

<https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.255733>

УДК 556.047 + 556.332.52:628.143

О.Л. ШЕВЧЕНКО^{1*}, Є.І. КОНДРАТЮК², Д.В. ЧАРНИЙ³

¹ Український гідрометеорологічний інститут НАН України та ДСНС України, Київ, Україна

E-mail: shevch62@gmail.com

² ТОВ «КВАРЦ», Львів, Україна

E-mail: k.yevhen14@gmail.com

³ ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», Київ, Україна

E-mail: dmitriych10@gmail.com

* Автор для кореспонденції

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИМИ ВОДАМИ — НЕОБХІДНИЙ ЗАПОБІЖНИК ГУМАНІТАРНИХ КАТАСТРОФ В УМОВАХ ВОЄННОЇ АГРЕСІЇ

В багатьох містах України використовуються поверхневі централізовані водозабори, підключені до єдиної енергетичної мережі, до того ж часто розташовані на значній відстані (30—45 км) від населених пунктів (приклад Миколаєва, Чернівців та ін.), що робить систему водозабезпечення вкрай вразливою в умовах воєнної агресії, оточення міст, диверсій. Враховуючи постійні претензії РФ до нашої незалежності, очевидно, що гарантоване забезпечення населення питною водою є настільки ж важливим фактором його безпеки, як і сильна сучасна армія. Розглянувши існуючі засоби аварійного водопостачання та водопідготовки (привозна вода, мобільні очисні установки, розраховані на підготовку наявних джерел води, бювети тощо), можна дійти висновку, що найбільш захищеним та сталим джерелом постачання питної води є підземні води. Для кращого захисту та доступу до води, навіть під час вуличних боїв, пропонується облаштувати локальні свердловинні водозабори з автономним енергоживленням, високим ступенем захисту, розраховані на 2,0—3,5 тис. користувачів, з компактними установками доочищення та знезараження води. Ще одна їх принципова відмінність — дебіт розраховується за нормою споживання людиною питної води, тобто 5—7 дм³/добу, а не 200—300 дм³/добу.

Ключові слова: централізовані та локальні водозабори; резервне водопостачання; підземні води; воєнна агресія; питна вода; водопідготовка.

Цитування: Шевченко О.Л., Кондратюк Є.І., Чарний Д.В. Автономні системи водопостачання підземними водами — необхідний запобіжник гуманітарних катастроф в умовах воєнної агресії. *Геологічний журнал*. 2022. № 3 (380). С. 03—17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.255733>

Citation: Shevchenko O.L., Kondratyuk E.I., Charny D.V. 2022. Back-up groundwater supply systems — a necessary safeguard for humanitarian disasters in conditions of military aggression. *Geologičnij žurnal*, 3 (380): 03-17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.255733>

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2022. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NG-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

© Publisher Institute of Geological Sciences of the NAS Ukraine, 2022. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Вступ

Від самого початку російської агресії в Україну стало зрозуміло, що вона спрямована на знищення не лише військової, а й критичної та цивільної інфраструктури нашої Держави. Одним із головних завдань військового вторгнення РФ є досягнення гуманітарної катастрофи на якомога більшій території України. На прикладі Маріуполя, Чернігова, Бучі, Лисичанська, Северодонецька, Миколаєва та інших міст у фронтовій та прифронтовій зонах з'ясувалось, що наша країна не готова до таких викликів, оскільки існуючі системи та засоби тепло-, енерго- і водопостачання не змогли підтримувати стабільне життєзабезпечення мирного населення в умовах бомбардувань за військової переваги ворога в повітрі, диверсій та, врешті, вуличних боїв і оточення населених пунктів. Ще більш очевидна незахищеність поверхневих водозаборів від можливих ядерних атак. Їх розміри, відкритість та технічна складність можуть також бути на заваді швидкого ремонту під час нетривалого припинення воєнних дій.

Метою роботи є визначити недоліки наявних систем централізованого водозабезпечення в сенсі їх вразливості в умовах воєнної агресії та розглянути принципи, варіанти і найбільш безпечні джерела сталого безперебійного водопостачання населення. Окрім аналізу наявних фондових матеріалів та публікацій, автори під час оцінки вразливості існуючих типів водозаборів та варіантів аварійного водопостачання спирались на власний досвід геологорозвідувальних, проектних та експертних робіт.

