УДК 556.3: 551:681.3(477.5)
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.14

О. Шевченко, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: shevch62@gmail.com,
Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України,
пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна;
Д. Хрущов, д-р геол. наук, проф., ст. наук. співроб.,
E-mail: khrushchov@hotmail.com,
Інститут геологічних наук НАН України,
вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна

ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНІ ЗАСАДИ ЗАОЩАДЛИВОГО ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД. ІНФОГЕОФРЕЙМИ В ГІДРОГЕОЛОГІЇ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром техн. наук, проф. В.І. Зацерковним)

Розглянуто теоретичні засади інформаційного забезпечення геологорозвідувальних досліджень і робіт з використання та охорони підземних вод. Методологія інформаційного забезпечення ґрунтується на принципах цільової інфогеологічної структуризації геологічного середовища на базі традиційних прийомів формаційного аналізу з урахуванням гідрогеологічних (гідродинамічних і гідрохімічних) складових. Обговорюються перспективи впровадження системи фреймової організації геологічного середовища при інфогеологічному моделюванні. У прикладному сенсі дослідження зосереджуються на тій частині підземної гідросфери, що нині або на перспективу здатна забезпечувати потреби людства у питних, мінеральних, технічних, промислових, теплоенергетичних водах. Висунуто принципи поводження з підземними водними ресурсами, виходячи зі співвідношення відновлюваної природної (динамічні ресурси, які становлять переважну частку відкритих гідродинамічних систем у зоні інтенсивного водообміну), відновлюваної техногенної (штучні або порушені ресурси) і невідновлюваної складових (ємнісні запаси, що мають перевагу в закритих і напівзакритих структурах). Відповідно до цього під час експлуатації родовищ слід дотримуватися не лише розрахункового значення допустимого зниження рівня, а й "допустимого балансу" підземних вод. Пропонується також визначати та узгоджувати між собою межі родовищ і граничні умови області фільтрації. Останні мають відповідати не лише за формування дебітів водозаборів, але й демонструвати ступінь гідродинамічної, гідрохімічної, геологічної захищеності та ризик кількісного і якісного виснаження. Видобуток підземних вод необхідно врівноважувати відновленням їхніх запасів, чого можна досягти комбінованим почерговим водокористуванням поверхневих і підземних водних джерел, створенням інфільтраційних басейнів тощо. На цій концептуальній основі запропоновано систему інформаційного забезпечення досліджень і робіт з використання та охорони підземних вод (ІЗДРВОПВ).

Ключові слова: підземна гідросфера, інфогідрогеофрейм, підземні води, ресурси, запаси, баланс, інформаційне забезпечення, надрокористування, водозабори, охорона, якість води, методологія, моделі, клімат.

Актуальність і постановка проблеми. У країнах з інтенсивною економікою та розвиненими інформаційно-комунікаційними технологіями раціональне використання водних ресурсів і охорона навколишнього середовища вже давно мають пріоритет над екстенсивним надрокористуванням. Забруднення поверхневих вод, нерегульований водовідбір із підземних джерел (за рахунок неконтрольованої кількості приватних свердловин) та їхнє виснаження, а також брак фінансових можливостей для розвитку водогосподарського комплексу України надають підстави для поступового, послідовного та системного впровадження основних положень Стратегія геологічного вивчення й використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання на основі інноваційних методологічних принципів і методичних рішень. Збільшення способів використання та видів впливу на підземні води, багатофакторність, взаємообумовленість і синергізм великої кількості чинників, що впливають на формування обсягів та якості експлуатаційних запасів підземних вод, потребують їхнього системного врахування та включення до єдиного інформаційного поля. Комбінування різноманітних складових впливу на підземну гідросферу вимагає розробки *уніфікованого підходу*, за яким можна було б розглядати кожну природно-техногенну систему, що існує або створюється, у вигляді цілісної *структурованої інформаційної моделі*. Отже, конче назріла необхідність створення єдиної оптимізованої системи *інформаційного забезпечення досліджень і робіт з використання та охорони підземних вод* (ІЗДРВОПВ) у різних галузях.

У зв'язку з кращою доступністю пріоритет у водоспоживанні в Україні завжди надавався поверхневим водам. Навіть у часи Чорнобильської катастрофи країна була не готова до швидкого переорієнтування на захищені від радіонуклідного забруднення підземні води. Проте за помітного зменшення поверхневого стоку, розширення на північ степової та лісостепової зон більш водозабезпеченими лишатимуться райони Передкарпаття та Прип'ятське Полісся, переважна частина якого належить Білорусі. Саме там, а також за нашим західним, північним і північно-східним кордонами формується стік найбільш повноводних річок України: Прип'яті, Десни, Дніпра, Західного Бугу, Дунаю. Якщо глобальне потепління триватиме й надалі, то згодом наші сусіди підуть шляхом зарегулювання поверхневого стоку, що ставить Україну в залежність від їхніх водопотреб. Прикладів "добросусідських" водних відносин у світі багато. Наприклад, маленьке Лесото, яке майже повністю будує свою економіку на продажу питної води Південно-Африканській республіці.

Альтернатива залежності від поверхневого стоку – у використанні глибоких напірних прісних вод в артезіанських басейнах України. Проте запаси "доіндустріальних" питних вод високої якості (*Яковлєв, 2012*) не безмежні. Проблема їхнього завчасного якісного виснаження тісно пов'язана з нераціональним розподілом води за цільовим призначенням, значними втратами води в комунальних мережах і відсутністю заощадливого водоспоживання. Існуюча система роздільного використання ресурсів поверхневих і підземних вод веде до їхнього нераціонального використання і викликає негативні екологічні наслідки (*Клепов, 2010*). Тому у випадку формування стратегії водокористування необхідно розглядати варіант *комбінованого водокористування* (*Ковалевский, 1996; Минкин и Хранович,1996; Клепов, 2010*).

Потепління клімату, вплив якого на водні ресурси став доволі очевидним (*Dai, 2013; Shevchenko et al., 2019*), спонукає до термінових змін у структурі

© Шевченко О., Хрущов Д., 2021

водоспоживання. Зменшення кількості опадів (до 2020 р.), зростання випаровування в літній період, зниження рівнів і стоку річок, падіння рівнів тісно пов'язаних з ними ґрунтових вод призводить до пересихання шахтних колодязів у селах і маленьких містах. Навіть до початку найбільш помітного впливу глобального потепління (1989) Україна посідала одне з останніх місць у Європі за рівнем водозабезпеченості на душу населення поверхневим місцевим стоком – до 1040 м^3/рік. Це на рівні таких африканських країн, як Марокко, Лівія, Судан. В Європі у середньому це питоме значення становить 4600 м^3/рік (*Данилишин та ін., 1999*). Нині ж у зв'язку із зменшенням населення України від початку незалежності на 10 млн жителів, тобто до 41,785 млн, забезпеченість місцевим стоком становить у рік середньої водності 1254 м^3/людину/рік (дуже низька водозабезпеченість), а в маловодний рік в разі 95 % забезпеченості – близько 900 м^3/людину/рік, що відносить нас до країн із надзвичайно низькою водозабезпеченістю (найнижчий рівень) (*Данилишин та ін., 1999*). При цьому для забезпечення прийнятного рівня харчування однієї людини загальні розрахункові витрати води на вироблення (у т.ч. зрошення) і приготування їжі становлять 1300 м^3/людину/рік (*Falkenmark and Rockstrom, 2004*).

Місцевий стік (власний фонд держави) займає близько 25 % від загального стоку вкупі з транзитним. Загальний стік або потенційні ресурси поверхневих вод України в рік середньої водності донедавна оцінювались у 208–210 км^3 (без Дунаю ця цифра істотно зменшується – до 85,1 км^3), а в маловодний – 151,4 км^3(без Дунаю – 55,9 км^3) (*Данилишин та ін., 1999*). Доступними для використання вважають 56,2 км^3. Зважаючи на те, що на більшу частину території України нині поширюються зони нестійкого та недостатнього зволоження, місцевий стік надалі буде зменшуватись, і все більше відчуватиметься залежність від транзитного стоку. Останнє десятиріччя власний середній річний стік становить уже близько 48,4 км^3/рік. У результаті природні ресурси підземних вод зменшились і становлять близько 41 % від загального річного стоку (порівняно з розрахунками на перше десятиріччя XXI ст. це відносне значення зросло на 2 %). Прогнозні ресурси підземних вод (ПРПВ) з мінералізацією менше 1,5 г/дм^3 цілком належать до власного ресурсного фонду держави і становлять, за підрахунками 1978 р., близько 57500 тис. м^3/добу (*Камзіст та Шевченко, 2008; Стан…, 2020*), тобто – 502,3м^3/людину/рік. Це значення порівняно невисоке. Питома забезпеченість ресурсами підземних питних вод переважної більшості країн Європи вища (у Швеції та Естонії – у 13 разів; Франції – у 4 рази; Данії, Великобританії, Румунії – у 2 рази, у Польщі – в 1,6 рази), і лише в Бельгії, Нідерландах і Молдові менша (не враховуючи країн-карликів), ніж в Україні. Але водночас водовідбір підземних вод у нас невідповідно високий – близько 4,0 км^3/рік. Вищий, ніж в Україні він лише в 6 із 29 країн Європи (серед яких РФ, Німеччина, Іспанія, Франція). Більш загрозлива ситуація лише в Болгарії, де обсяги видобутку підземних вод навіть більші за обсяги їхніх ресурсів (*Джамалов и Сафронова, 2009*).

На відміну від поверхневого стоку не всі ресурси підземних питних і мінеральних вод можна вважати швидковідновлюваними. Є такі родовища, на яких експлуатаційні запаси сформовані на 70–80 % статичними та пружними запасами і лише решта – динамічними. Тобто водовідбір на них повинен бути дуже виваженим, з помірним дебітом. Підхід до використання природних столових вод має бути також іншим і базуватись на розрахунках потреб людини у питній воді на добу. А це лише 1,5–2,0 дм^3. Звідси потреби населення України у воді, призначеній для внутрішнього використання, становлять лише 0,14 % від ПРПВ. Отже, якщо використовувати чисті, найбільш фізіологічно придатні підземні води раціонально, лише за призначенням, їх повинно вистачити багатьом прийдешнім поколінням. Розділення водопостачальних і каналізаційних мереж для вод різної якості (для питних і господарських цілей) уже давно швидкими темпами впроваджується в комунальних галузях країн ЄС.

