження (см)	Підняття (см)	Зниження (см)
Фон	20	17	25	26
Западина	10	13	19	26

Вагомим фактом на підтвердження впливу електричних сил на рух води в зоні аерації і першому від поверхні водоносному горизонті в межах МГЗ є значно менше зростання в ній РГВ у порівнянні із фоновією ділянкою — у два і більше разів. Враховуючи те, що у МГЗ надходить у декілька разів більше атмосферної вологи, ніж на фонову ділянку, через аномальні зони (зони швидкої міграції) перетікає щонайменше у 2–5 разів більше води, ніж через покривні відклади фоновієї ділянки.

Згідно спостережень за РГВ по свердловинах в північній та центральній частинах басейну р. Південний Буг (зокрема на балансовому майданчику в м. Хмільник) від'ємні значення *напруженості* негативно позначились на інфільтраційному живленні ґрунтових вод саме в період їх звичного поповнення — наприкінці березня та в квітні, що в цілому визначило аномальне зниження РГВ (Шевченко та ін., 2023). Отже, спостереження за цим геофізичним показником дозволяють виявляти періоди переважання інфільтраційного живлення (значення напруженості з додатнім знаком) або випаровування та витрат вологи в зону аерації (від'ємні значення).

Домінує думка, що хімічний склад підземних вод певного водоносного горизонту головним чином залежить від мінерального складу водомістких порід. Тим не менш на практиці часто зустрічаються випадки коли в одному горизонті у режимних свердловинах, розміщених у однаковій геологічній

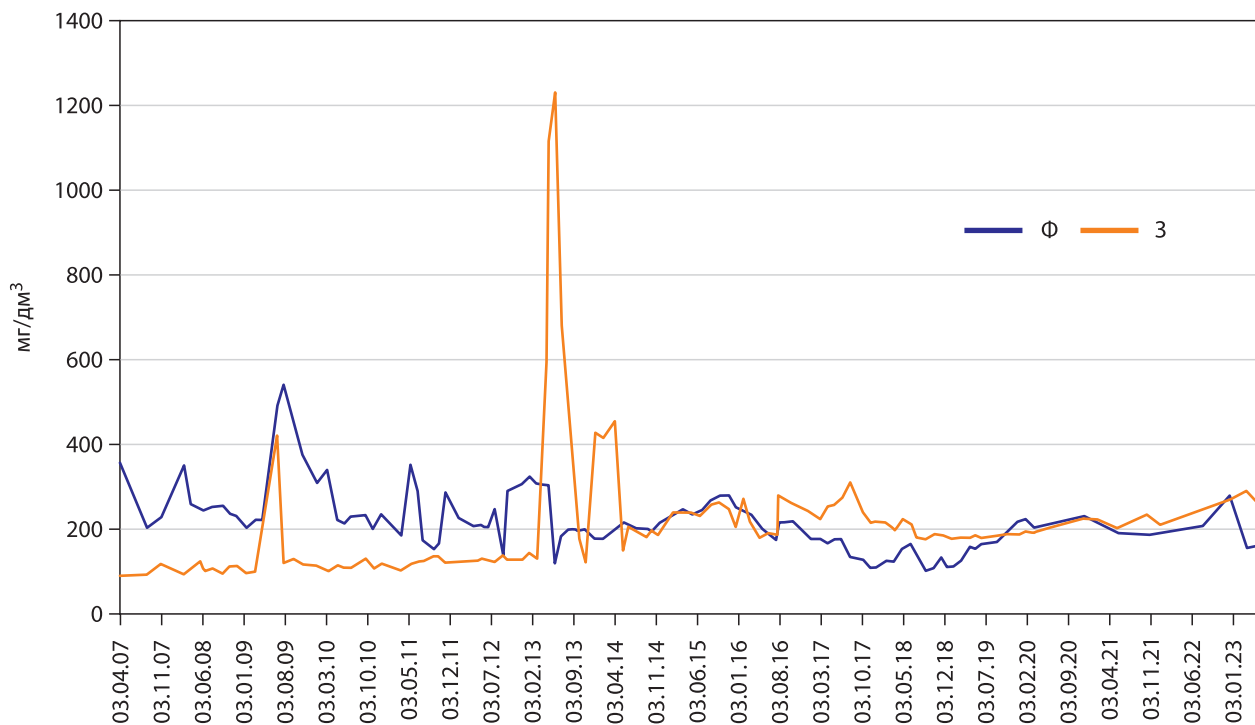


Рис. 17. Зміни загальної мінералізації ґрунтових вод під впливом атмосферних опадів, електричних сил і мікрогеодинамічних процесів в режимних свердловинах западинної форми і фоновієї ділянці полігону "Лютіж" за 2007–2023 рр. мг/дм<sup>3</sup>



обстановці, хімічний склад і мінералізація води істотно відрізняються. На сьогодні можна виділити три основних чинника активізації *гідрохімічних процесів* в МГЗ: 1) механічні коливання у геологічному середовищі, які можуть підвищувати ступінь переходу сорбованих іонів у порові розчини; 2) електричні і електромагнітні поля, які здатні відривати окремі елементи і молекули із подвійного електричного шару колоїдів і елементарних мінеральних часток породи, а також підвищувати розчинність певних мінералів (електроосмос); переміщення електричними силами цих розчинів відбувається у напрямку шарів із переважаючими від'ємними електричними зарядами; 3) пришвидшений рух водних розчинів проявляється у зонах швидкої міграції, які пов'язані із мікрогеодинамічними процесами у покривних відкладах (рис. 17).

Крім кліматичних умов у зміні ресурсів підземних вод приймає участь велика низка космічних, геофізичних і геологічних факторів. А тому для оцінки і прогнозу кількісних і якісних показників підземної гідросфери необхідно змінювати методику її моніторингу.

## ПЕРСПЕКТИВНИЙ КОМПЛЕКС ДОСЛІДЖЕНЬ НА ВОДНО-БАЛАНСОВИХ СТАНЦІЯХ

В основі вибору місць розташування пунктів спостережень на водно-балансових станціях звичайно лежить ландшафтний принцип (Галущенко, 1970; Галицкий и др., 1982). Якщо на території станції (полігону) виділяються неоднорідні за умовами формування стоку водозбори малих приток головної дрени (річки), то використовують також басейновий принцип.

**I. Ландшафтні дослідження.** Ландшафтний принцип розподілу пунктів спостережень в межах дослідних полігонів та водно-балансових станцій, поряд із басейновим, є основоположним і забезпечує дотримання репрезентативності досліджень, розуміння особливостей волого- та масоперенесення, формування режиму ґрунтових вод, поверхневого стоку, випаровування та варіабельності всіх інших показників, що входять до регламенту моніторингових спостережень. Пункти спостережень слід розташувати таким чином, щоб на полігоні або ВБС було представлено максимально можливу кількість основних типів елементарних ландшафтів, характерних для даної ландшафтно-кліматичної зони. Скажімо для лісової зони важливо включити до регламенту пункти спостережень розташовані в лісі, на луках, болотах. При цьому вони повинні представляти різні елементи рельєфу: вододіл, схил, заплаву, замкнені западини. Важливо визначити характер рослинного покриву та його зміни з часом.