Аналіз ступеня вразливості централізованих водозаборів

Найбільш вразливими виявились централізовані системи водопостачання з *відкритих джерел*, що продемонструвала криза в м. Маріуполь. Слід нагадати, що Маріуполь, до початку його майже повного руйнування російськими загарбниками, забезпечувався питною водою з двох відкритих джерел: Кальчицького водосховища на р. Кальчик, що впадає в р. Кальміус у межах міста (мінералізація цієї води втричі перевищує норму і становить 3,0—3,5 г/дм³), та з Південно-Донбаського водогону від р. Сівер-

ський Донець, що проходить по тимчасово не-підконтрольній Україні території ОРДЛО. Воду з цих двох джерел змішували в пропорції 3:7, досягаючи прийнятної якості (Шестопапов та ін., 2020). Нинішню ситуацію в Маріуполі Червоний Хрест назвав «апокаліптичною». Внаслідок нападу РФ сотні тисяч мирних жителів Маріуполя, Волновахи, Чернігова та інших міст втратили доступ до питної води. Через перебої в постачанні їжі, втрати води та електроенергії маріупольці змушені були топити сніг, щоб отримати питну воду та готували їжу на багатті (рис. 1). В окупованій частині міста створюються великі черги, в яких люди стоять цілий день, щоб набрати бутель привозної води невідомо якої якості (рис. 2).

Навіть у підконтрольному Україні Миколаєві майже те ж саме відбувалося з 12 квітня 2022 р., де загарбники пошкодили водозабір поверхневих вод, розташований на відстані близько 30 км від міста. Цей водозабір закачує воду з р. Дніпро через р. Інгулець і подає її водогоном до міста. Після ворожої диверсії люди змушені були брати воду з джерел, з Бузького лиману, вода якого не захищена від забруднення та має підвищену мінералізацію, а також збирати дощову воду з дахів (рис. 3). Забезпеченість потреб міста в питній воді підземними водами низька і становить всього 16,6 %, проте й ці води не використовуються ефективно та за призначенням. Участь підземних вод у господарсько-питному водопостачанні складає лише 5 % — 18,4 млн м³/рік; значні обсяги використовуються на підприємствах у якості технічних вод. У кризових ситуаціях для задоволення лише питних потреб населення цієї води могло б вистачити, проте свердловини по території міста розташовані дуже нерівномірно, а бювети або аварійні резервуари питної води відсутні. Переважно лише на території Вітовського району діє близько 450 експлуатаційних свердловин (Детальна..., 2009), що експлуатують різні водоносні горизонти для задоволення різноманітних потреб окремих підприємств. Більшість свердловин облаштовані на водоносний горизонт у верхньосарматських відкладах. Найвідоміший водозабір підземних питних вод належить Миколаївському глиноземному заводу, що використовує води Галицинівського родовища переважно у відкладах верхнього сармату та



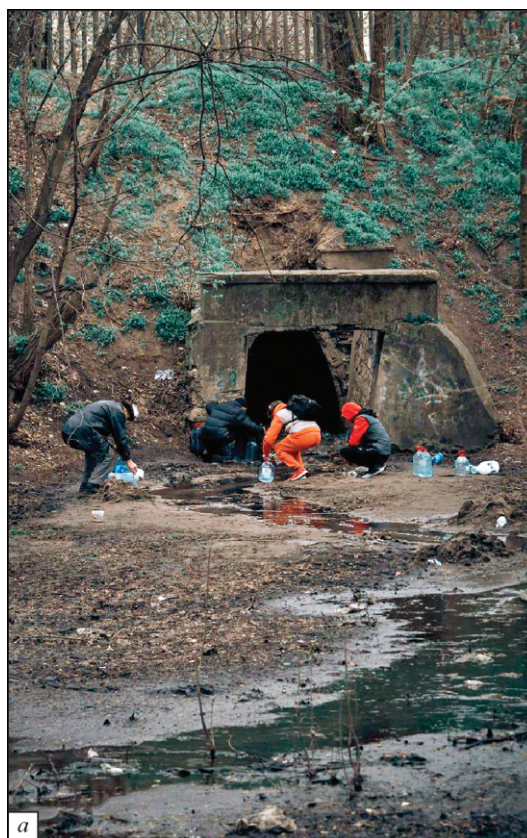
Рис. 1. Маріупольці готують їжу біля будинку на «польовій» кухні під час облоги міста

Fig. 1. Mariupol residents prepare food near the house in the «field» kitchen during the siege of the city



Рис. 2. Черга за привозною водою в окупованій частині Маріуполя, квітень 2022 р.