Отже, сучасні проблеми забезпечення населення та промисловості України природними водними ресурсами тісно пов'язані із поточними кліматичними та техногенними змінами умов формування поверхневого водного стоку і режиму відновлення запасів підземних вод. Розв'язувати проблему господарсько-питного та технологічного водозабезпечення харчової та деяких інших галузей промисловості шляхом переходу на пріоритетне підземне водопостачання необхідно на основі оптимізованої системи забезпечення інформацією про геологічну будову, історію формування підземних басейнів прісних вод, захищеність, якісний стан, прогнозні ресурси, циклічність у змінах багатоводних і маловодних періодів, доступність, призначення вод за способом використання тощо. Очевидно, що для коректної оцінки експлуатаційних запасів підземних вод і визначення характеру формування поверхневого і підземного стоку фахівцям необхідна також інформація про багатовікові природні кліматичні зміни, що актуалізує запит на вдосконалення методів палеокліматичних і палеогідрогеологічних реконструкцій.

Таким чином, основною **метою** даної роботи є розробка загальної структури *системи інформаційного забезпечення досліджень і робіт з видобутку, використання і охорони підземних вод* на засадах заощадливого, відновлювального водокористування, обґрунтування доцільності її організації та впровадження. *Теоретичною основою* для цього мають бути концептуальні положення про водообмін (*Шестопалов и др., 1989*), гідролітобіосферу (*Техногенные процессы…, 2003*) та нові принципи збалансованого водовідбору (див. далі); *практичними засадами* – результати сучасних геолого-екологічних досліджень і фактичні дані з водокористування; *регламентуючими підставами* – законодавчі акти, нормативні документи та підзаконні галузеві інструкції.

Предметом даної роботи виступає система інформаційного забезпечення досліджень і робіт з видобутку і охорони підземних вод (ІЗДРВОПВ) і форми її організації, а *об'єктом* ІЗДРВОПВ є власне частина підземної гідросфери (або гідролітосфери), яка потрапляє у сферу зацікавленості та практичної діяльності людини і тісно взаємодіє з поверхневими водами.

Методологічні принципи та підходи. На сьогодні вже представлено теоретичні підходи інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем (ІЗДРПГС) (*Khrushchev et al., 2019, 2020*). Теорія ІЗДРПГС добре узгоджується з концепцією інформатизації галузей економіки та суспільної діяльності й має на меті підвищити ефективність наукових досліджень і робіт з використання та охорони ГС.

Методологія ІЗДРВОПВ, як підрозділу ІЗДРПГС, базується на процедурі структуризації геологічного середовища (ГС) на основі традиційних підходів формаційного аналізу з відображенням дії *гідрогеологічних* (гідродинамічних і гідрохімічних) факторів у просторі й часі. Вона ґрунтується на уявленнях про природне

формування підземних вод, функціонування водообмінної системи в умовах експлуатації, захисту від забруднення та одночасного відновлення запасів підземних вод. Ці питання тісно пов'язують систему ІЗДРВОПВ із завданнями *гідрогеоекології* (*Мироненко и Румынин, 1998–1999*).

Визначення понять і термінів. Основою для уніфікації та об'єднання споріднених понять і термінів, що виникли в різних наукових і прикладних напрямах гідрогеології, для системного описання природних і природно-техногенних об'єктів впливу на підземні води може бути використана *теорія інфогеофреймової організації* геолого-інформаційного простору. Виходячи із прийнятого визначення: "*інфогеофрейм* – це рамочне геоінформаційне структурно-речовинне прогнозно-ретроспективно-статичне відображення певного класу геологічних об'єктів, пропонується відповідний предметний термін – *інфогідрогеофрейм* (ІГГФ), що означає *геоінформаційне рамочне відображення* певної гідрогеологічної ємності як структурно-речовинної одиниці обсягу ГС (інакше – породного масиву, що вміщує підземні води). ІГГФ можуть бути доволі різних масштабів і рівень їхньої складності обмежується рівнем деталізації досліджень.

У теорії інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з геологічним середовищем запропоновано (*Khrushchov et al., 2020*) виділяти три найбільш узагальнені типи інфогеофреймів: за геолого-генетичними ознаками; за діалектичною детермінованістю; за призначенням. У кожному типі виділено дві групи геологічних систем та об'єктів: у першому – природні й техногенні; у другому – абстрактні й конкретні, у третьому – пізнавальні та цільові. Приблизно така ж класифікаційна структура може бути прийнята і до інфогідрогеофреймів, проте до першого типу, крім природних (непорушені водоносні системи) і техногенних (поля фільтрації, рідкі відходи, закачані в надра, осередки шахтних вод) доцільно віднести й природно-техногенні (водозабори, що вилучають природні води, гідротехнічні меліоративні системи, дренажні системи в гірничій галузі), які для ІЗДРВОПВ є основними. Структурно-формаційні набори інфогідрогеофреймів створюють чотири ієрархічні рівні: регіональний (із двома підрівнями: міжгалузевий і транскордонний), зональний, групи структур (або галузевий), локальний. Сукупність усіх типів інфогідрогеофреймів становить гідролітобіосферу (*Техногенные процессы, 2003*), яка являє собою впорядковану сукупність гідрогеологічних елементів, що самоорганізується та існує з утворенням відповідного *інформаційного поля*. На відміну від ГІС фреймовий підхід щодо організації геологічної інформації забезпечує не її схематизацію, а логічно підпорядковану деталізацію та структуризацію фактичних даних про об'єкт, що надає можливість вирішення не лише поставленого поточного, а й безлічі майбутніх не пов'язаних між собою завдань. Якщо за допомогою ГІС створюють близькі до реальних макети геологічного або географічного простору, то інфогеофрейм уже існує і чекає на адекватне відображення. Єдина інформаційна система *на основі інфогеофреймів* має включати не лише дані геологорозвідувальних робіт та обґрунтування перспектив надрокористування, а й забезпечувати можливість порівняння з альтернативними, навіть менш прибутковими, проте значно більш екологічними варіантами економічної або рекреаційної діяльності на обраній території (що вже тривалий час практикується в ЄС); надавати можливість оцінки привабливості об'єктів ГС для інвесторів з різних галузей; допомагати виявляти порушення ресурсного та екологічного балансу, визначати рівень впливу на компоненти довкілля та не допускати екологічної кризи. Така інформаційна система має враховувати інтереси місцевого самоврядування, сучасні виклики, пов'язані з глобальними змінами клімату (*Шевченко та ін., 2019*) і станом довкілля, а також останні міжнародні домовленості та зобов'язання у сфері охорони навколишнього природного середовища.

У прикладному сенсі в межах верхньої частини гідролітобіосфери виділяються окремі *природно-господарські системи*, головною вимогою до яких є наявність рушійного соціально-екологічного чинника, спрямованого на збереження стійкості довкілля за максимально допустимого зростання ефективності використання природних (мінерально-сировинних) ресурсів (*Іванов, 1997*). Окрема реальна природно-господарська система як частина гідролітобіосфери у впорядкованій структурі інформаційного поля також може бути представлена у форматі інфогідрогеофрейму.

Зміст системи ІЗДРВОПВ. Нижче подаються ***особливості структури і динаміки гідрогеологічного простору*** з урахуванням його функціональних властивостей, що необхідно для розуміння підстав для введення обмежень з водокористування.

Головні умови й обмеження використання та охорони підземних вод, на відміну від твердофазної частини ГС, мають бути пов'язані передусім із *динамікою водообміну в геологічному середовищі*, а також виключно цільовим використанням з недопущенням самовиливу напірних вод через каптажні споруди.

Предметом досліджень ІЗДРВОПВ є: структурні, якісні та функціональні характеристики підземного гідрогеологічного середовища, що є частиною ноосфери, тобто тієї частини геосфери, яка залучається людством до простору своєї поточної та еволюційної (перспективної) життєдіяльності на Землі. Оскільки система ІЗДРВОПВ спрямована на вирішення прикладних завдань, то, розглядаючи доступну для людини частину підземної гідросфери, предмет досліджень на регіональному рівні слід трактувати, як прогнозні ресурси питних, мінеральних, технічних і промислових підземних вод; а на локальному або об'єктовому – як експлуатаційні запаси відповідних типів підземних вод. Таким чином, до сфери зацікавленості ІЗДРВОПВ потрапляють усі питання, пов'язані з формуванням прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод, впливом водовідбору (та інших факторів) на режим, баланс, якість підземних вод, а також фізичні (передусім ємнісно-фільтраційні) властивості водомісткого середовища, відповідно, і складові природного середовища, процеси та зовнішні чинники, що мають вплив на підземні води. Водночас ІЗДРВОПВ, як зазначалося вище, покликана гармонізувати відносини між людиною та гідрогеологічним середовищем, забезпечивши доступ до необхідної інформації та умови раціонального, заощадливого й оборотного водокористування.

Сьогодні очевидно, що в планетарному кругообігу води на передній план виходить орографічна десиметрія, яка спільно з ландшафтно-кліматичними умовами, гідрографією, геолого-структурними особливостями та колекторськими властивостями порід визначає водоносність зон активного водообміну та регіонального стоку. У планетарній системі кругообігу та споживання води центральну позицію займає *ландшафт* (*Falkenmark and Rockstrom, 2004*), який вміщує всю мережу наземної (континентальної) гідросфери та неглибокі ґрунтові води. Саме через ландшафт проходять усі

різноспрямовані потоки води, які сполучають атмосферу, людську діяльність, океан і глибокі водоносні горизонти. Саме *води ландшафтів найчутливіші до сучасних кліматичних змін*. Отже, в умовах гідрогеологічної посухи (не зважаючи на відносно велику кількість опадів у 2021 р.), головними характеристиками інфогідрогеофреймів і предметами досліджень, що вимагають переоцінки та зміни підходів у користуванні, є ресурси і баланс ґрунтових і перших від поверхні горизонтів напірних вод.

Принципові *положення методології* ІЗДРВОПВ пов'язані з розумінням і визначенням окремих позицій, що стосуються підземних вод, а точніше їхніх прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів, залежності їх від ГС та значної кількості кліматичних, гідрологічних, геоморфологічних, екзогенних, ендогенних і, врешті, техногенних чинників. Сфера досліджень і використання підземних вод до цього часу вже має усталену термінологію, визначення понять. Проте, на нашу думку, бракує строгої підпорядкованості, єдиного формату та узгодженості між законодавчим, нормативним, методично-виробничим і науковим напрямами. Систему інформаційного забезпечення досліджень підземних і поверхневих вод, стану атмосфери, ландшафтів слід конструювати і наповнювати не за галузевим принципом, а *підпорядковано предмету досліджень*.