Особливу увагу в контексті актуальних кліматичних досліджень слід приділити водно-болотним угіддям, які спричиняють від 20 до 25 відсотків глобальних викидів метану в атмосферу Землі. Проте вони також мають найкращу з усіх екосистем здатність утримувати вуглець шляхом його постійного поховання (секвестрації) (Mitsch, 2015) і седиментації (Ouyang, 2014).

**II. Метеорологічні дослідження** включають традиційний перелік показників:

- температура повітря — важливий, а в наш час визначальний режимоформуючий чинник для перших від поверхні неглибоких водоносних горизонтів; впливає на величину випаровування; механізми впливу температури на живлення та розвантаження ґрунтових вод в період глобального потепління стали більш різноманітними, а сама температура постала в ролі домінуючого чинника змін режиму. Так традиційно вважалося, що для РГВ 1,5–2,0 м провідним режимоформуючим чинником є температура повітря, а для глибин 3,0–4,5 м — атмосферні опади (Коноплянцев, Семенов, 1979). Проте, з аналізу кореляційних зв'язків між опадами, температурою, РГВ та підземним стоком до річки за 1980–2020 рр. нами зроблено висновок, що температура є найвпливовішим режимоформуючим чинником останніх трьох десятиліть, як для близьких до поверхні ґрунтових вод (РГВ = 0,5...2,5 м) так і для РГВ 3,0–4,0 м (Шевченко та ін., 2019);
- різниця температури приземного шару повітря та поверхні ґрунту, різниця нічних та денних температур;
- температура поверхні снігового покриву (в період весняного сніготанення), — для розрахунків теплового балансу снігового покриву;
- опади, — головний чинник формування поверхневого стоку та поповнення запасів питних підземних вод, необхідний предиктор для прогнозування змін режиму та ресурсів ґрунтових вод; разом із випаровуванням визначає коефіцієнт зволоження, що є ключовим критерієм кліматичної зональності;
- висота снігового покриву, — один із визначальних показників величини повеневого стоку;
- абсолютна та відносна вологість повітря, — параметри для розрахунків випаровування;
- дефіцит вологості повітря ( $\Delta E$ ), — різниця між кількістю (або максимально можливою пружністю) водяної пари, що насичує повітря за даної температури, і кількістю (пружністю) водяної пари, яка фактично міститься у повітрі; є функцією випаровування; за спостереженнями в басейні р. Південний Буг встановлено, що цей по-

казник є добрим індикатором загострення гідро-геологічної посухи;

- напрямок та швидкість вітру, — чинники випаровування; зменшення випадків вологішого північного вітру і зростання частоти вітрів східного напрямку сприяє посиленню метеорологічної, ґрунтової та гідрологічної посухи; період з максимальною швидкістю вітру добре кореспондується з мінімальними місячними значеннями дефіциту вологості повітря;
- атмосферний тиск ( $P$ ), — впливає на коливання рівня підземних вод з вільною поверхнею; за різних і значних змін атмосферного тиску РГВ змінюються інколи до 15–17 см (Шевченко та ін., 2023);
- тиск насиченої пари, — параметр для розрахунку випаровування;
- альbedo підстильної поверхні; щільність теплового потоку в ґрунті;
- випаровування з поверхні суші та сумарне випаровування — евапотранспірація — визначаються з метою вивчення водного балансу річкових водозборів (Руководство, 1954); замість сучасних лізиметрів досі використовуються ґрунтові випаровувачі (транспірація визначається з різниці випаровування з випаровувача з рослинами та випаровувача без них);
- випаровування з водної поверхні, випаровування зі снігового покриву;
- вміст в атмосфері парникових газів;
- загальна та нижня хмарність.

Крім цього, **додатково** варто включити показники, які використовуються в кліматичних моделях останніх років:

- показники мінливості атмосферної циркуляції (Заболоцька та ін., 2021), Північноатлантичні та інші коливання (ПАК або NAO) — необхідні для з'ясування загальної підпорядкованості змін погодних чинників (дефіциту вологості повітря, сили вітру, температури, опадів) і причин, що викликають зміни циклічності в режимі наземних і підземних водних об'єктів;
- співвідношення додатних і від'ємних аероіонів в повітрі.

Метеорологічні показники демонструють кліматичні зміни, в т.ч. є індикаторами метеорологічної посухи. Вони використовуються для розрахунків індексів посушливості (SPI, SPEI) і є важливими предикторами в регресійних залежностях для прогнозу РГВ.

### III. Гідрофізичні дослідження в зоні аерації

покликані забезпечувати моделювання достовірними фізичними параметрами, які дозволяють адекватно оцінювати процеси інфільтраційного живлен-

ня, евапотранспірації, водоутримання. Непоодинокі випадки, коли для регіонального моделювання (наприклад SWAT) замість коефіцієнтів вологоперенесення для ненасичених ґрунтів використовують значення коефіцієнтів фільтрації, що призводить до завищення значень поповнення ґрунтових вод та підземного живлення річок.

В роботах (Ситников, 1986; Ситников и др., 2003; Шевченко та ін., 2016) згадується від 13 до 35 гідрофізичних характеристик та параметрів, які можуть бути визначені на опорній режимній станції. На нашу думку, в цьому переліку для водно-балансових станцій можна залишити наступні традиційні показники: 1) всмоктуючий тиск і висота всмоктування — для визначення вологоперенесення; 2) вологість (вологоємність) ґрунтів по профілю зони аерації, (визначення запасу вологи в ґрунті — з метою розрахунку балансу вологи в ґрунті, аналізу випаровування з ґрунту, втрат поверхневого стоку, інфільтрації/вологоперенесення); 4) константи вологоємності для різних типів ґрунтів; 3) коефіцієнт вологоперенесення (Дзекунов та ін., 1987); 5) густина розчину і води в ньому, хімічний склад цього розчину; 6) радіоактивний склад ґрунту і води; 7) щільність пароподібної підземної вологи; 8) відносна вологість підземної пари (порового повітря); 9) пористість ґрунтів; 10) питома та об'ємна вага ґрунтів; 11) температура ґрунтів; 12) дифузійна об'ємна швидкість перенесення вологи і солей; 13) глибина промерзання і відтаювання ґрунтів, — визначає терміни активного інфільтраційного живлення ґрунтових вод та типу живлення річок, впливає на формування поверхневого стоку зі схилів; 14) величина інфільтраційного живлення ґрунтових вод — для підтвердження і коригування результатів, отриманих гідродинамічним методом та з'ясування поточних механізмів перенесення вологи у ненасиченій зоні (з аналізу різнорівневих досліджень впливає, що в періоди посухи домінуючим типом вологоперенесення є конденсаційне живлення); 15) висота капілярного підняття для характерних типів ґрунтів в зоні аерації.

Спостереження за чинниками вологоперенесення в зоні аерації (в першу чергу, живлення ґрунтових вод) необхідні, як в найбільш поширених типах ландшафтів, так і в морфоскульптурах представлених від'ємними формами, що відповідають МГЗ.