Fig. 2. Queue for imported water in the occupied part of Mariupol, April 2022



а



б

Рис. 3. Люди набирають непридатну для пиття воду з джерела (а) та з Бугзького лиману (б) в квітні 2022 р. після пошкодження централізованого водозабору поверхневих вод м. Миколаїв російськими загарбниками

Fig. 3. People collect non-potable water from a source (a) and from the Bug estuary (б) in April, 2022, after damage of the centralized water intake of surface waters of the city of Mykolayiv by the Russian invaders

значно меншою мірою — неоплейстоценових алювіальних терас р. Півд. Буг (оцінені запаси в кількості 2,343 тис. м³/добу по 10 свердловинах). Підземними водами доброї питної якості

зі свердловин, які будувались одночасно для силікатного заводу та населення, також забезпечується мікрорайон Матвіївка (колишнє село-сателіт на північній околиці міста), що вхо-

дить до Центрального району міста. У Матвіївці від початку воєнних дій проблем із питною водою не виникало.

У протистоянні впливу глобального потепління, коли почали виснажуватись ресурси річок та ґрунтових вод (Шевченко та ін., 2021), найбільш стійкими та ефективними зарекомендували себе *централізовані водозабори на глибокі підземні води*. Хоча використання підземних вод у великих містах не надто поширене. Відносно якісними підземними водами користуються близько 12,5 млн жителів України. Це населення Хмельницького, Полтави, Чернігова, Херсона, Львова, Тернополя, Івано-Франківська, Рівного, Луцька, Сум. У м. Ужгород водопостачання населення поверхневими (р. Уж, правобережна частина міста) та підземними водами (водозабір «Минай», лівобережна частина) розподіляється приблизно порівну. В інших обласних центрах частка водопостачання підземними водами невелика: у Кропивницькому — 16 %, Вінниці — 10 %, Києві — близько 7–8 %, Миколаєві — майже 5–6 %, Харкові — до 5 %, Чернівцях — до 3 %, Дніпрі — до 2 %, Одесі — лише 0,6 %. Здебільшого наявні значні незадіяні місцеві ресурси підземних вод, хоча не завжди відповідної якості. Водозабезпечення таких міст, як Запоріжжя, Житомир, відбувається повністю за рахунок поверхневих вод, відповідно, річок Дніпро і Тетерів, м. Чернівці забезпечується переважно водами р. Дністер (до 92 %) та р. Прут (5 %), хоча запаси підземних вод там достатні.

За умов воєнного часу *централізовані підземні водозабори* також є вразливими для точкових бомбардувань та диверсій. Так само, як і діючий поверхневий водозабір, незахищеним буде водозабезпечення Маріуполя підземними водами крейдово-палеогенового водоносного комплексу Ялинського родовища, що знаходиться за 60–65 км на північний захід від Маріуполя і пропонується як джерело альтернативного питного водозабезпечення (Шестопалов та ін., 2020). Навіть обладнання підземного трубопроводу не гарантує його збереження під час ворожих бомбардувань або цілеспрямованих диверсій, не кажучи про те, що сам водозабір може бути захоплений на дальніх підступах до міста. Проте це джерело може бути ефективно використане в умовах мирного часу, у тому числі за надзвичайних

ситуацій, не пов'язаних з активними воєнними діями.