Геофреймова організація ІЗДРВОПВ охоплює кілька інформаційних шарів: 1. Ресурси: їхня кількісна характеристика, баланс; 2. Умови формування: характеристика динамічних чинників, у т.ч. клімату, техногенезу та сталих чинників середовища, у т.ч. ландшафту, геологічної будови; 3. Формування хімічного складу, геохімічний фон, бар'єрні здатності середовища; 4. Економічні важелі (пріоритети) розвитку регіону, що враховують використання підземних вод, адаптація та коригування економічної діяльності, виходячи з бар'єрних здатностей середовища. На цій основі поступово вибудовується і заповнюється інформацією інфогідрогеофрейм регіону, території, об'єкта. Гідрогеологічна *схематизація гідролітобіосфери* за принципами фреймової структурної організації ГС виконується за такими ознаками:

- тектонічно-формаційна належність підземних вод (платформна структура, гірськоскладчаста область; осадовий чохол – шарувато-пластова ємність; кристалічний фундамент – масивна тріщинна ємність, вулканогенний басейн);
- гідрогеологічна (гідродинамічна, гідрохімічна, газова тощо) зональність;
- ієрархія басейнів за гідродинамічними ознаками;
- гідрогеологічна стратифікація;
- хімічний склад і мінералізація;
- фільтраційні параметри та гідродинамічні характеристики;
- особливості водообміну та баланс;
- ресурси.

Доцільно розділити гідрогеологічні системи *за ступенем відкритості*, а чинники регулювання їхніх водних ресурсів згрупувати по межах цих гідродинамічних систем. У зв'язку із динамічністю підземної та поверхневої гідросфери, існуванням кругообігу води в природі та можливістю відновлення запасів підземних вод необхідно розділяти *поверхнево розташовані* гідродинамічні системи з високою здатністю до природного або штучного відтворення (*відкриті захищені та незахищені*) та *відносно ізольовані системи* –зі значно уповільненою здатністю до відновлення (*закриті захищені*). Тобто очевидно, що у верхній гідродинамічній системі або зоні вільного водообміну складова швидко відновлюваних запасів буде більшою, ніж у зоні уповільненого водообміну. Тому має бути принципова різниця у підходах до оцінки експлуатаційних запасів підземних вод у цих зонах та в об'ємах водовідбору (дебітах водозаборів). Вона полягає в необхідності визначення для водоносних горизонтів *верхньої зони* експлуатаційних ресурсів з розрахунку дебітів водозабірних споруд, скомпенсованих динамічними ресурсами при 95 % забезпеченості складових живлення. У товщах зони уповільненого водообміну, що лежать нижче потужного регіонального водотриву, за таких саме витрат від 90 до 99 % водовідбору звичайно забезпечується ємнісними запасами, відтворення яких у часі незіставне із часом штучного вилучення. Такі системи слід вважати *незахищеними від кількісного виснаження*. Для експлуатаційних горизонтів цієї зони швидке відновлення рівнів після зупинки водовідбору відбувається завдяки значно переважній частці пружних запасів, а також газліфту – завдяки розширенню та вивільненню розчинених у воді газів. Повне ж відновлення відбудеться дуже нескоро, через тисячі років – після надходження води через області живлення та формування напору і збалансування хімічного складу. Для зони дуже уповільненого водообміну відновлення запасів виглядає ще більш проблематичним у зв'язку з її надвисокою гідродинамічною захищеністю, тобто перевищенням поля літогенних напорів системи в центральній її частині над напорами водоносних комплексів, що лежать вище, і наявністю потужних елізійних потоків розвантаження на периферії системи, які конкурують із зворотними потоками живлення із суміжних гідрогеологічних структур і верхніх поверхів даної структури. Очевидно, що в цьому сенсі розрахунки експлуатаційних запасів мають спиратися на значення темпів водообміну або *темпів відновлення запасів*. Для цього необхідно коректно розрахувати *ємнісні статичні* (за об'ємом пористого середовища) та *пружні запаси* експлуатаційного водоносного горизонту (комплексу).

Отже, привабливий для галузей промисловості, доступний за сучасними технічними засобами та економічно доцільний для людини обсяг підземного водного середовища має бути диференційований за *співвідношенням відновлюваних і не відновлюваних ресурсів питних підземних вод.* Якщо більш детально, то, крім ємнісних запасів (1), які порівняно швидко спрацьовуються, слід виділяти латеральну і вертикальну складові динамічних ресурсів підземних вод. У латеральному живленні виділяються: 2) частина ресурсів, що відновлюється природними водами ($Q_{ДЛПр}$), які завжди (95 % забезпеченість) надходили до горизонту (комплексу) у непорушених умовах завдяки наявності градієнту латерального потоку (рис. 1); 3) частина динамічних ресурсів, що відтворюється за рахунок надходження техногенних (комунальні стоки, шахтні води), забруднених природних вод або штучних ресурсів (останні здебільшого не забруднені, $Q_{ДЛШ}$). Серед обсягів, що надходять за рахунок більш уповільненого вертикального перетікання, є води: 4) які потрапляють до пласта завжди (природне перетікання) ($Q_{ДВПр}$): а) не приводять до зміни хімічного складу за звичного надходження, б) призводять до зміни складу у результаті збільшення надходження (за умов створення значної різниці напорів у разі тривалої експлуатації); 5) залучаються лише за інверсії напорів суміжних горизонтів у порушених умовах ($Q_{ДВПор}$) (рис. 2): а) не приводять до метаморфізації хімічного складу, б) призводять до метаморфізації хімічного складу.

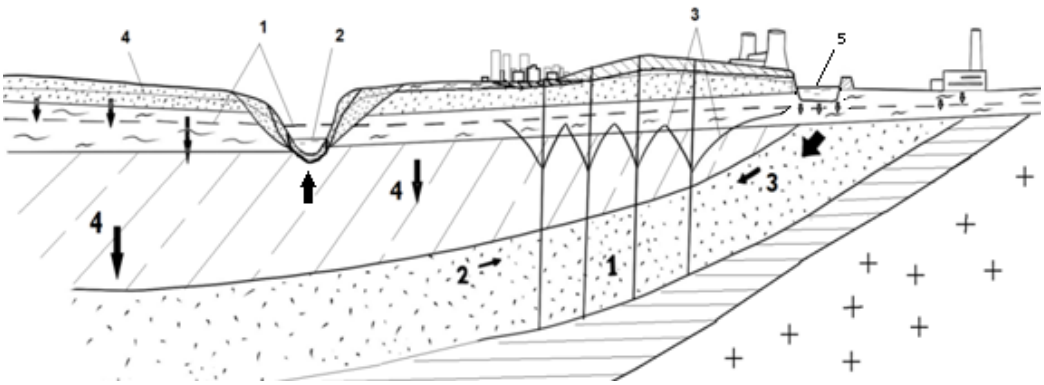


Рис. 1. Схема формування динамічних ресурсів у процесі експлуатації потужних міських і промислових водозаборів підземних вод у крайовій області артезіанського басейну:
1 – природний п'єзометричний рівень напірного експлуатаційного горизонту; 2 – рівень води в річці (область розвантаження напірного горизонту); 3 – депресія рівня підземних вод у районі водовідбору; 4 – рівень ґрунтових вод; 5 – штучна водойма.
Великими номерами позначено складові балансу експлуатаційних запасів:
1 – ємнісні запаси; 2 – природні динамічні ресурси даного горизонту $Q_{ДЛПр}$; 3 – надходження природних і штучних ресурсів (техногенне живлення) забруднених природних вод ($Q_{ДЛШ}$) із зони поглинання (формування напору);
4 – природне вертикальне живлення в області живлення від першого з поверхні водоносного горизонту $Q_{ДВПр}$

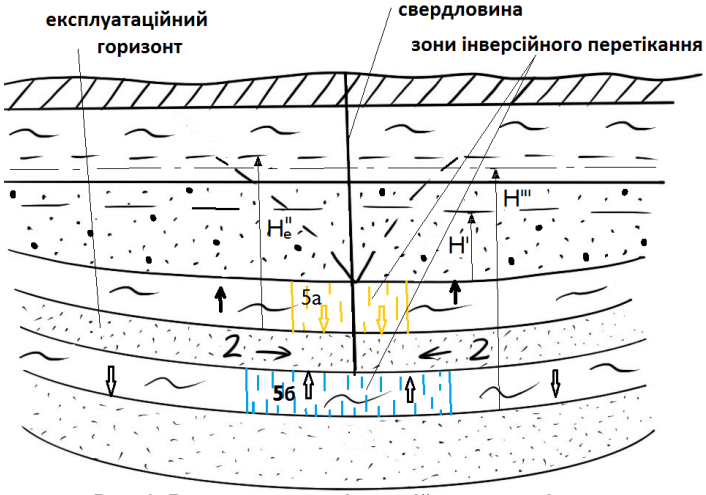


Рис. 2. Виникнення зон інверсійного перетікання
(5, а – без загрози зміни хімічного складу, 5, б – із метаморфізацією хімічного складу)
до експлуатаційного водоносного горизонту із слабозабезпеченими експлуатаційними запасами
в області зниження його рівня

Ємнісні запаси, що заповнюють порове середовище на момент початку експлуатації, поділяються на пружні – лише для напірних вод ($W_n = \frac{\mu^* \cdot V}{t_1}$) та статичні ($W_c = \frac{\mu \cdot V}{t_2}$). Для безнапірних горизонтів (комплексів) останні розраховуються за рівнів 95 % забезпеченості (рис. 2). Оскільки такі співвідношення змінюються в умовах експлуатації в часі (рис. 3), завданням прогнозування на постійно діючих гідродинамічних моделях є визначення моменту настання несприятливого співвідношення складових живлення, а саме – переважання складових 3, 4, б та 5, б.