### IV. Гідрологічні спостереження. Традиційні показники гідрологічних умов:

- зміни рівня води в часі, — необхідні для розрахунків водного балансу гідродинамічним методом;
- витрати стоку, — для розчленування гідрографів річок і оцінки басейнових та регіональних водних балансів;

- температура води, — для усунення невизначеностей та похибок, пов'язаних із оцінками фільтраційних руслових втрат та фільтраційного опору русла;
- гідрохімічний режим, — для контролю балансу гідрохімічним методом;
- твердий стік, мутність води, крупність зависей та донних відкладів — може свідчити про посилення чи послаблення поверхневого стоку, зміни співвідношення складових живлення водотоків під впливом кліматичних змін;
- “термінові” показники спостережень під час екстремальних умов, — для оцінки їх ролі в змінах водних ресурсів.

**V. Гідрогеологічні спостереження.** Спостереження по свердловинах є основою гідрогеологічного моніторингу. Спостереження за **рівневим режимом** необхідні для гідродинамічних розрахунків балансу підземних вод, в т.ч. їх інфільтраційного живлення. *Поодинокі свердловини* надають інформацію про коливання рівня ґрунтових вод. У співставленні із хронологічними графіками метеорологічних показників та в регресійних залежностях, де в ролі предикторів виступають ці ж показники, дані спостережень дозволяють передбачувати важливі зміни в режимі ґрунтових вод. Дослідно-фільтраційні дослідження в поодиноких свердловинах забезпечують важливими розрахунковими параметрами — коефіцієнтами фільтрації та водопровідності. *Створи із двох, трьох і більше свердловин*, розміщені за потоком ґрунтових (напірних підземних) вод дозволяють отримати інформацію про напрямок потоку, розрахувати коефіцієнт водовіддачі та рівнепровідності (п'єзопровідності), складові живлення та розвантаження і, врешті, баланс ґрунтових вод.

*Кущі свердловин* на різні водоносні горизонти дозволяють кількісно оцінити величини вертикального перетікання між горизонтами та фільтраційні параметри водотривів. Складнощі з оцінкою вертикального перетікання в Україні пов'язані із відсутністю кущових свердловин та вимірювань рівнів послидовно, згори в глибину, розташованих водоносних горизонтів. Досвід облаштування трьох кущів на три водоносних горизонти поблизу водоймища охолоджувача ЧАЕС у 2020 р. переконує, що такі дослідження необхідні на різних гіпсометричних рівнях — в долинах великих річок і на вододілах, — для з'ясування нев'язки балансу поверхневого стоку. Такі кущові створи необхідні в першу чергу в місцях розташування гідрометричних створів, де слід виконувати кількісну оцінку підземного стоку в річки (гідродинамічний метод є більш точним за розчленування гідрографу).

Рівень ґрунтових вод є основним інтегральним показником в гідрогеології, так само як витрати поверхневих потоків в гідрології. Рівень витриманого горизонту ґрунтових вод та верховодки значною мірою визначає характер та видовий склад рослинного покриву, а останній, в свою чергу, визначає величину транспірації вологи. Коливання РГВ, окрім штучних причин, відбуваються головним чином внаслідок:

- 1) *живлення ґрунтових вод шляхом інфільтрації опадів, перетікання знизу, бічного притоку і формування тимчасового (паводкового) підпору від річок, каналів, водосховищ;*
- 2) *розвантаження* — шляхом випаровування, перетікання вниз, бічного відтоку;
- 3) *змін напружено-деформаційного стану порід, особливо різких під час сейсмічних коливань;*
- 4) зміни тиску на покрівлі чи підшві горизонту;
- 5) зміни заряду статичного електричного поля.

В свою чергу РГВ виступає в ролі чинника ґрунтоутворюючих, геохімічних, біохімічних, міграційних та ін. процесів, використовується як предиктор, параметр, критерій, гранична умова (*табл. 2, 3*). Він визначає стан покривного шару та забезпечує уяву про характер водообміну поверхневих та підземних вод. Його зміни використовують у чисельних моделях для визначення живлення (Qurtas, 2018) і розвантаження підземних вод.

У *табл. 3* наведено кілька найбільш відомих варіантів використання значень РГВ в практиці полігонних досліджень, без врахування галузей, пов'язаних із водокористуванням, експлуатацією дренажних споруд, групових дослідних відкачувань тощо.

Також на ВБС та полігонах слід виконувати спостереження за *дебітом джерел*, що дозволяє отримати важливу інформацію про ресурси підземних вод та вплив на них змін клімату, розрахувати модулі підземного стоку та уточнити водний баланс.

Для усіх водопунктів слід визначити географічні координати, зробити висотну прив'язку. Лише після цього винесені на карту водозбору свердловини та вимірювані в них рівні дозволять побудувати просторове поле напорів, побудувати стаціонарні та гідродинамічні моделі неусталеного типу.

Спостереження за *температурним режимом* підземних вод виконуються з метою уточнення взаємозв'язку підземних та поверхневих вод; приналежності джерел до тих чи інших водоносних горизонтів, ступеню залежності режиму підземних вод від тектонічної активності тощо.

Спостереження за змінами основних показників *хімічного складу* підземних вод здійснюються для контролю зональних умов їх формування, процесів

Таблиця 2. Використання рівня ґрунтових вод (РГВ) в статичному положенні (на момент часу в певній точці поверхні поля напорів,  $t = \text{const}$ ) або як усередненого значення

Показник (параметр)	Для визначення параметрів	Предиктор	Критерії	Моделі усталеної фільтрації
РГВ (від земної поверхні) або $H_{\text{сер}}$	Потужність фільтраційного потоку або водоносного горизонту ( $h_{\text{сер}} = D - \text{РГВ}$ )*	Інфільтраційного живлення	Підтоплення, переосушення, перезволоження, захищеності за потужністю ЗА, родючості, технічного стану дренажної мережі або природного ступеня дренаваності території	
$h_{\text{сер}}, h_0, h_x$	Коефіцієнти водопровідності ( $kh_{\text{сер}}$ ), рівнепровідності ( $a$ ), відстань від річки до вододілу ( $L$ )	Біохімічних процесів у ґрунті	Якості осушення, впливу змін клімату на запаси ґрунтових вод	Дарсі, Дюпюї
$\Delta H(x)$	Гідравлічний ухил потоку ( $l$ )	Вектору потоку		
	Витрати фільтраційного потоку ( $q, Q$ )	Напрямку ґрунтоутворюючого процесу — авто- або гідроморфізму		Дарсі, Дюпюї
$\Delta H(y)$	Вертикальне перетікання між горизонтами через водотрив		Захищеності (за часом перетікання через водотрив)	Грінського Н.К. Гольдберга В.М. та ін.,
$H = \text{const}$ в абсолютних або відносних величинах	Розподіл поля напорів по площі (карти гідроізогіпс)		граничні умови першого роду, граничні умови третього та четвертого роду	Рівняння Лапласа (для напірних вод), Пуассона (для безнапірного потоку), Каменського (для похилого ложа) та ін.

\*  $D$  — відстань від поверхні землі до першого водотриву.