Ще один фактор (елемент) вразливості централізованих водозаборів — велика розгалужена мережа комунікацій. Ще у довоєнний час рівень зношеності технологічного обладнання систем водопідготовки та розподілу питної води складав у середньому 65–70 %. Величезна кількість підземної води — близько 23 % від обсягів видобутку (30 % від використання) — втрачається в комунальних мережах, не досягаючи користувачів (з аналізу даних звітів з оцінки експлуатаційних запасів підземних вод, що подаються в ДКЗ України). За даними (Стратегія..., 2021), незворотні втрати всієї забраної води, як поверхневої, так і підземної, складають в середньому 12 %. З кожним днем війни пошкоджень на водопровідних мережах внаслідок бомбардувань стає все більше. Ремонтувати їх під обстрілами дуже небезпечно, а часто й неможливо. В цьому сенсі локальні, нецентралізовані підземні водозабори мають значно менші непродуктивні втрати, а пошкодження на них досить швидко виявляються та ліквідовуються.

Достатньо надійною та раціональною виглядає система водопостачання підземними водами м. Львів. Тут групові підземні водозабори розміщуються навколо міста та об'єднані в єдину систему, що за необхідності або в разі пошкодження однієї з гілок дозволяє здійснити оперативне переключення водозабезпечення населення з іншої гілки. Однак і в цій системі є істотний недолік — більшість водозаборів розташовані на значній відстані від міста (за 30–60 км) і можуть бути пошкоджені або захоплені ворогом.

За відсутності достатніх запасів глибоких прісних вод ефективною та раціональною є система *берегових водозаборів* (як у містах Івано-Франківськ, Чернівці та деяких інших), що відбирають відфільтровану через алювіальні відклади воду, яка за своєю якістю істотно перевищує поверхневу (за дотримання санітарних умов на площі поясів зони санітарної охорони (ЗСО)). Тобто такі водозабори є значно більш захищеною альтернативою відкритим водозаборам, хоча до ЗСО в заплаві річки також повинні застосовуватися суворі вимоги.

Система централізованого водопостачання також може бути *комбінованою*. В ній для пере-

мінного водопостачання поверхневими та підземними водами раціонально використовувати водосховища. Використання вод водосховищ та перших від поверхні горизонтів у багатоводні періоди знімає негативний тиск надлишкової води і запобігає підтопленню. Частина поверхневого стоку у ці періоди може бути направлена до інфільтраційних басейнів для штучного поповнення запасів підземних вод. У маловодні періоди водопостачання здійснюють з глибоких водоносних горизонтів (після розбудови роздільної мережі переважно для питних цілей) та частково — з водосховищ (здебільшого для технічних цілей).

Традиційні варіанти аварійного водозабезпечення населення

Стало очевидним, що варіанти аварійного забезпечення питною водою, які передбачені для надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, а саме — транспортування фасованої води, води в цистернах до потерпілого населення або його евакуація (Ji, Zhu, 2012; Mihoková Jakubčková, Benčíkova, 2016; Prívarová, Mihoková Jakubčková, 2017), застосування пересувних установок для очищення, дезінфекції та зберігання води практично повністю виключаються в умовах війни (окрім вчасної евакуації), а особливо в умовах оточення ворогом великих населених пунктів.

Для поверхневого незарегульованого стоку в останні роки сформувались нові, кліматичні ризики, пов'язані з помітним зменшенням витрат річок. Дефіцит прісної води належної якості спостерігається в 13 областях України. І ситуація загострюється внаслідок змін клімату, який істотно впливає на сезонний розподіл водних ресурсів та призводить до затяжних посушливих періодів. Це проявляється і в тривалому зниженні рівнів перших від поверхні водоносних горизонтів, унаслідок чого шахтні колодязі в селах пересихають (лише 30,1 % сільського населення України користується централізованим водопостачанням). Отже, приватні колодязі або неглибокі свердловини не можна вважати джерелом гарантованого резервного водозабезпечення.

При відключенні централізованого водопостачання, але за наявності глибоких свердловин на воду, останні в аварійному порядку

доукомплектовують занурювальними насосами з дизель-генераторами. Обов'язково проводять знезараження, за потреби — знезалізування та опріснення видобутої води. Знесолення підземних вод складається з таких стадій: 1) первинне знезараження; 2) механічне очищення; 3) коагуляція; 4) напірна фільтрація; 5) зворотний осмос (можливо з розбавленням прісною водою); 6) повторне знезараження. Отже, використовується доволі громіздка, габаритна система водопідготовки, що дуже ускладнює забезпечення якісною водою населення в умовах воєнних дій. Крім того, не завжди на тривалий час можна знайти паливо для дизель-генераторів.