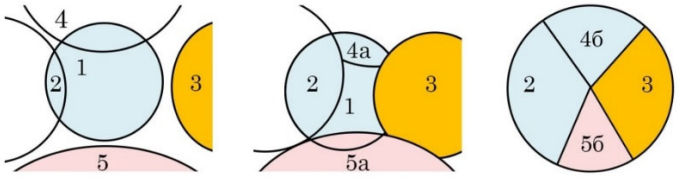
Рівняння балансу має такий загальний вигляд:

$$Q_e = \left(\frac{\mu^* \cdot V}{t_1} + \frac{\mu \cdot V}{t_2} \right) + Q_{ДЛПр} + Q_{ДЛШ} + Q_{ДВПр} + Q_{ДВПор} \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі породи; μ* – коефіцієнт пружної водовіддачі пласта; *V* – об'єм водонасичених порід, осушених за час *t*.

Виникають підстави для введення поняття *допустимий баланс* експлуатаційних запасів. Баланс може вважатися допустимим за таких співвідношень складових рівняння (1), за яких значення контрольованих санітарно-гігієнічних показників якості води не перевищують ГДК (для питних вод) або не виходять за межі встановлених кондицій (для мінеральних вод).

Таким чином, у системі ІЗДРВОПВ тісно змикаються *статичні,* у т.ч. структурні й речовинні характеристики гідрогеологічного середовища із *граничними умовами*, ступінь сталості яких обернено пропорційний рівню техногенного навантаження і прямо пропорційний захищеності та буферності гідродинамічної системи, а також обсягам *динамічних* ресурсів. У зв'язку із цим ми пропонуємо запровадити категоризацію експлуатаційних запасів підземних вод за ступенем їхньої забезпеченості природними ресурсами. Відповідно до категорії забезпеченості слід диференціювати обсяги водовідбору (для дуже слабозабезпечених – до 30 м^3/добу, слабозабезпечених – до 50–100 м^3/добу і т.п.) та способи водокористування: для дуже слабозабезпечених родовищ мінеральних вод – лише санаторне використання; для так само забезпечених родовищ питних вод – лише господарсько-питне водопостачання з обмеженням для санітарно-гігієнічного використання і т.п.



а б в

Рис. 3. Стадійність розвитку процесів залучення до водозабору, що в першу чергу використовує ємнісні запаси (1) родовища підземних вод, динамічних латеральних природних ресурсів (2), забруднених вод (3), зростання вертикального перетікання: із розташованого вище водоносного горизонту без істотного порушення хімічного складу (4, а), з порушенням хімічного складу (4, б); з горизонту, розташованого нижче – без метаморфізації якісного складу (5, а), з істотною метаморфізацією складу (5, б);

а – на початку експлуатації; *б* – через деякий, достатньо тривалий час після початку експлуатації; *в* – наприкінці тривалої експлуатації

Граничні умови мають повністю виявляти зовнішні складові живлення та розвантаження, отже, інформаційний блок умовно сталих характеристик переходить до блока характеристик динамічних (рис. 4), які можна об'єднати поняттями *водообмін* і *баланс*.

Якщо виходити з підпорядкованості підземної гідросфери геологічному середовищу та спиратися на виділення складових частин підземної гідросфери за *принципом співвідношення невідновлюваних запасів і відновлюваних ресурсів,* у структурі характеристик і чинників, що визначають змістовну функцію гідрогеологічного середовища у водозабезпеченні всіх напрямів діяльності людини, будемо виділяти два блоки (рис. 4):

1. *Структурно-формаційний блок* – характеристика умов розподілу природних запасів підземних вод референтної гідрогеологічної структури (ємності, басейну*)*. Виділяється група факторів, які уособлюють особливості будови структурно-тектонічної формаційно-речовинної матриці. Це чинники або характеристики геологічного середовища, що відповідають за характер накопичення і розподілу підземних вод у зональній та багатоповерховій товщі земної кори, забезпечують колекторські або водотривкі властивості, первинний хімічний склад підземних вод до початку дії активного водообміну та втручання людини. Структурно-літологічний чинник є вирішальним в разі виділення геологічних меж родовищ, створення ізольованих (у покрівлі та підошві) і замкнених (з боків) водоносних систем, тобто він відповідає за ємнісні запаси та визначає можливість і швидкість їхнього відновлення.

2. *Функціональний блок* – характеризує та забезпечує умови формування *динамічних ресурсів* (живлення, розвантаження і поточний баланс). Складається із трьох груп факторів: 1 – внутрішні термогідродинамічні, що визначають розподіл напорів і напрямки переміщень підземних вод усередині системи та їхній вихід за межі системи, поверху, гідродинамічної зони (зовнішнє розвантаження); 2 – зовнішні чинники, що впливають на довготермінові процеси поповнення (відновлення) запасів підземних вод, а також обумовлюють поточний баланс або стан водності відкритих гідродинамічних систем (горизонтів, комплексів); 3 – ландшафтно-біогеохімічні (*Шевченко, 2016*), що впливають на динаміку водообміну (живлення–розвантаження), захищеність, формування хімічного складу вод зони інтенсивного водообміну.

За формування якості підземних вод так чи інакше відповідають усі складові обох блоків (рис. 4). Величезною є роль глибинної флюїдної складової в процесах діагенезу, епігенетичних перетворень порід, метаморфізму, метасоматозу та рудоутворення в широкому діапазоні температур і тисків (Fyfe et al., 1978; Shmulovich et al., 1994; Ague, 2003; Лукин, 2014; Шестопалов и др., 2018). Повертаючись до понять *природно-господарських* і *природно-техногенних гідродинамічних систем,* необхідно зауважити, що, крім глобальних природних процесів формування складу підземних вод, у сучасних умовах антропогенного впливу генеруються складні циклічні або ланцюжкові техногенні процеси, які призводять до метаморфізації складу підземних вод. Так, постійна взаємодія підземних вод з водомісткими породами у відновних умовах забезпечує стійкий баланс розчинених у воді макро- та мікрокомпонентів. Проте штучне порушення цього режиму часто зумовлює трансформацію хімічного складу підземних вод унаслідок надходження вод іншого хімічного складу, кисню,"запуску" процесів сірчанокислого вилуговування, гідролізу тощо. Отже, якість підземних вод та її зміни в часі в умовах експлуатації тісно пов'язані із *ступенем забезпеченості* експлуатаційних запасів підземних вод динамічними природними ресурсами тієї ж якості. Слабо та дуже слабозабезпеченими слід вважати ізольовані водоносні горизонти мінеральних вод із дуже обмеженим живленням в невеликих замкнених мульдоподібних структурах, напірні водоносні горизонти з двома накладеними областями вертикального розвантаження (рис. 2), окремі родовища мінеральних і промислових вод інжекційного типу та деякі інші.

Баланс підземних вод істотно порушений і має останніми роками від'ємні значення не лише внаслідок водовідбору, браку живлення під час глобального потепління, а й завдяки накладеній дії останнього на створений людиною несприятливий агроландшафтний фон. Хоча першопричинами згадуваної вище низької водозабезпеченості жителів України є переважно природні чинники, проте в умовах потепління клімату наростання дефіциту водних ресурсів відбувається вже через іншу причину – значну розораність території країни. За даними на 2019 р. Україна, з орною площею 33,5 млн га (56,1 % від загальної площі країни), посідає у світовому рейтингу відносної розораності земель перше місце у світі. Для прикладу, у Польщі, яка теж вважається аграрною країною, – 35,7 %, у Франції – 33,5 %. Понад 70 % території нашої держави займають сільгоспугіддя, тобто відкриті ґрунти. Якщо в умовах гумідного клімату розораність поверхні ґрунту сприяє надходженню атмосферних опадів до ґрунтових вод (та й то не завжди), то в умовах аридизації – навпаки, негативно позначається на інфільтраційному живленні та відновленні запасів ґрунтових вод. Якщо ж додати ще й зниження рівнів води в річках, то спрацювання запасів ґрунтових вод ще більше пришвидшується.

Аридизація клімату змушує шукати гарантовані джерела забезпечення вологою сільськосподарських угідь для позбавлення залежності від посух, оскільки поверхневий стік (крім великих водосховищ) може виявитися недостатнім. У світі значна частина підземних вод, що видобуваються, уже сьогодні використовується

для зрошення (67 %), 22 % – для задоволення господарсько-питних потреб і лише 11 % – для потреб промисловості. Із підземних вод в Україні в сільському господарстві використовується поки що лише 11 % (у т.ч. 1 % – на зрошення), у комунальному господарстві – близько 78 %, у промисловості – 10,7 % і 0,3 % іде на бутелювання та виготовлення напоїв.

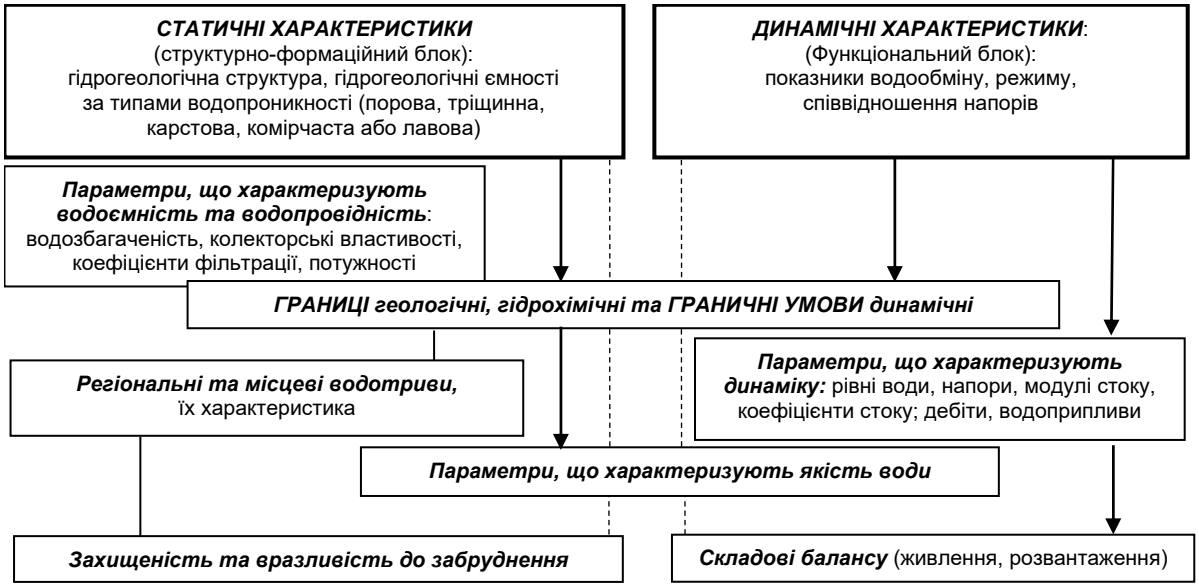


Рис. 4. Мінімальний набір необхідних даних, що характеризують непорушені гідрогеологічні умови, уніфікована структура абстрактного інфогідрогеофрейму