Таблиця 3. Рівень ґрунтових вод в динаміці ( $H = f(t)$ )

У вигляді параметра в рівнянні	Для визначення	Змінна залежна від	Гідрологічно-кліматичні індекси	Диференціальні рівняння фільтрації
Різниця рівня за час $t$ ( $\Delta H(y, t)$ ) або зниження $S$ ( $\Delta H(x, t)$ )	Амплітуди коливань РГВ; зміни запасів ґрунтових вод, гравітаційної водовіддачі ( $\mu$ ); коефіцієнта фільтрації. Напрямку потоку, гідравлічного ухилу або градієнта ( $l$ )	Живлення, розвантаження	SGI	Бусінеска (жорсткий режим), Фур'є (пружний режим)
Різниця рівнів двох суміжних горизонтів, розділених водотривом ( $\Delta H_{1,2}(y, t)$ )	Перетікання	Інфільтраційного живлення, розвантаження, водовідбору		Грінського Н.К., Мятієва А.Н., Полубаринової-Кочиної П.Я. та ін.
$H(y, t, P, T)$ $H(x, t, P, T)$ початковий рівень $H_0$	Прогнозного рівня (за рівняннями регресії)	Середньої температури, опадів		

природної метаморфізації складу, трансформації під впливом антропогенезу та змін клімату.

Кінцевою метою гідрогеологічних спостережень та розрахунків на ВБС та майданчиках є визначення: витрат підземного стоку в річки та відносної участі підземних вод у їх живленні; інших складових живлення і розвантаження підземних вод; гідрогеологічних параметрів — для побудови чисельних моделей; гідрохімічного режиму — для з'ясування умов міграції та акумуляції забруднюючих речовин, умов формування підземних вод тощо.

**VI. Геофізичні дослідження. Геофізичні показники** варто розділити на відносно статичні характеристики та динамічні показники. Порівняно сталою характеристикою є розподіл магнітного поля в багаторічному плані, який кореспондується з розподілом поля вологості в зоні аерації. Натомість сейсмічна активність в тектонічно активних областях є динамічною характеристикою, яку важливо враховувати в спостереженнях за РГВ.

Геофізичні дослідження доповнюють метеорологічні та гідрофізичні спостереження і в комплексі з ними дозволяють розширити масштаб узагальнень, надають інформацію про розподіл вологи в товщі порід за відсутності даних буріння (Binley et al., 2015), допомагають поліпшити достовірність прогнозування змін ресурсів ґрунтових та глибоких підземних вод. За допомогою електророзвідки та сейсморозвідки визначають будову геологічного розрізу, будують карти рівних глибин залягання водотривких та водопроникних пластів, виділяють поховані водоносні структури (палеодолини річок), зони підвищеної тріщинуватості та закарстованості тощо (Goldman & Neubauer, 1994).

За допомогою польових геофізичних методів електропрофілювання, вертикального електричного, кругового та частотного зондування, природного електричного поля та ін. вдається встановити напрямок потоку підземних вод, виявити приховані під наносами джерела та осередки витоків поверхневих вод з русел річок, озер і водосховищ. Використовуючи свердловинні методи: резистивіметрію і термометрію, метод радіоактивних ізотопів, електролітичний, зарядженого тіла, тощо можливо встановити зони активного водообміну, швидкості фільтрації на різних глибинах, визначити напрямок та дійсну швидкість руху підземних вод. Бокове каротаже зондування разом із гамма-каротажем дозволяє встановити зміни мінералізації підземних вод в піщаних шарах.

Згідно з результатами дослідних робіт із широкого спектра полів у покривних відкладах провідну роль в переміщенні твердої, рідкої і газоподібної фаз порід у геологічному середовищі відіграють

пружні хвилі і електричні поля атмосфери і літосфери (Bublyas and Shevchenko, 2023). Такі поля знаходяться в одному ряду із гравітаційними, тепловими, ядерними і магнітними енергіями, які управляють всіма процесами в геосфері (Шевченко та ін., 2016). Оскільки геофізичні поля змінюють гідрогеологічні показники, важливо виконувати вимірювання не лише показників режиму підземних вод, а й характеристики цих полів.

Перелічимо головні, на нашу думку, **додаткові динамічні показники**, які доцільно включити до регулярних спостережень на ВБС:

- напруженість статичного електричного поля ( $E$ ) приземної атмосфери, — має великий вплив на рух вологи в зоні аерації та коливання РГВ: за високих значень  $E$  із від'ємним знаком напрямком руху вологи має висхідний характер, РГВ при цьому знижується, а  $E$  із додатним знаком формує зворотній рух вологи і призводить до підвищення РГВ. Цю закономірність варто контролювати вимірюваннями вологості порід і вмісту вологи у приземній атмосфері. Під час сплесків напруженості електромагнітного поля (із знаком мінус) вологість порід може знижуватися до 1–2%, а вологість повітря над поверхнею ґрунту — збільшуватися до 15–20% (Шевченко та ін., 2016);
- величина напруги електричного струму між поверхнею ґрунтового покриву і приземною атмосферою;
- вібраційні і коливальні вертикальні рухи в покривній товщі земної кори;
- напружено-деформаційний стан порід (стиснення–розтягування);
- сила електричного струму на поверхні розділу атмосфери і літосфери;
- напруженість магнітного поля;
- природний радіаційний  $\gamma$ -фон;
- вторинна іонізація (кількість новоутворених вільних радикалів у поровому просторі ґрунту);
- величина електричного опору гірських порід, — для оцінки пористості пластів піщаного складу та мінералізації підземних вод в них.

Важливо проводити частіші вимірювання більшості показників за розділами I–VI в *екстремальні періоди* (сніготанення, повінь, паводок), оскільки ряди спостережень за аномальними подіями в гідрології та особливо в гідрогеології дуже обмежені, що не дозволяє будувати коректні прогнозні моделі. Згідно сучасних тенденцій та прогнозів, кількість проявів екстремальних кліматичних та погодних подій в найближчі десятиліття буде зростати. Необхідно знати, як підземні води реагуватимуть на такі події.

Крім власне спостережень, для усіх вищеозначених шести розділів на ВБС доцільно виконувати *аналіз режимних спостережень* або первинну обробку даних, що підвищує статус досліджень до рівня моніторингу. В комплексі аналітичних та оціночних робіт варто виділяти такі завдання:

1. Побудова хронологічних графіків. Визначення середньобагаторічних значень показника (багаторічної норми), максимумів, мінімумів та амплітуди сезонних і річних коливань. Співставлення з даними попередніх років та багаторічною нормою.

2. Визначення забезпеченості (*P*) показника. Побудова різницевих інтегральних кривих. Виявлення циклічностей. Метеорологічна і гідрологічна характеристика року.

3. Виявлення генетичних зв'язків між гідрогеологічними, і гідрологічними показниками режиму та режимоформуючими метеорологічними і геофізичними чинниками. Визначення типу режиму ґрунтових вод з врахуванням ландшафтної приналежності.

4. Розрахунки водного балансу.

4.1. Водний баланс річок (розчленування гідрографів, гідрометричний, гідродинамічні методи, моделювання тощо).

4.2. Баланс вологи в зоні аерації (балансовий, гідрофізичний методи).

4.3. Баланс ґрунтових вод в масштабах балансових майданчиків ВБС (балансовий в т.ч. інструментальні методи, гідродинамічний метод, моделювання). При цьому визначають:

4.3.1. параметри, які характеризують середовище та умови водообміну (коефіцієнт фільтрації, гравітаційної водовіддачі/браку насичення, відстані до річки та вододілу, градієнт потоку, положення водотриву тощо, див. *табл. 2, 3*);

4.3.2. бічний відтік/приплив з/до балансової ділянки або до дрени;

4.3.3. інфільтраційне живлення ґрунтових вод;

4.3.4. низхідне/висхідне перетікання (напірне живлення/розвантаження).