В умовах руйнування (виходу з ладу) централізованого водопостачання за відсутності свердловин можуть бути використані пересувні системи очищення води з місцевих відкритих джерел. Але при цьому необхідно виконати таке: 1) первинне знезараження води; 2) механічне очищення; 3) коагуляцію; 4) напірну фільтрацію; 5) другий рівень напірної фільтрації або ультрафільтрацію (ультрафільтрацію та нанофільтрацію); 6) фільтрування через вугільні фільтри; 7) повторне (контрольне) знезараження. За допомогою пересувних систем здійснити усі ці операції, особливо етап коагуляції, досить складно. Хоча вже існують мобільні установки триступеневого очищення води продуктивністю близько 2,0 м³/год.

Для умов, коли всі відкриті джерела води уражені хімічною або бактеріологічною зброєю масового знищення, обов'язковим є первинне гіперхлорування та дехлорування води. Для цього також можуть бути використані спеціальні пересувні системи очищення забрудненої води для її детоксикації та знезараження. Надалі послідовно слід виконати перераховані вище операції, починаючи з механічного очищення, додавши, в разі підвищеного солевмісту, ще й зворотний осмос після другого рівня напірної фільтрації.

В Україні є досвід резервного забезпечення питною водою населення м. Київ після катастрофи на Чорнобильській АЕС. Тоді в період з 1986 по 2003 р. було створено мережу із 164 бюветних комплексів (Бювети..., 2003), це по 18—20 бюветів на район. Один бювет зазвичай розрахований на подачу 2,5—4,0 м³/год., або 50—72 м³/добу. Кілька бюветів на замовлення

Вишгородської міської ради було також споруджено за нашими проектами у м. Вишгород, зокрема по вул. Шкільна (Будівництво..., 2016) та вул. Шолуденка (Робочий..., 2014а). Напірні підземні води з відкладів сеноману—келовеку та орельської світи середнього відділу юрського періоду на глибині 100—340 м добре захищені від техногенного та мікробного забруднення і можуть споживатися без додаткового очищення та знезараження. Проте з часом органічне або біологічне забруднення все одно з'являється (доводиться виконувати періодичне хлорування та прокачування свердловин). Якщо ж розглядати можливість використання бюветів в умовах воєнної доби, то так само як і каптовані джерела, вони рано чи пізно стають об'єктом вогневого враження, що може призвести до значних людських втрат (враховуючи великі черги за водою).

Очевидно, що потрібні добре захищені та приховані, з автономним енергоживленням системи або локальні пункти питного водопостачання. В організації такої мережі є щонайменше п'ять **проблемних складових**: 1) ресурсна — наявність необхідної кількості води; 2) якісна — наявність джерел води питної якості; 3) безпекова — достатньо висока захищеність джерела води від зовнішнього впливу, насамперед від якісного та кількісного виснаження та спрямованих диверсій; 4) фінансово-економічна; 5) енергетична.

Вирішення проблеми

З розглянутих вище прикладів можна зробити висновок, що війна Росії проти України, руйнуючи водопостачальну інфраструктуру, призводить до ситуацій трьох типів: 1) населений пункт повністю під контролем України, проте із зруйнованим водозабором на окупованій території, аварійне водопостачання цілком можливе; 2) місто чи кілька населених пунктів перебувають в оточенні ворога або тривають вуличні бої з масованим обстрілом — централізований водозабір виведений з ладу, аварійне водопостачання відсутнє; 3) місто захоплене окупантом, населення евакуйоване не повністю — централізоване водопостачання відсутнє внаслідок повної руйнації водозабору та комунікацій. За відсутності автономної резервної мережі водопостачання або приватних

свердловин для різних ситуацій рішення теж будуть відмінні. В першому випадку, коли є інші джерела води, що не мають задовільної питної якості, для термінового вирішення проблеми доцільно використовувати мобільні водоочисні комплекси на базі автомобільних платформ, потужністю від 1,0 до 2,0 м³/год. (до 33 дм³/хв.). Обов'язковим повинно бути знезараження води. Для цього можуть бути застосовані або ультрафіолетові опроміювачі з одночасною обробкою комплексними окисниками і додаванням хлорвмісних реагентів для консервації очищеної води, або ж окремо лише комплексні окисники. У другій ситуації рішення може бути таким самим, проте лише до початку активних вуличних боїв та переміщення бойової техніки. Третій випадок найбільш невідзначений, тут доводиться розраховувати лише на те, що зобов'язання з водопостачання цивільного населення візьме на себе окупант.