Застосування ІЗДРВОПВ для розв'язання сучасних проблем водопостачання. В умовах впливу глобального потепління на водні ресурси, що накладається на інтенсивне використання підземних вод (у першу чергу для господарсько-питного водопостачання та зрошення) необхідно вчасно змінювати пріоритети у джерелах водокористування. Очевидно, що використання підземних вод відбувається в більших обсягах і за значно менший час, ніж їхнє природне відновлення. Із зростанням середньорічної температури повітря більше за 0,5 °С/10 років (що відбулось у 2013–2017 рр.) та аномальним зменшенням кількості опадів в окремі роки (2015, 2019 рр. – до 99 % забезпеченості) інфільтраційне живлення ґрунтових вод істотно знизилося. На площах, де РГВ не вийшли за межі середньобагаторічних значень (лівобережна частина водозбору у верхів'ях р. Південний Буг, рис. 5) та наявне напірне живлення ґрунтових вод, помітно, що реакція РГВ на збільшення живлення більш швидка, ніж на його зменшення. Унаслідок падіння рівнів води в річках, що дуже швидко реагують на брак опадів, зросли градієнти підземного стоку, а отже, і обсяги підземного відтоку до річок, відносна складова підземного живлення яких збільшилась. Без своєчасного та достатнього природного відновлення запаси ґрунтових вод почали інтенсивно спрацьовуватись, що викликало істотне зниження їхніх рівнів. У результаті в зоні аерації зростає потужність не капілярної облямівки та області транзиту, а лише верхньої її підзони – неусталеного зволоження. Саме на насичення та втрати на випаровування з цієї частини зони аерації, яка зросла подекуди на 200 %, витрачається основна частина атмосферних опадів. Тому рівні ґрунтових вод у теплий період року можуть знижуватись навіть у періоди випадіння дощів. Таким чином, на вододілах РГВ знижуються переважно внаслідок браку живлення, а на терасах і схилах долин річок, крім цього, ще й за рахунок бокового відтоку. Отже, на вододілах, якщо РГВ установлюються нижче критичної глибини, вони відносно стабілізуються і коливаються з певною річною амплітудою на нижчих відмітках. Тут режим переходить від суто інфільтраційного до інфільтраційно-конденсаційного, тоді як у долинах річок – від інфільтраційно-прирічкового до інфільтраційно-випарного та випарного. Зменшення живлення ґрунтових вод і падіння їхніх рівнів обумовило й деяке зниження рівнів у розташованих під ними субнапірних і напірних горизонтах. До речі їхні пружні запаси також спрацьовуються, не в останню чергу внаслідок появи та збільшення від'ємної різниці між РГВ і рівнем напірних вод у долинах річок. Натомість РГВ, за наявності напірного живлення, знижуються не настільки інтенсивно, як за його відсутності.

Навіть помітне збільшення кількості опадів у 2021 р. веде спочатку лише до нарощування рівнів води в річках і зменшення припливу до них підземних вод. Тобто процес спрацювання запасів ґрунтових вод у непорушених людиною умовах (без водовідбору) наразі призупинився. Проте відновлення РГВ потребує тепер (у результаті збільшеній потужності зони аерації) значно більшого часу, що регулюється водоутримувальними здатностями порід зони аерації, температурою приземного повітря та кількістю опадів (на локальних ділянках слід ураховувати тектоніку, напірне живлення та багато інших чинників). Якщо ж остання буде в багаторічному плані встановлюватися відповідно до зміненої зональності (значно розширились на північ степова (арідна) і лісостепова зони незначного та недостатнього зволоження), то цієї кількості все одно не вистачить для повного відновлення рівнів і вони встановляться на глибинах, характерних для більш посушливих широт. Таким чином, за даних умов у басейні р. Південний Буг за браку глибоких артезіанських вод у маловодні періоди та на початку багатоводного слід використовувати зарегульовані поверхневі води водосховищ, сприяючи відновленню запасів ґрунтових вод, а в багатоводні – підземні води, сприяючи зворотному фільтраційному відтоку вод з водосховищ.

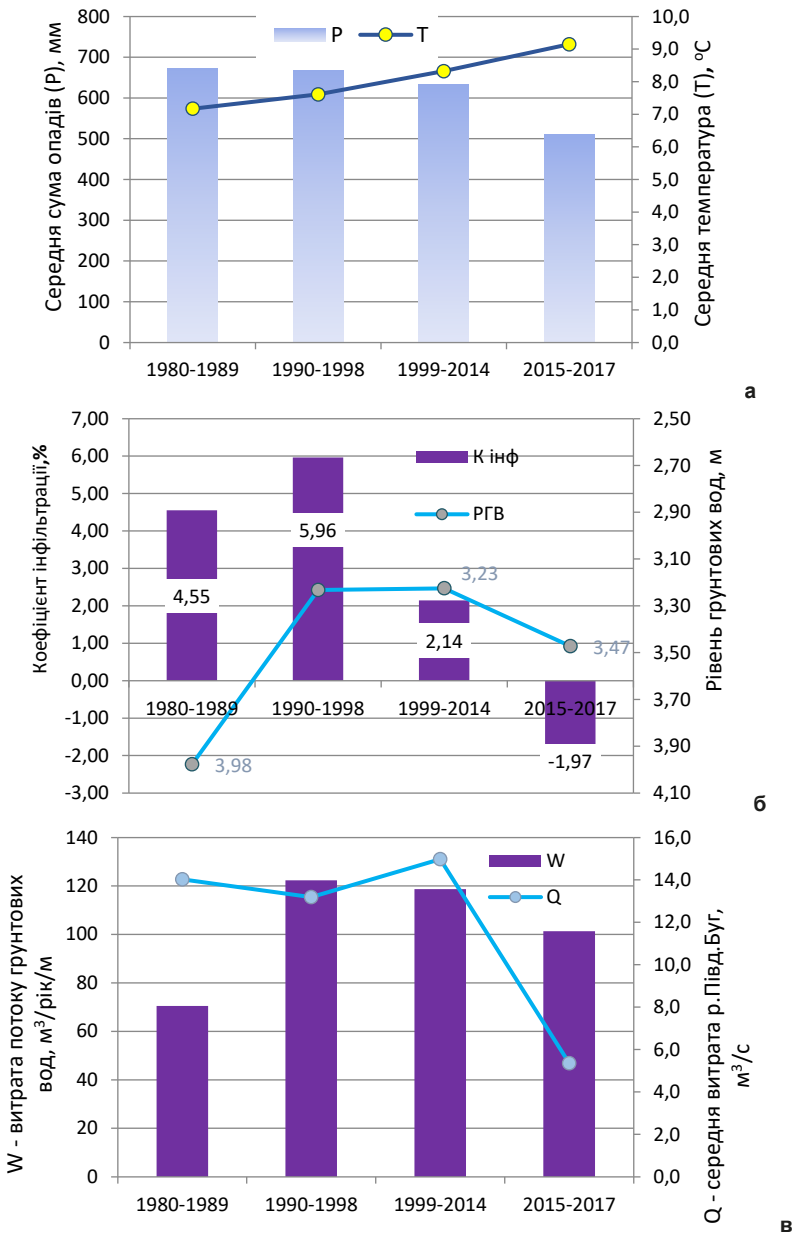


Рис. 5. Вибіркові складові інфогідрогеофрейму (локальний водозбір), що відповідають за формування запасів ґрунтових вод при РГВ 2,7–4,5 м:
а – кліматична складова; б – показники живлення та режиму; в – показники ресурсів поверхневих і ґрунтових вод

Наведений скорочений аналіз сучасного стану ресурсів підземних і поверхневих вод став можливим завдяки зображенню басейнів підземних вод у форматі інфогідрогеофреймів, де всі складові пов'язані балансовими, циклічними та "нейронними" зв'язками. При цьому вибудувано та наповнено поточною інформацією низку фреймів від точкового ("зона аерації – РГВ"), локального (свердловини – річка) до регіонального (водозбори – області розвантаження) рівнів. Крім кількісних характеристик, інфогідрогеофрейми наповнюються і якісними характеристиками. Це також відрізняє ІЗДРВОПВ на основі фреймової організації від ГІС, в яких прийнято вирішувати вузькі галузеві прогнозні та поточні завдання без широкої ретроспективи. Отже, система фреймів у гідрогеології привчає до комплексного бачення причинно-наслідкових зв'язків, розгляду підземних вод в єдиній системі: атмосфера (клімат) – наземна гідросфера – підземна гідросфера, з усіма перехідними ланками (зона аерації, водотриви), що на жаль, досі не практикується. Достатньо згадати розрізнену систему моніторингу поверхневих і підземних вод, в якій відсутні суміщені створи.

Стратегічні засади заощадливого водокористування. В умовах зменшення обсягів поверхневого стоку доведеться все більше переходити на його регулювання шляхом спорудження гребель, водосховищ, ставків. За цих умов підземний стік у річки в районах водосховищ практично зникає, проте зростає зворотне живлення підземних вод поверхневими. Найбільш раціональною стає система берегових водозаборів (як у м. Івано-Франківськ та ін.), що відбирають відфільтровану через алювіальні відклади воду, яка за своєю якістю значно перевищує поверхневу. Крім того, використовуючи водосховища, можна розподілити в часі послідовне використання поверхневих і підземних вод, у маловодні періоди – води глибоких горизонтів (в артезіанських басейнах) і водосховищ, у багатоводні – води водосховищ і перших від поверхні горизонтів (для

запобігання підтоплення). Регулювання такої *комбінованої системи використання водних ресурсів* (КСВВР) має забезпечуватися досконалою інформаційною системою. У зв'язку зі створенням КСВВР слід упорядкувати, а в окремих випадках і обмежити, доступ і використання підземних джерел централізованого підземного водопостачання, як місцевого, так і державного стратегічного значення, створити систему державного гідролого-гідрогеологічного моніторингу, що дозволить визначати стік підземних вод у річки та фільтраційні втрати з водосховищ.