Такі важливі показники балансу, як інфільтраційне живлення чи випаровування варто визначати кількома методами, оскільки включення їх до моделей водного балансу без додаткової завірки може призвести до помилки на цілий порядок (Gee & Hillel, 1988).

5. Створення концептуальних параметричних моделей, що демонструють вплив нетрадиційних параметрів на водний баланс ґрунтової товщі та положення РГВ.

6. Складання прогнозів.

7. Ґрунтові дослідження (за ґрунтовим розрізом): процесів ґрунтоутворення; термодинамічної

системи ґрунту у взаємодії з циклічними факторами довкілля, внутрішніх гомеостатичних процесів (Коломієць, 2021).

8. Напрацювання підходів до аналізу й оцінки умов захищеності підземних вод виходячи з геологічних та ландшафтних умов на водозборі.

9. Дослідження процесів самоочищення поверхневого стоку.

10. Дослідження характерних для Полісся процесів ландшафтотворення (заболочування, евтрофікація водойм, штучне осушення) та їх впливу на хімічний склад поверхневих і підземних вод.

Врахування таких різнорівневих механізмів та чинників переміщення вологи, як то глобальні зміни температури, регіональні зміни кількості опадів, швидкості вітру, локальні і точкові зміни напруженості електричного поля, проникності зони аерації та ін., ускладнює моделювання та прогнозування процесу водообміну, проте дає загальне розуміння об'єктивних причин перенесення вологи та коливань РГВ.

Слід також наголосити, що ВБС потрібно використовувати як навчальні полігони, де студенти геологічних та географічних спеціальностей зможуть вивчати основи гідрогеологічної та інженерно-геологічної зйомки, в т.ч.: описувати водопрояви, виконувати дослідно-фільтраційні роботи, складати гідрогеологічні карти та виконувати гідрогеологічне районування території.

## ВИСНОВКИ

Результати комплексних досліджень на Лютізькому полігоні демонструють значну варіабельність гідрогеофізичних показників та зміни інтенсивності природних сигналів в залежності від ландшафтної приуроченості, новітньої тектоніки, геологічної основи і складу покривних відкладів. Мікрогеодинамічні зони западинних морфоскульптур відіграють значущу роль у вологоперенесенні, масо- та енергообміні, тому повинні бути представлені на усіх зональних водно-балансових станціях (ВБС).

Вирішення складних сучасних завдань в практичній гідрометеорології та гідрогеології, пов'язаних з вивченням впливу великої кількості чинників на визначальні процеси в атмосфері та гідросфері Землі, вимагає оновлення матеріально-технічної бази, розробки єдиної методологічної основи, розширення складу спостережень на опорних ВБС та полігонах, а отже, державної опіки та інвестиційної підтримки. Дослідження на існуючих станціях різного підпорядкування (Український гідрометеорологічний центр, Академія аграрних наук України, НАН України тощо) необхідно скоординувати та проводити за спільним регламентом. Для покращення

достовірності гідрогеологічних та гідрологічних оцінок і прогнозів з метою вирішення проблеми скорочення ресурсів питної води слід враховувати одночасно виміряні метеорологічні, гідрологічні, гідрофізичні та гідрогеологічні показники. На існуючих ВБС вже зараз доцільно включити до регламенту спостережень додаткові геофізичні та гідрогеологічні (щодо вертикальної взаємодії водоносних горизонтів тощо) дослідження, а у повоєнний час кількість таких станцій повинна бути збільшена. Етапною за представництвом природного регіону та комплексом досліджень може стати Придеснянська ВБС, яка забезпечена необхідною інфраструктурою і має майже сторічний досвід спостережень за метеорологічними та іншими показниками.

Завдяки наявності системи репрезентативних спостережних пунктів, різноманітних приладів, переліку регламентованих показників, методичному супроводу та сучасному інструментарію для обробки отримуваної інформації такі ВБС повинні надавати не лише рутинні дані а й бути здатні вирішувати актуальні завдання щодо виявлення ознак впливу

змін клімату на компоненти середовища, — згідно із завданнями “Кліматичної програми України”. Отримувана на таких станціях інформація дасть змогу відстежувати зональні закономірності формування водного балансу та ресурсів поверхневих і підземних вод, зміни радіаційного фону, вплив військових дій на середовище, будувати кондиційні регіональні моделі тощо. Якщо погодно-кліматичні зміни передбачити важко, то зміни в підземній гідросфері, які їх наслідують, можна більш точно прогнозувати на коротку перспективу, виходячи з поточних метеорологічних показників або фактичного кумулятивного та синергічного ефектів, що проявляються через метеорологічні посухи та інші явища.

Розробка *Настанов для зональних водно-балансових басейнових станцій* щодо технічного забезпечення та регламенту спостережень за оновленим переліком показників доквілля буде необхідною методичною та фактологічною основою для нової “Кліматичної програми” (Осадчий, 2021), яку якнайшвидше потрібно імплементувати.

## ЛІТЕРАТУРА

- Бублясь, М.В. (2009). Основні зовнішні чинники, що впливають на рух водних розчинів у покривних відкладах рівнинних територій. *Збірник наук. праць ІГН НАНУ*, 2, 239–244.
- Бублясь, В.М. (2009). Розвиток напружено-деформаційного стану порід покривних відкладів рівнинних територій і його вплив на мікрогеодинамічні процеси. Матеріали IX Міжнар. конф. “Моніторинг геологічних процесів”, КНУ ім. Т. Шевченка, Київ, 277–278.
- Бублясь, В.М. (2017). Електричні явища атмосфери і літосфери та їх роль у геологічних процесах. Матеріали IV міжнародного геологічного форуму “Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво”. Присвячений 60-річчю УкрДГРІ. Київ: Видавництво УкрДГРІ, 19–24.
- Бублясь, В.М., Шестопапов, В.М., Бублясь, М.В. (2008). Електрогеодинамічні явища в атмосфері і літосфері та їх вплив на масообмін. *Вісник Київського національного ун-ту ім. Т. Шевченка (Геологія)*, 44, 67–72.
- Бугай, Д.О., Девієр, Л., Скальський, О.С. та ін. (2007). Дослідження міграції радіонуклідів на експериментальній ділянці-полігоні в ПТЛРВ “Рудий ліс”. Ч. 2: Міграція радіонуклідів в геологічному середовищі. *Чорнобил. наук. вісник*, 2 (30), 16–33.
- Вольфцун, І.Б. (1972). Расчеты элементов баланса грунтовых вод. Ленинград: Гидрометеоздат, 271 с.
- Галицкий, В.М., Гриневецкий, В.Т., Давыдчук, В.С. и др. (1982). Методические рекомендации по ландшафтным исследованиям территории Украинской ССР в целях рационального природопользования. Киев. Отд. географии МГИ АН УССР, 28 с.
- Галущенко, Н.Г. (1970). Опыт научно-методического руководства воднобалансовыми станциями, закрепленными за УкрНИГМИ. Материалы совещания работников воднобалансовых станций Гидрометеослужбы СССР, Валдай, 196–206.
- Дзекунов, Н.Е., Жернов, И.Е., Файбишенко, Б.А. (1987). Термодинамические методы изучения водного режима зоны аэрации. Москва: Недра, 176 с.
- Заболоцька, Шпиг, В.М., Ціла, А.Ю. (2021). Циркуляційні процеси та хмарний покрив упродовж періоду глобального потепління. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 1 (59), 76–91.
- Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”, 2017.
- Кириухин, В.А., Коротков, А.И., Павлов, А.Н. (1988). Общая гидрогеология. Ленинград: Недра, 359 с.
- Кліматична програма України. (1997,1999). Постанова КабМінУ № 650 від 26.06.1997 із змінами 1999 р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/650-97-%D0%BF#Text>
- Коломієць, С.С. (2021). Термодинамічна система ґрунту, його гомеостаз і вірогідний механізм утворення структури. *Вісник аграрної науки*, 99, 3 (816), 14–22.
- Осадчий, В.І. (2021). Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. *Вісник Національної академії наук України*. 6, 81–84. doi.org/10.15407/visn2021.06.081
- Ромашенко, М.І., Гусев, Ю.В., Шатковський, А.П., Сайдак, Р.В., Яцюк, М.В., Шевченко, А.М., Матяш, Т.В. (2020). Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація і водне господарство*. 1, 5–22. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg\\_2020\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2020_1_3)
- Руденко, Л.Г., Абрамова, А.М. (1975). Режим влаги в зоне аэрации по данным радиоизотопных измерений. Радиоизотопные методы исследований в гидрогеологии. Киев: Наукова думка, 140–144.
- Руководство стоковым станциям. (1954). Под ред. З.П. Богомазовой, А.П. Бочкова, С.Н. Боголюбова. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 287 с.
- Ситников, А.Б. (1986). Динамика влаги и солей в почвогрунтах зоны аэрации. Киев: Наук. думка, 152 с.
- Ситников, А.Б., Головченко, Ю.Г., Ткаченко, К.Д. (2003). Гидро-