Усі ситуації мають доволі істотні обмеження щодо можливостей застосування згаданих мобільних очисних комплексів. По-перше, повинен бути доступ до альтернативних джерел води (річок, озер, джерел підземних вод тощо), якщо ж їх немає, необхідно забезпечити доставку питної води цистернами, що не завжди можливо та безпечно. Якщо ж такі джерела є, все одно ці комплекси більш-менш ефективні лише для першої і частково другої ситуації. Проте головний недолік — це те, що за допомогою мобільних комплексів проблему мінералізованої води вирішити досить складно. А саме ця проблема найбільш актуальна для південних регіонів України, що нині потерпають від російської агресії.

Системи водопостачання повинні бути достатньо стійкими, щоб забезпечити людей та критичних споживачів якісною водою в умовах війни або після катастрофи. За класичними уявленнями, *надійність системи водопостачання та швидкість відновлення* після руйнувань внаслідок обстрілів та бомбардувань, так само як і після катастрофи, визначаються чотирма основними факторами: *вразливістю, соціальним капіталом, організаційною спроможністю та економічним капіталом* (Balaei et al., 2021). Ступінь вразливості та рівень соціальних наслідків при виході з ладу централізованого водозабору значно вищий, ніж для локального. Соціальний капітал виступає не

тільки і не стільки причиною економічних вигод, скільки проявом соціально-економічних умов та обставин, він є груповим ресурсом і не може бути вимірний на індивідуальному рівні. Джеймс Коулман (Coleman, 1988) розглядає соціальний капітал як потенціал взаємної довіри і взаємодопомоги, що виникає у відносинах між людьми: зобов'язання та очікування, обмін інформацією та соціальні норми. До форм соціального капіталу автор відносить ресурси: організаційні; мобілізаційні; соціальної згуртованості; соціальної взаємодопомоги. Більший соціальний капітал означає більшу схильність членів суспільства до співпраці. Очевидно, що соціальний капітал більш однорідної, хоча і меншої групи знайомих між собою та зацікавлених людей вищий для локального водозабору, ніж для централізованого. Організаційна спроможність підтримання у робочому стані локальних водозаборів також вища, ніж централізованих.

Основними економічними факторами, що впливають на стійкість систем водопостачання, є економічна спроможність та швидкий доступ до фінансування. *Швидкий доступ до фінансів* є найважливішим на ранніх етапах реагування та відновлення водопостачання після руйнування централізованого водозабору, але його важливість з часом зменшується. Навпаки, економічна спроможність постраждалого міста або району, а також *водний сектор* відіграють життєво важливу роль у наступній фазі — *реконструкції*.

Отже, зруйновані під час російських бомбардувань мирних міст України водозабори та водоочисні споруди у повоєнний час треба буде не просто відновлювати, а й істотно *модернізувати*, проектуючи за іншим принципом — із значною захищеністю на випадок таких надзвичайних, кризових ситуацій, як військові дії, техногенні та природні катастрофи. Тому, по-друге, передусім у прифронтовій зоні (до 200 км), після повного звільнення міст України від російських загарбників, необхідно облаштовувати *локальні системи водозабезпечення*. Призначення таких систем — забезпечувати питною водою населення в разі виведення з ладу централізованих водозаборів. Вони повинні бути автономними (обладнані самостійними системами енергозабезпечення), малогабаритними, мати добру захищеність дже-

рела води та простоту у використанні, що передбачає експлуатацію їх звичайними жителями, а також можливість їх швидкого відновлення при пошкодженні.

На цю проблему не так давно звертали увагу провідні вітчизняні фахівці-гідрогеологи (Шестопалов та ін., 2018, 2020). В одній із цих робіт (Шестопалов та ін., 2018) вони розглянули можливість водопостачання м. Вінниця тріщинними підземними водами кристалічного фундаменту на випадок надзвичайної ситуації, до якої можуть бути прирівняні й воєнні дії. Автори також передбачили можливість форсованої експлуатації підземних вод у залежності від тривалості надзвичайного періоду.