Сьогодні значна кількість експлуатаційних свердловин, переважно приватних господарств, не перебуває на обліку. За офіційними даними питомий водовідбір підземних вод в Україні становить приблизно 0,1 тис. м^3/людину/рік (приблизно як у Франції, Німеччині, Угорщині, Норвегії), проте ця цифра може виявитись істотно вищою. У першу чергу слід поставити на облік експлуатаційні свердловини всіх підприємств, запаси експлуатаційного водоносного горизонту, якість підземних вод і спосіб їхнього використання підприємством. *Призначення* підземних вод за *способом використання* є одним із ключових питань. Скажімо, підземні води сеноман-келовейського (верхня крейда-середня юра) та байоського (середня юра) водоносних горизонтів у Київській та Чернігівській областях необхідно заборонити для технічного використання (крім використання у харчовій промисловості). Слід вважати неприпустимим використання питних підземних вод на промислові потреби (крім виготовлення харчової продукції) і, за наявності альтернативи, переключати такі підприємства на використання поверхневих вод, або підземних водоносних горизонтів з менш якісними водами. Такі процедури повинні регулювати регіональна гідрогеологічна служба, Державне агентство водних ресурсів та ДКЗ України.

Шкідливу дію води (підтоплення, вторинне заболочування, карст, зсуви, просідання поверхні тощо) доцільно нейтралізувати шляхом її відбору та використання. Для зменшення та унеможливлення шкідливої дії скидних вод необхідно максимально спрямовувати їх на оборотне використання або на *перетворення у джерело енергії*. Ресурси вод низької якості можуть бути використані для потреб *водневої енергетики*. Перспективи здійснення такого проєкту базуються на наявності технологій виробництва "зеленого" водню із застосуванням нетрадиційних джерел енергії та надлишків традиційної електроенергетики.

До вод *господарсько-питного* призначення відносять прісні води доброї якості та умовно-питні, слабосолонуваті води з мінералізацією до 1,5 г/дм^3. *Технічні* води мають незадовільну якість та/або підвищену мінералізацію, застосовуються для господарсько-побутових цілей, миття доріг, транспортних засобів. За кордоном їх використовують в паралельних лініях комунального водозабезпечення для побутово-технічних цілей. *Технологічними*, на відміну від технічних, можуть бути води широкого діапазону мінералізації, від низькомінералізованих (< 1,0 г/дм^3), що здебільшого використовують у харчовій галузі, фармакології, до слабких розсолів – для промивання риби та ікри перед засолкою тощо. Технологічні води можуть бути використані й для отримання енергетичного водню шляхом електролізу. Тобто це води, які використовують для виготовлення промислової продукції. Серед *мінеральних вод* слід виділяти в першу чергу питні та бальнеологічні – для зовнішнього лікування. Питні мінеральні поділяються на природні столові широкого застосування, лікувально-столові та лікувальні (*Інструкція…, 2002; Классификация…, 2003*).

У практиці геолого-економічної оцінки родовищ підземних вод і погодження спецдозволів на користування надрами варто було б залишити переоцінку запасів через п'ять років для родовищ у складних умовах, із запасами, затвердженими за категоріями В і C_1. На таких родовищах здебільшого існує невизначеність щодо умов формування експлуатаційних запасів або хімічного складу підземних вод, а також ризик утрати їхніх кондицій. Тому тут, керуючись стратегією заощадливого, раціонального водокористування доцільно продовжувати не лише формальне звітування за формою 2-ТП (Водгосп), а й регулярний моніторинг водовідбору та якості води.

Інфогеологічне моделювання. Інформаційне моделювання є основним робочим інструментом ІЗДРВОПВ**.** Розроблено універсальний методологічно-методичний апарат інформаційного моделювання, що призначений для забезпечення різних напрямів поводження з геологічним середовищем (*Khrushchov et al., 2019, 2020)*. Для підземного водного середовища цей апарат має певні особливості. Традиційні ієрархічні структурні підрозділи підсистеми підземних вод (басейн – поверх –водоносний комплекс – водоносний горизонт – однорідний шар) по суті становлять єдність вмісної твердофазної матриці й водної маси, що заповнює її об'єм. Для цільового моделювання такої системи прийнятні принципи методичного комплексу різномасштабної дії – прогнозно-палеореконструктивного ретроспективно-статичного моделювання (ППРРСМ) і комплексної еколого-геологічної моделі (КЕГМ) (*Хрущов и др., 2017*) з відображенням гідрогеологічних (гідродинамічних і гідрохімічних) складових.

Проблеми управління водними ресурсами, які стосуються як поверхневих, так і підземних вод, найкраще розвєєязувати за допомогою імітаційних моделей. Загалом для всіх видів поводження з підземними водами можна виділити кілька принципових *груп моделей*: 1) гідрогеологічні концептуальні моделі (*Bredehoeft, 2005*; *Michalaka et al., 2011*); 2) гідродинамічні (*Bethke,1989*); 3) гідрохімічні (у тому числі забруднення) (*Bear and Verruijt, 1987*); 4) експлуатаційні (*Szymanko,1980*); 5) кліматично-гідрогеологічні (система взаємодії атмосфера – поверхневі води – зона аерації – підземні води) (*Fan et al., 2007)*. Під час установлення об'єктності досліджень і робіт й у виборі конкретних об'єктів стає можливим використання методичного апарату *комплексної еколого-геологічної моделі* (КЕГМ) (*Khrushchev et al., 2019*). КЕГМ – це цільова комбінована модель високого порядку, яка може складатися із кількох предметних моделей підлеглих рангів, про які згадувалось вище. Склад комплексу предметних моделей визначається головним цільовим об'єктом, що досліджується та буде використаний (використовується). Для загального випадку КЕГМ має складатися щонайменше з двох складових: водомістких і водотривких порід (геологічні тіла) і рухливої складової (вода та розчинені в ній речовини). Вони являють водообмінну систему, що міститься чи проходить у рамковому об'ємі (фреймі) цього породного масиву за певний час.

Створення та впровадження *геоінформаційних систем (ГІС)* водних і водогосподарських об'єктів є одним із пріоритетних напрямів розвитку системи управління водними ресурсами. ГІС дозволяють у зручній формі збирати, зберігати, обробляти, візуалізувати як числові чи семантичні характеристики цих об'єктів, так і їхні просторові координати, швидко будувати тематичні карти для

підтримки та прийняття управлінських рішень, аналізувати дані з урахуванням рельєфу місцевості тощо (*Мокін та Крижановський, 2016*). Інформаційним забезпеченням даними про стан природного середовища, у тому числі експлуатаційних запасів підземних вод та їхньою первинною обробкою безумовно повинні займатися регіональні (територіальні) центри моніторингу, які запропоновано (*Лютий та ін., 2017*) створити на базі гідрогеологічних партій державних регіональних геологічних підприємств Державної служби геології та надр України. Запис метаданих до інформаційної формалізованої бази даних моніторингу слід виконувати в Профілі INSPIRE Європейського Союзу мовою XML згідно з вимогами ISO 19115 і 19139.

Окремо слід позначити перспективи впровадження принципів фреймової організації в систему ІЗДРВОПВ (*Khrushchov et al., 2020*). Завдяки своєму наповненню ІЗДРВОПВ здатне забезпечити вирішення багатьох різномасштабних завдань, зокрема – покриття України регіональними гідродинамічними моделями та перехід до створення локальних моделей окремих родовищ підземних вод. Виходячи із системно-організаційної логіки та галузевих пріоритетів, після завершення геолого-гідрогеологічної зйомки України масштабу 1 : 200000, доцільно розпочати програму регіонального відображення гідрогеодинамічних умов саме у вигляді цифрових (тривимірних) моделей, на відміну від сталої геологічної основи. Спочатку необхідно забезпечити покриття України регіональними гідрогеодинамічними моделями того ж масштабу (1 : 200000), що передбачає формулювання в кожному випадку завершеного гідрогеологічного циклу та чіткої схематизації граничних умов у межах водних тіл – гідрогеологічних структур, їхніх частин або гідрогеологічних ємностей чи басейнів. Згідно з Європейською рамковою директивою всі ці підрозділи належать до гідрогеологічних масивів різного порядку (*Chiang and Kinzelbach, 2001*). Для формалізації та структурного підпорядкування цих підрозділів в електронному цифровому форматі ми пропонуємо ввести принцип фреймової організації ГС.

Після надання місцевому самоврядуванню вирішальних повноважень з використання земель почастішали випадки необґрунтованого блокування об'єктів економіки державного значення. Зупинились роботи з обґрунтування та обговорення надзвичайно важливого для соціального відродження Полісся та всієї економіки України транскордонного проєкту відновлення судноплавства від Балтійського до Чорного моря системою річок басейнів Вісли та Дніпра. Очевидно, що розчищення русел річок на території Білорусі дозволить залучити до України значні додаткові обсяги водних ресурсів за рахунок дренування грунтових вод з перезволожених територій. Слід забезпечити інформаційний доступ догромадського обговорення геоекологічних питань, а також винесення фахових неупереджених рішень в інтересах держави з цього приводу.

Сучасний стан фінансування та розвитку гідрогеологічної науки, її пожвавлення та актуалізації значною мірою залежить від участі гідрогеологів в обґрунтуванні масштабних економічних проєктів і розробці науково-прикладних завдань державного рівня. На жаль, подібні великі державні засадничі гідрогеологічні програми розроблялись уже досить давно. З останніх можна згадати розробку комплексу пообласних карт захищеності підземних вод (М 1 : 200000) у 70–80-ті рр. минулого сторіччя; державну геолого-гідрогеологічну зйомку масштабу 1 : 200000 (початок 2000-х – донині); серію робіт з водообміну в гідрогеологічних структурах України великого колективу авторів під керівництвом академіка В.М. Шестопалова (1987–2001); оцінка ризиків забруднення водозаборів після катастрофи на ЧАЕС та обґрунтування альтернативних джерел водопостачання. Подібним великим проєктом могло б стати покриття України регіональними моделями та систематизація локальних моделей родовищ питних вод великих міських водозаборів, що вже створені для багатьох міст України (*Шестопалов та ін., 2019, 2020*), а також наповнення інформацією презентованої нами системи ІЗДРВОПВ.

Висновки. Перспективи розвитку напряму. В умовах послідовного виснаження ресурсів підземних вод в Україні, особливо чистих питних вод високої якості, головним пріоритетом у галузі поводження з підземними водами має бути організація системи їхнього ефективного й заощадливого використання та охорони на основі сучасного наукового обґрунтування та інформаційного забезпечення. Це визначає актуальність розробки теорії ІЗДРВОПВ. Методологія інформаційного забезпечення засновується на принципах цільового інфогеологічного структурування геологічного середовища на базі традиційних прийомів формаційного аналізу з деталізацією гідрогеологічних умов. Основний методичний апарат інформаційного забезпечення – інфогеологічне моделювання, що базується на принципах побудови різномасштабних прогнозних, епігнозних і комплексних еколого-гідрогеологічних моделей геологічних об'єктів.