- геологическая станция "Феофания": многолетние исследования и результаты. Киев. 200 с.
- Ткаченко, К.Д. (1965). Баланс влаги в зоне аэрации. Киев: Наукова думка. 144 с.
- Ткаченко, К.Д. (1967). О влиянии колебаний температуры на процессы динамики влаги в суглинистых грунтах. Проблемы гидрогеологии и инженерного грунтоведения. Збір. наук. праць ІГН АН України. Киев: Наукова думка, 41–57.
- Шамаев, В.В. (2011). О формировании тектонических и деформационных структур, определяющих характер деформирования массива горных пород. *Наукові праці ДонНТУ. Серія "Гірничо-геологічна"*. 13 (178), 98–106.
- Шевченко, О.Л., Бублясь, В.М., Коломієць, С.С. (2016). Основи перенесення вологи в зоні аерації. Навчальний посібник, Київ: ВПЦ "Київський університет". 263 с.
- Шевченко, О., Бублясь, В., Ошурок, Д. (2023). Аналіз геофізичних, метеорологічних та гідрогеологічних даних для пояснення невідповідностей між інфільтрацією та атмосферними опадами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Геологія)*, 1 (100), 111–123. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13>
- Шевченко, О.Л., Долін, В.В., Орлов, О.О., Шабалін, Б.Г., Кіреєв, С., Азімов, О.Т. та ін. (2023-а). Радіогідрогеохімія водозбірних басейнів Чорнобильської зони відчуження. *Наук. монографія за ред. Шевченка О.Л., Доліна В.В.* Київ: Наукова думка, 348 с. <http://doi.org/10.15407/978-966-00-1855-6>
- Шевченко, О.Л., Козицький, О.М., Наседкін, І.Ю., Рябцева, Г.П., Бублясь, В.М. та ін. (2011). Закономірності міграції техногенних радіонуклідів на меліоративних системах Чорнобильської зони відчуження (за результатами досліджень 1986–2004 рр.). Херсон: Олді-плюс, 415 с.
- 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. *Вучонья записки Бресцкага універсітэта*. 15, 2, 117–128.
- Шевченко, А.Л., Скорбун, А.Д., Чарный, Д.В. (2021). Підпорядкованість коливань рівнів ґрунтових вод в басейні р. Південний Буг кліматичним змінам. *Вісник Одеського НУ. (Географічні та геологічні науки)*. 26, 2 (39), 175–194.
- Шестопапов, В.М., Богуславский, А.С., Бублясь, В.М. (2007). Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции. Киев: НИЦ РПИ НАНУ, 120 с.
- Baird, A.J., Low, R.G. (2022). The water table: Its conceptual basis, its measurement and its usefulness as a hydrological variable. *Hydrological processes*. 36, 6. e14622. <https://online.library.wiley.com/doi/10.1002/hyp.14622>
- Binley, A., Hubbard, S.S., Huisman, J.A., Revil, A., Robinson, D.A., Singha, K., Slater, L.D. (2015). The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. *Water Resources Research*, 51, 6. <https://doi.org/10.1002/2015WR017016>
- Bublias, V.M., Shevchenko, O.L. (2022). New methodological and methodical approaches to monitoring the geological environment. XVI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (15–18 November 2022, Kyiv, Ukraine), Mon22-163. 1-5. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/11/Mon-22-163>.
- Bublyas, V.M., Shevchenko, O.L. (2023). Monitoring of geophysical fields and natural phenomena in the atmosphere and lithosphere for the study of groundwater recharge mechanisms. Proc. 17<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (7–10 November 2023, Kyiv, Ukraine), 1–5. Mon 23-184.
- Bugai, D.A., Dzhepo, S.P., Skalsky, A.S., Van Meir, N. (2008). Estimation of hydraulic properties of unsaturated sandy soils using laboratory and field methods. *Геологічний журнал*, 4. 99–105.
- Cloke, H.L., Anderson, M.G., McDonnell, J.J., & Renaud, J.-P. (2006). Using numerical modelling to evaluate the capillary fringe groundwater ridging hypothesis of streamflow generation. *Journal of Hydrology*, 316, 141–162.
- Ge, G.W., Hillel D. (1988). Groundwater recharge in arid regions: review and critique of estimation methods. *Hydrological processes*, 2. 255–266.
- Gillham, R.W. (1984). The capillary fringe and its effect on water-table response. *Journal of Hydrology*, 67, 307–324.
- Goldman, M., Neubauer, F.M. (1994). Groundwater exploration using integrated geophysical techniques. *Surv. Geophys.*, 15 (3), 331–361. <https://doi.org/10.1007/BF00665814>
- Holländer, H.M., Wang, Z.J., Assefa, K.A., Woodbury, A.D. (2016). Improved recharge estimation from portable, low-cost weather stations. *Ground Water*, 54, 243–254. <https://doi.org/10.1111/gwat.12346>
- Mirchi, A., Di Baldassarre, G., Madani, K., Alborzi, A. (2021). Anthropogenic Drought: Definition, Challenges and Opportunities. *Reviews of Geophysics*.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. (2015). *Wetlands*, E-book. Available online: <http://auburn.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1895927>
- Liu, C., Ikeda, K., Rasmussen, R., Barlage, M., Newman, A.J., Prein, A.F., et al. (2017). Continental scale convection permitting modeling of the current and future climate of North America. *Climate Dynamics*, 49 (1–2), 71–95.
- Ouyang, X., Lee, S.Y. (2014). Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments. *Biogeosciences*, 11, 5057–5071.
- Rasmussen, K.L., Prein, A.F., Rasmussen, R.M., Ikeda, K., Liu, C. (2017). Changes in the convective population and thermodynamic environments in convection permitting regional climate simulations over the United States. *Climate Dynamics*, 55 (12), 383–408. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4000-7>
- Qurtas, S.Sh. (2018). Using groundwater levels and Specific Yield to Estimate the Recharge. South of Erbil. Kurdistan Region. Iraq. *Academic Journal of Nawroz University*. 7 (4), 191–196.
- Othman, A. (2024). Monitoring the response of Saudi Arabia's largest fossil aquifer system to climate variability. *Journal of Taibah University for Science*, 18 (1), 2331991, DOI: 10.1080/16583655.2024.2331991
- Shin, Mun-Ju, Moon, S.-H., Kang, K.G., Moon D.-C., Koh H.-J. (2020). Analysis of Groundwater Level Variations Caused by the Changes in Groundwater Withdrawals Using Long Short-Term Memory Network. *Hydrology*. 7, 64. doi:10.3390/hydrology7030064
- Weeks, E.P. (2002). The Lisse effect revisited. *Ground Water*, 40, 652–656.
- World Climate Programme (WCP). <https://community.wmo.int/en/world-climate-programme-wcp>

## REFERENCES

- Baird, A.J., Low, R.G. (2022). The water table: Its conceptual basis, its measurement and its usefulness as a hydrological variable. *Hydrological processes*. 36, 6. e14622. <https://online.library.wiley.com/doi/10.1002/hyp.14622>



- Binley, A., Hubbard, S.S., Huisman, J.A., Revil, A., Robinson, D.A., Singha, K., Slater, L.D. (2015). The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. *Water Resources Research*, 51, 6. <https://doi.org/10.1002/2015WR017016>
- Bublyas, M.V. (2009). The main external factors affecting the movement of aqueous solutions in the cover sediments of plain areas. Collection of sciences. *Proceedings of the Institute of Geological Sciences of NASU*, 2, 239–244. [In Ukrainian]
- Bublyas, V.M. (2009). The development of the stress-strain state of the cover sediments of plain areas and its influence on micro-geodynamic processes. Materials of the IX Inter. Conf. "Monitoring of Geological Processes". Kyiv. 277–278. [In Ukrainian]
- Bublyas, V.M. (2017). Electrical phenomena of the atmosphere and lithosphere and their role in geological processes. Materials of the IV international geological forum "Actual problems and prospects for the development of geology: science and production". dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of UkrDGRI. Kyiv. 19–24. [In Ukrainian]
- Bublyas, V.M., Shevchenko O.L. (2022). New methodological and methodical approaches to monitoring the geological environment. XVI International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment" (15–18 November 2022, Kyiv, Ukraine), Mon 22–163. 1-5. <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2022/11/Mon-22-163>.
- Bublyas, V.M., Shevchenko O.L. (2023). Monitoring of geophysical fields and natural phenomena in the atmosphere and lithosphere for the study of groundwater recharge mechanisms. Proc. 17<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (7–10 November 2023, Kyiv, Ukraine), 1–5. Mon 23–184.
- Bublyas, V.M., Shestopalov V.M., Bublyas M.V. (2008). Electrogeodynamic phenomena in the atmosphere and lithosphere and their influence on mass transfer. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv (Geology)*, 44, 67–72. [In Ukrainian]
- Bugai, D.O., Devier, L., Skalskyi, O.S. etc. (2007). Study of the migration of radionuclides at the experimental test site in the "Rudy lis" PTLRV. Part 2: Migration of radionuclides in the geological environment. *Chernobyl of science release*, 2 (30). 16–33. [In Ukrainian]
- Bugai, D. A., Dzhepo, S.P., Skalskyi, A.S., Van Meir, N. (2008). Estimation of hydraulic properties of unsaturated sandy soils using laboratory and field methods. *Geological journal*, 4. 99–105.
- Cloke, H.L., Anderson, M.G., McDonnell, J.J., & Renaud, J.-P. (2006). Using numerical modelling to evaluate the capillary fringe groundwater ridging hypothesis of streamflow generation. *Journal of Hydrology*, 316, 141–162.
- Dzekunov, N.E., Zhernov, I.E., Faybyshenko, B.A. (1987). Thermodynamic methods of studying the water regime of the aeration zone. Moscow: Nedra, 176. [in russian]
- Climate program of Ukraine. (1997, 1999). Resolution of the Cabinet of Ministers № 650 dated June 26, 1997, as amended in 1999.
- Galytskyi, V.M., Grynevetskyi, V.T., Davydchuk, V.S. and others (1982). Methodological recommendations for landscape studies of the territory of the Ukrainian SSR for the purpose of rational nature management. Kyiv, 28. [in russian]
- Galushchenko, N.G. (1970). Experience of scientific and methodological management of water balance stations assigned to UkrNIHMY. Materials of the meeting of workers of hydro-meteorological stations of the USSR Hydrometeorological Service, Valdai, 196–206. [in russian]
- Gee, G.W., Hillel, D. (1988). Groundwater recharge in arid regions: review and critique of estimation methods. *Hydrological processes*, 2, 255–266.
- Gillham, R.W. (1984). The capillary fringe and its effect on water-table response. *Journal of Hydrology*, 67, 307–324.
- Goldman, M., Neubauer, F.M. (1994). Groundwater exploration using integrated geophysical techniques. *Surv. Geophys.*, 15 (3), 331–361. <https://doi.org/10.1007/BF00665814>
- Holländer, H.M., Wang, Z.J., Assefa, K.A., Woodbury, A.D. (2016). Improved recharge estimation from portable, low-cost weather stations. *Ground Water*, 54, 243–254. <https://doi.org/10.1111/gwat.12346>
- Kiryukhin, V.A., Korotkov, A.I., Pavlov, A.N. (1988). General hydrogeology. Leningrad: Nedra, 359. [in russian]
- Kolomiets, S. (2021). Thermodynamic system of soil, its homeostasis, and probable mechanism of structure formation. *Visnyk ahraryoi nauky*, 99, 3 (816), 14–22. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-02> [In Ukrainian]
- Mirchi, A., Di Baldassarre, G., Madani, K., Alborzi, A. (2021). Anthropogenic Drought: Definition, Challenges and Opportunities. *Reviews of Geophysics*.
- Mitsch, W.J.; Gosselink, J.G. (2015). Wetlands, E-book. Available online: <http://auburn.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1895927>
- Law of Ukraine "On Environmental Impact Assessment", 2017.
- Liu, C., Ikeda, K., Rasmussen, R., Barlage, M., Newman, A.J., Prein, A.F., et al. (2017). Continental scale convection permitting modeling of the current and future climate of North America. *Climate Dynamics*, 49 (1–2), 71–95.
- Management of stock stations. (1954). Ed. Z.P. Bogomazova, A.P. Bochkova, S.N. Bogolyubova. Leningrad, 287. [in russian]
- Osadchyi, V. (2021). Climate program of Ukraine as a basis of integral ecological policy of the state in the conditions of climate change. *Visnik Nacionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*, 6, 81–84. [doi.org/10.15407/visn2021.06.081](https://doi.org/10.15407/visn2021.06.081)
- Othman, A. (2024). Monitoring the response of Saudi Arabia's largest fossil aquifer system to climate variability. *Journal of Taibah University for Science*, 18 (1), 2331991, DOI: 10.1080/16583655.2024.2331991
- Qurtas, S.Sh. (2018). Using groundwater levels and Specific Yield to Estimate the Recharge. South of Erbil. Kurdistan Region. Iraq. *Academic Journal of Nawroz University*. 7 (4), 191–196.
- Ouyang, X.; Lee, S.Y. (2014). Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments. *Biogeosciences*, 11, 5057–5071.
- Rasmussen, K.L., Prein, A.F., Rasmussen, R.M., Ikeda, K., Liu, C. (2017). Changes in the convective population and thermodynamic environments in convection permitting regional climate simulations over the United States. *Climate Dynamics*, 55 (12), 383–408. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4000-7>
- Romaschenko, M.I., Gusev, Yu.V., Shatkovskiy, A.P., Saydak, R.V., Yatsyuk, M.V., Shevchenko, A.M., Matyash, T.V. (2020). Impact of modern climate changes on water resources and agricultural production. *Reclamation and water management*, 1, 5–22. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg\\_2020\\_1\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2020_1_3) [In Ukrainian]
- Rudenko, L.G., Abramova, A.M. (1975). Moisture regime in the aeration zone according to radioisotope measurements. Radioisotope research methods in hydrogeology. Kyiv: Naukova Dumka. 140–144. [in russian]
- Shamaev, V.V. (2011). On the formation of tectonic and deformation structures that determine the nature of deformation of the rock massif. *Sciences of DonNTU. Series "Girnichno-geological"*, 13 (178), 98–106. [in russian]
- Shestopalov, V.M., Boguslavsky, A.S., Bublyas, V.M. (2007). Assessment of groundwater protection and vulnerability, taking