Подальший розвиток теорії ІЗДРВОПВ має бути пов'язаний із системою фреймової (точніше – інфогідрогеофреймової) організації гідролітобіосфери, принципи якої представлено в даній роботі. Інфогідрогеофрейм, що є складовим елементом ІЗДРВОПВ, являє собою відображення певного класу гідрогеологічних об'єктів або конкретного гідрогеологічного об'єкта, яке може бути застосовано для пізнання та цільового дослідження з метою *використання* гідрогеологічного середовища.

Наведені теоретичні основи ІЗДРВОПВ становлять основу для інноваційного корегування методичного і нормативно-законодавчого забезпечення головних напрямів поводження з підземними водними ресурсами в умовах їхнього виснаження. Для цього запропоновано ввести поняття "допустимого балансу" за співвідношенням невідновлюваних ємнісних запасів і відновлюваних динамічних ресурсів. Необхідними кроками на шляху розвитку *міжгалузевої* системи ІЗДРВОПВ має стати розбудова мережі гідролого-гідрогеологічного моніторингу, створення регіональних і локальних (для окремих родовищ) гідродинамічно-кліматичних моделей.

У межах послідовного впровадження теоретичних основ ІЗДРВОПВ у практику необхідно виконати нормативну регламентацію використання підземних джерел водопостачання з метою їхнього збереження. Для цього: використовувати їх лише за цільовим призначенням; упровадити комбіноване використання поверхневих і підземних вод на великих централізованих водозаборах; диференціювати обсяги водовідбору та способи водокористування залежно від категорії (ступеня) забезпеченості експлуатаційних запасів природними ресурсами.

Список використаних джерел

Данилишин, Б.М., Дорогунцов, С.І., Міщенко, В.С. та ін. (1999). Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України. Київ.

Джамалов, Р.Г., Сафронова, Т.И. (2009). Ресурсы подземных вод: их изменение под. влиянием климата и распределение по странам мира в начале XXI века. *Георазрез: электронное научное издание*, 1–32.

Іванов, Є.А. (1997). Ландшафти гірничопромислових територій. Львів.

Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ мінеральних підземних вод. (2002). ДКЗ України.

Камзіст, Ж.С., Шевченко, О.Л. (2008). Гідрогеологія України : навч. посібник. Київ.

Классификация минеральных вод Украины. (2003). Монография. Под. ред. Шестопалова В.М. Киев.

Клепов, В.И. (2010). О гидрогеологических основах моделирования и обоснования совместного использования поверхностных и подземных вод в Московском регионе. *Мат-лы междунар. науч. конф. "Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования", 13–14 мая 2010 г., Москва*, 235–242.

Ковалевский, В.С. (1996). Гидрогеологическое обоснование совместного использования поверхностных и подземных вод в Московском регионе. *Водные ресурсы*, 4, 472–481.

Лукин, А.Е. (2014). Флюидный литогенез – важнейшее направление литологических исследований в XXI ст. *Геол. журнал,* 4 (349), 27–42.

Лютий, Г.Г., Люта, Н.Г., Саніна, І.В. (2017). Шляхи до розвитку моніторингу експлуатаційних запасів питних підземних вод. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*, 1–2, 209–217.

Минкин, Е.Л., Хранович, И.Л. (1996). Учет взаимодействия поверхностных и подземных вод в математической модели выбора оптимальних параметров водохозяйственных систем. *Водные ресурсы*, 3, 376–382.

Мироненко, В.А., Румынин, В.Г. (1998–1999). Проблемы гидрогеоэкологии. Моногр. . в 3 т. Москва.

Мокін, В.Б., Крижановський, Є.М. (2016). Стан створення геоінформаційних систем водних та водогосподарських об'єктів України // Раціональне використання та відновлення водних ресурсів; за ред. В.П. Фещенка : моногр. – Р-27. Житомир, 29–36.

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

Техногенные процессы в подземных водах (биосферный подход, диагностика и управление). (2003); под ред. Гавич И.К.. Москва.

Хрущов, Д.П., Ковальчук, М.С., Ремезова, Е.А., Лаломов, А.В., Цымбал, С.Н., Босевская, Л.П., Лобасов, А.П., Ганжа, Е.А., Дудченко, Ю.В., Крошко Ю.В. (2017). Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Интерсервис.

Шевченко, А.Л., Осадчий, В.И., Бабушкина, Р.А., Чарный, Д.В. (2019). Актуализация проблемы учета ресурсов подземных вод в условиях глобального потепления. *Мат-ли міжнар. наук.-практ. конф. "Роль наук про Землю в народному господарстві. Стан та перспективи", 20 бер. 2019 р., Херсон*, 317–323.

Шестопалов, В.М., Лукин, А.Е., Згонник, В.А., Макаренко, А.Н., Ларин, Н.В., Богуславский, А.С. (2018). Очерки дегазации Земли. Киев.

Шестопалов, В.М., Стеценко, Б.Д., Руденко, Ю.Ф. (2019). Підземні води верхньосарматського водоносного горизонту як резервне джерело питного водозабезпечення Миколаєва (Україна). *Геологічний журнал, 2*(367), 5-17. https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169930

Шестопалов, В.М., Стеценко, Б.Д., Руденко, Ю.Ф. (2020). Проблеми питного водозабезпечення Маріуполя і пропозиції щодо їхнього вирішення за рахунок підземних вод. *Геологічний журнал*, 1, 3–16. https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974

Шестопалов, В.М., Сухоребрый, А.А. и др. (1989). Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в естественных условиях. Киев.

Яковлєв, В.В. (2012). Залишкові запаси реліктових прісних вод у колекторах української частини Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. *Зб. наук. праць Інституту геохімії навколишнього середовища*, 20, 134–138.

Ague, J.J. (2003). Fluid flow in the deep crust / H.D. Holland, K.K. Turrekian // *Treatise on geochemistry.* Amsterdam: Elsevier. – 1.3, 203–247.

Bear, J., Verruijt, A. (1987). Modeling groundwater flow and pollution (theory and applications of transport in porous media). D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.

Bethke, C.M.(1989). Modeling subsurface flow in sedimentary basins. *Geologische Rundschau*, 78, 129–154.

Bredehoeft, J.D. (2005). The conceptualization model problem: surprise. Hydrogeology J., 13, 37–46.

Chiang, W.-H., Kinzelbach, W. (2001). 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, Berlin, Heidelberg.

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

Falkenmark, M., Rockstrom, J. (2004). Balancing water for humans and nature // The new approach in ecohydrology. London: Sterling, VA. 247.

Fan, Y, Miguez-Macho, G, Weaver, CP, Walko, R, Robock, A (2007). Incorporating water table dynamics in climate modeling: 1. Water table observations and equilibrium water table simulations. *J Geophys Res.,* 112, D10125. doi:10.1029/2006JD008111.

Fyfe, W.S., Price, N.J., Thompson, A.B. (1978). Fluids in the Earth's crust. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier.

Khrushchev, D.P., Remezova, E.A., Belevtsev, R.Y., Yakovlev, E.A., Azimov, A.T., Ivanova, A.V., Lobasov, A.P., Bosevskaya, L.P., Pochtarenko, V.I., Okholina, T.V. (2019). Formation algorithms for the theory of information support for research and works on geological environment management. *Geoinformatika,* 1 (69), 70–90.

Khrushchov, D.P., Dolin, V.V., Goshovski, S.V., Remezova, O.O., Goncharov, V.Ye., Azimov, O.T., Shevchenko, O.L. et al. (2020). The theory of information providing for researches and works on geological environment management. *Proceedings 19-th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects", 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine*. Art. no. 17980, 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-*4609.2020geo012

Michalaka, J. Nawalanegoi, M. Sadurskiego, A. (Eds.). (2011). Schematyzacja warunkow hydrogeologic znych napotrzeby numerycznego modelowania przeplywuw JCWPd. Warszawa: Panstwowy Inst. Geologiczny – Panst. Inst. Badawczy.

Shevchenko, O., Osadchiy, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin. *Proceedings 18th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects", 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine*. Art. no. 15890.

Shmulovich, K.I., Yardley, B.W.D., Gontchar, G.G. (1994). Fluids in the crust. London : Chapman & Hall.

Szymanko, J. (1980). Koncepcje system wodonosnego i metodj ego modelowania. Wyd. Geol. Warszawa.

References

Ague, J.J. (2003). Fluid flow in the deep crust. In: Holland, H.D., Turrekian, K.K. *Treatise on geochemistry.* Amsterdam: Elsevier, 1 (3), 203–247.

Bear, J., Verruijt, A. (1987). Modeling groundwaterflow and pollution (the ory and applications of transport inporousmedia). D. Reidel Publishing Co., Dordrecht.

Bethke, C.M.(1989). Modeling subsurface flow in sedimentary basins. *Geologische Rundschau*, 78, 129–154.

Bredehoeft, J.D. (2005). The conceptualization model problem: surprise. *Hydrogeology J.,* 13, 37–46.

Classification of mineral waters of Ukraine. (2003). Monograph. Eds. of Shestopalov, V.M. Kiev. [in Russian]

Chiang, W.-H., Kinzelbach, W. (2001). 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Berlin, Springer, Heidelberg.

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

Danylyshyn, B.M., Doroguntsov S.I., Mishchenko V.S. *et al.* (1999). Natural resource potential of sustainable development of Ukraine. Kyiv. [in Ukrainian]

Dzhamalov, R.G., Safronova, T.I. (2009). Groundwater resources: their change under. Climate Influence and distribution by countries of the world at the beginning of the XXI century. *Georez: Electronic Scientific Edition,* 1–32. [in Russian]

Falkenmark, M., Rockstrom, J. (2004). Balancing water for humans and nature. In: The new approach in ecohydrology. London : Sterling, VA.

Fan, Y, Miguez-Macho, G, Weaver, CP, Walko, R, Robock, A (2007). Incorporating water table dynamics in climate modeling: 1. Water table observations and equilibrium water table simulations. *J Geophys Res.,* 112, D10125. doi:10.1029/2006JD008111.

Fyfe, W.S., Price, N.J., Thompson, A.B. (1978). Fluidsinthe Earth's crust. Amsterdam–Oxford–NewYork: Elsevier.