- into account rapid migration zones. K.: SRC RPI NANU, 120. [in russian]
- Shevchenko, O.L., Bublyas, V.M., Kolomiiets, S.S. (2016). Fundamentals of transporting waters in the aeration zone. Kiev: PPC "Kiev University". 263. [In Ukrainian]
- Shevchenko, O., Bublyas, V., Oshurok, D. (2023). Analysis of geophysical, meteorological and hydrogeological data to clarify inconsistencies between infiltration and atmospheric fallout. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv (Geology)*. VIP. 1 (100). 111–123. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.100.13> [In Ukrainian]
- Shevchenko, O.L., Dolin, V.V., Orlov, O.O., Shabalin, B.G., Kireev, S., Azimov, O.T. et al. (2023a). Radiohydrogeochemistry of water catchment basins of the Chernobyl exclusion zone. Ed. Shevchenko O.L., Dolin V.V. Kiev: Naukova Dumka, 348. [In Ukrainian]
- Shevchenko, O.L., Kozytskiy, O.M., Nasedkin, I.Yu., Ryabtseva, H.P., Bublyas, V.M. et al. (2011). Patterns of migration of man-made radionuclides in meliorational systems of the Chernobyl exclusion zone (based on research results of 1986–2004), Kherison, 415. [In Ukrainian]
- Shevchenko, A.L., Osadchii, V.I., Charny, D.V. (2019). Changes in the regime, balance and resources of underground waters of Polesia and the forest-steppe of Ukraine under the influence of global warming. *Academic notes of Brest University*, 15, 2, 117–128. [in russian]
- Shevchenko A.L., Skorhun A.D., Charny D.V. (2021). Subordination of groundwater level fluctuations in the Southern Bug River basin to climatic changes. *Bulletin of Odessa National University. (Geographical and geological sciences)*, 26, 2 (39). 175–194. [In Ukrainian]
- Shin, Mun-Ju, Moon, S.-H., Kang, K.G., Moon D.-C., Koh H.-J. (2020). Analysis of Groundwater Level Variations Caused by the Changes in Groundwater Withdrawals Using Long Short-Term Memory Network. *Hydrology*. 7, 64. doi:10.3390/hydrology7030064
- Sitnikov, A.B. (1986). Dynamics of moisture and salts in soils of the aeration zone. Kyiv: Nauk. dumka, 152. [in russian]
- Sitnikov, A.B., Golovchenko, Yu.G., Tkachenko, K.D. (2003). Hydrogeological station "Feofania": long-term research and results. Kyiv. 200. [in russian]
- Tkachenko, K.D. (1965). Moisture balance in the aeration zone. Kyiv: Naukova Dumka. 144. [in russian]
- Tkachenko, K.D. (1967). On the influence of temperature fluctuations on the processes of moisture dynamics in loamy soils. Problems of hydrogeology and soil engineering. Zber. Sci. prats IGH Ukraїni. Kyiv: Naukova Dumka, 41–57. [in russian]
- Zabolotska, Shpyg, V.M., Tsila, A.Yu. (2021). Circulation processes and cloud cover during the period of global warming. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1 (59), 76–91. [In Ukrainian]
- Weeks, E.P. (2002). The Lisse effect revisited. *Ground Water*, 40, 652–656.
- Wolftsun, I.B. (1972). Calculations of elements of the groundwater balance. Leningrad: Hydrometeoizdat, 271. [in russian]
- World Climate Programme (WCP). <https://community.wmo.int/en/world-climate-programme-wcp>

## Volodymyr Bublasy<sup>1</sup>

ORCID:0000-0003-1296-1637

bublasy@ukr.net

## Oleksii Shevchenko<sup>2</sup>

ORCID: 0000-0002-5791-5354

shevch62@gmail.com

<sup>1</sup> Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine

<sup>2</sup> Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv

## JUSTIFICATION OF THE EXTENDED COMPOSITION OF OBSERVATIONS AT WATER BALANCE STATIONS AND RESEARCH HYDROGEOLOGICAL RANGES

The current level of understanding of the subordination and multifactorial dependence of the determining processes in the atmosphere, lithosphere and hydrosphere of the Earth requires a corresponding reorganization of the basic system of environmental monitoring, improvement and expansion of research on water these stations, which can become the supporting "nodes" of the balance of this system. The appearance of fundamentally new theoretical developments, modern devices and equipment, a large number of software tools, etc., prompts a significant reorganization and strengthening of the environmental monitoring system. The article substantiates

an additional set of studies, which should be included in the regulation of observations at already existing water balance stations, with their mandatory modernization. Spheres are subject to control — the atmosphere, surface and underground (subsurface) hydrospheres, which change over time at different rates and pedosphere. A certain inertia of hydrogeological processes implies the possibility of using meteorological indicators, which can be used to predict changes in the moisture regime in the aeration zone and shallow groundwater in the near future; based on the reliably predictable changes of the latter — to forecast changes in interlayer groundwater resources, etc. It is proposed to include in the monitoring regulations the following indicators of the state of the environment, which will allow to identify and analyze the causes of changes in the water situation, balance and resources, to determine the mechanisms of moisture transfer and accumulation, as well as to build models and perform predictive assessments. The results of comprehensive research at the "Lutiz" landfill demonstrate significant variability of hydrogeophysical indicators and changes in the intensity of natural signals depending on the landscape timing, the latest tectonics, the geological basis and the composition of the overlying sediments. Original devices are presented, which are used to determine indicators of electric and thermal fields, the ratio of positive and negative air ions, etc.

**Keywords:** water balance station, landfill, complex of field observations, water balance, hydrophysical indicators, groundwater level.