Instructions for the application of the Classification of reserves and resources of minerals of the state subsoil fund to mineral groundwater deposits. (2002). DKZ of Ukraine. [in Ukrainian]

Ivanov, E.A (1997). Landscapes of mining areas. Lviv. [in Ukrainian]

Kamzist, Zh.S., Shevchenko, O.L. (2008). Hydrogeology of Ukraine. Teaching. manual. Kyiv. [in Ukrainian]

Khrushchov, D.P., Kovalchuk, M.S., Remezova, E.A., Lalomov, A.V., Tsymbal, S.M., Bosevskaya, L.P., Lobasov, A.P., Ganzha, E.A., Dudchenko, Yu.V., Kroshko, Yu.V. (2017). Structural-lithological modeling of sedimentary formarions. Kiev: Interservise.

Khrushchev, D.P., Remezova, E.A., Belevtsev, R.Y., Yakovlev, E.A., Azimov, A.T., Ivanova, A.V., Lobasov, A.P., Bosevskaya, L.P., Pochtarenko, V.I., Okholina, T.V. (2019). Formation algorithms for the theory of information support for research and works on geological environment management. *Geoinformatika*, 1 (69), 70–90.

Khrushchov, D.P., Dolin, V.V., Goshovski, S.V., Remezova, O.O., Goncharov, V.Ye., Azimov, O.T., Shevchenko, O.L. etal. (2020). The theory of information providing for researches and works on geological environment management. *Proceedings19-th International Conference "Geoinformatics:Theoretical and Applied Aspects", 11–14 May 2020, Kyiv, Ukraine*. Art. no. 17980, 1–5. https://doi.org/10.3997/2214-*4609.2020geo012

Klepov, V.I. (2010). On the hydrogeological foundations of modeling and substantiation of the joint use of surface and ground waters in the Moscow region. *Groundwater resources. Proceedings int. scient. conf. "Modern problems of study and use", 13–14 May. 2010, Moscow,* 235–242. [in Russian]

Kovalevsky, V.S. (1996). Hydrogeological substantiation of the joint use of surface and ground waters in the Moscow region. *Water Resources,* 4, 472–481. [in Russian]

Lukin, A.E. (2014). Fluid lithogenesis is the most important area of lithological research in the XXI century. *Geol. journal,* 4(349), 27–42. [in Russian]

Lyutyy, *G.G.,* Lyuta, N.G., Sanina, I.V. (2017). Ways to develop monitoring of operational reserves of drinking groundwater. *Collection of scientific works of UkrDGRI,* 1–2, 209–217. [in Ukrainian]

Minkin, E.L., Hranovich, I.L. (1996). Taking into account the interaction of surface and ground waters in the mathematical model for choosing the optimal parameters of water management systems. *Water Resources,* 3, 376–382. [in Russian]

Mironenko, V.A., Rumynin, V.G. (1998–1999). Problems of hydrogeoecology. Monograph. In 3 vol. Moscow. [in Russian]

Mokin, V.B, Kryzhanovsky, E.M (2016). State of creation of geoinformation systems of water and water management objects of Ukraine. *In:* for general. eds. Feshchenko, V.P. Rational use and restoration of water resources. Monograph P-27. Zhytomyr, 29–36. [in Ukrainian]

Michalaka, J. Nawalanegoi, M. Sadurskiego, A. (Eds.). (2011). Schematyzacja warunkow hydrogeologic znych napotrzeby numerycznego modelowania przeplywuw JCWPd. Warszawa: Panstwowy Inst. Geologiczny – Panst. Inst. Badawczy.

Shestopalov, V.M., Lukin, A.E., Zgonnik, V.A., Makarenko, A.N., Larin, N.V., Boguslavsky, A.S. (2018). Essays on degassing the Earth. Kiev. [in Russian]

Shestopalov, V.M, Stetsenko, B.D., Rudenko, Yu.F. (2019). Groundwater of the Upper Sarmatian aquifer as a reserve source of drinking water supply of Nikolaev (Ukraine). *Geological Journal,* 2(367), 5–17. https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169930 [in Ukrainian]

Shestopalov, V.M., Stetsenko, B.D., Rudenko, Yu.F. (2020). Problems of drinking water supply of Mariupol and proposals for their solution at the expense of groundwater.*Geological Journal,* 1, 3–16. https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974 [in Ukrainian]

Shestopalov, V.M., Sukhorebry, A.A. et al. (1989). Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Water exchange in vivo. Kiev. [in Russian]

Shevchenko, A.L., Osadchyi, V.I., Babushkina, R.A., Charny, D.V. (2019). Actualization of the problem of accounting for groundwater resources in the context of global warming. *Mat-li between nar.nauk.-practice. conf."The role of Earth sciences in the national economy. Status and prospects", 20 March 2019, Kherson,* 317–323. [in Russian]

Shevchenko, O., Osadchiy, V., Charnyi, D.V., Onanko, Y.A., Grebin, V.V. (2019). Influence of global warming on the groundwater resources of the Southern Bug River basin.*Proceedings 18th International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects", 13–16 May 2019, Kyiv, Ukraine.* Art. no. 15890.

Shmulovich, K.I., Yardley B.W.D., Gontchar G.G. (1994). Fluids in the crust. London : Chapman & Hall.

Szymanko, J. (1980). Koncepcje system wodonosnego i metodj ego modelowania. Wyd. Geol. Warszawa.

Technogenic processes in groundwater (biosphere approach, diagnostics and management). (2003). Eds. Gavich, I.K. Moscow. [in Russian]

The state of groundwater in Ukraine in 2019. (2020). Yearbook. K. : DNVP "GEOINFORM of Ukraine". [in Ukrainian]

Yakovlev, V.V. (2012). Zalishkovy reserves of recreational fresh waters near the collectors of the Ukrainian part of the Dniprovsko-Donetsk artesian basin. *Collection of Science Practices of the Institute of Geochemistry of Navkolishny Middle,* 20, 134–138. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 04.05.21

O. Shevchenko, Dr. Sci. (Geol.), Leading Researcher,
E-mail: shevch62@gmail.com,
Ukrainian Hydrometeorological Institute NAS of Ukraine,
37 Nauki Ave., Kyiv, 03028, Ukraine;
D. Khrushchov, Dr. Sci. (Geol.), Prof., Leading Researcher,
Email: khrushchov@hotmail.com,
Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine,
55-b O. HoncharaStr., Kyiv, 01054, Ukraine

THEORETICAL PRINCIPLES OF SAVING GROUNDWATER USE INFOGEOFRAMES IN HYDROGEOLOGY

Theoretical bases of information support of geological prospecting researches and works on use and protection of underground waters are considered. The methodology of information support is based on the principles of target infogeological structuring of the geological environment on the basis of traditional methods of formational analysis taking into account hydrogeological (hydrodynamic and hydrochemical) components. Prospects for the introduction of a system of frame organization of the geological environment in infogeological modeling are discussed. In the applied sense, research focuses on that part of the underground hydrosphere that is now or in the future able to meet the needs of mankind in drinking, mineral, technical, industrial, thermal waters. The principles of management of groundwater resources based on the ratio of renewable natural (dynamic resources, which make up the majority of open hydrodynamic systems in the zone of intensive water exchange), renewable man-made (artificial or disturbed resources) and non-renewable components (capacitive reserves and semi-closed structures). Accordingly, during the operation of deposits, not only the calculated value of the allowable level reduction but also the "allowable balance" of groundwater should be observed. It is also proposed to define and agree on the boundaries of deposits and boundary conditions. The latter should be responsible not only for the water intake production, but also to demonstrate the degree of hydrodynamic, hydrochemical, geological protection and the risk of quantitative and qualitative depletion. Groundwater extraction must be balanced by restoring their reserves, which can be achieved by combined alternate water use of surface and groundwater sources, the creation of infiltration basins and more. On this conceptual basis, a system of information support for research and work on the use and protection of groundwater is proposed, which in the long run should be as close as possible to world standards.

Keywords: underground hydrosphere, geological environment, groundwater, resources, reserves, information support, subsoil use, water intakes, protection, water quality, methodology, models.

А. Шевченко, д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: shevch62@gmail.com,
Украинский гидрометеорологический институт НАН Украины и ГСЧС Украины,
пр. Науки, 37, г. Киев, 03028, Украина;
Д. Хрущев, д-р геол. наук, проф., ст. наук. сотр.,
E-mail: khrushchov@hotmail.com,
Институт геологических наук НАН Украины,
ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. ИНФОГЕОФРЕЙМЫ В ГИДРОГЕОЛОГИИ

Рассмотрены теоретические основы информационного обеспечения геологоразведочных иссле-дований и работ по использованию и охране подземных вод. Методология информационного обеспечения основывается на принципах целевого инфогеологического структурирования геологической среды на базе традиционных приемов формационного анализа с учетом гидрогеологических (гидродинамических и гидрохимических) составляющих. Обсуждаются перспективы внедрения системы фреймовой организации геологической среды при инфогеологическом моделировании. В прикладном смысле исследования сосредоточены на той части подземной гидросферы, которая в настоящее время или в перспективе способна обеспечивать потребности человечества в питьевых, минеральных, технических, промышленных и теплоэнергетических водах. Выдвинуты принципы обращения с подземными водными ресурсами, исходя из соотношения возобновляемой природной (динамические ресурсы), возобновляемой техногенной (искусственные ресурсы) и невозобновляемой составляющих (емкостные запасы, преобладающие в закрытых и полузакрытых структурах). Во время эксплуатации месторождений следует придерживаться не только расчетных значений допустимого понижения уровня, но и "допустимого баланса" подземных вод. Предлагается также определять и согласовывать между собой границы месторождений и граничные условия. Последние должны отвечать не только за формирование дебитов водозаборов, но и демонстрировать степень гидродинамической, гидрохимической, геологической защищенности и риск количественного и качественного истощения. Добычу подземных вод необходимо уравновешивать восстановлением их запасов, чего можно достичь комбинированным поочередным водопользованием поверхностных и подземных источников воды, созданием инфильтрационных бассейнов и т. п. На этой концептуальной основе предложена система информационного обеспечения исследований и работ по использованию и охране подземных вод, которая в перспективе должна быть максимально приближена к мировым стандартам.

Ключевые слова: подземная гидросфера, геологическая среда, подземные воды, ресурсы, запасы, информационное обеспечение, недропользование, водозаборы, охрана, качество воды, методология, модели.