Ми також вважаємо, проте з невеликим доповненням, що за наявності *місцевих* (!) підземних вод питної якості саме їх слід розглядати в якості резервного джерела господарсько-питного водопостачання населення. Поверхневі ж води можуть використовуватись у звичайних умовах мирного часу.

Варто обладнати для нормального використання природні *джерела підземних вод*, які є майже в кожному місті та не завжди знаходяться у відповідному технічному та санітарному стані. Звичайно, води джерел не мають такого захисту, як глибокі свердловини, але для їх використання не потрібно електроенергії, яка теж не завжди є в кризові періоди. Приведення їх в належний стан забезпечить екологічний та естетичний вигляд території в мирний час і суттєво знизить ризики водопостачання в період військової агресії чи природних катаклізмів.

Щоб вирішити *проблему захищеності* та підібрати найбільш стійкі варіанти резервного водопостачання у кожному конкретному випадку, уникаючи недоліків централізованої системи водопостачання, необхідно, *по-перше*, розглянути *характер дії чинника* впливу (хімічне або радіоактивне забруднення джерела, руйнування водозабору, трубопроводу, відключення електропостачання тощо) на наявні джерела водопостачання та технічні засоби подачі води; *по-друге* — визначити та скласти перелік усіх складових (показників) *вразливості* існуючого водозабору, що призводять до його втрати під час усіх можливих надзвичайних ситуацій; *по-третє* — створити аварійні (резервні) водозабори підземних вод, захищені-

ні від усіх можливих надзвичайних ситуацій, в тому числі ядерної атаки. У сучасних закордонних директивах та стратегіях водопостачання (наприклад, у заяві ASCE № 348: «Плани водопостачання для надзвичайних ситуацій», 1989, друга редакція 2018, або AWWA M19, 2018) чітко прописаний принцип диверсифікації: «не варто покладатися на одне джерело води або тип джерела води» (Sowby, 2020). На жаль, подібні положення не проголошуються у програмах водозабезпечення українських міст, регіонів та України загалом (Регіональна..., 2010; Стратегія..., 2021), хоча при цьому зазначається, що «системи централізованого водопостачання не гарантують подачу безпечної води» (Стратегія..., 2021).

Резервні свердловини майже завжди наявні на великих централізованих підземних водозаборах або на окремих підприємствах. Вони періодично підключаються до водопостачання або прокачуються для підтримання нормального стану води. Проте, за невеликим винятком, вони також, як і весь водозабір, знаходяться за межами населених пунктів і підключені до централізованого енергопостачання.

Виходячи з положень (Стратегії..., 2021), на сьогодні відсутня не лише загальнодержавна стратегія резервного водозабезпечення населення у надзвичайних ситуаціях, у тому числі в умовах воєнної агресії та застосування ядерної зброї, а й плани дій в окремих містах для таких ситуацій.

Стратегічні аспекти

Керуючись базовим принципом водної безпеки, що полягає у раціональному, заощадливому водокористуванні (Global..., 2012), слід впроваджувати технології економної, проте безперебійної подачі питної води населенню, законодавчо оформлений принцип цільового її використання та просувати освітні наративи щодо бережливого поводження з джерелами води. В «Добу непередбачуваності та дефіциту води» (Тведт, 2013), що насувається, варто запроваджувати роздільні мережі водопостачання та водовідведення для питної і технічної води. Джерелом питної води доцільно обирати підземні води, а технічної (побутово-господарської) — поверхневі або підземні води не найкращої якості. Систему питного водоза-

безпечення краще облаштувати у вигляді добре захищеного локального водопостачання, а побутово-технічного — залишити централізованою. Зрозуміло, що в межах міст не завжди можна знайти добре захищені водоносні горизонти із якісною питною водою; до того ж видобування значних об'ємів води з надр під містом загрожує просіданням поверхні та руйнацією споруд. З цих причин централізовані питні підземні водозабори здебільшого розташовують поза містом. Проте досвід сучасної війни переконує, що такі водозабори досить вразливі і гарантовані джерела питної води повинні бути також і в межах міст. У зв'язку із цим дебіти для локальних питних водозаборів пропонується визначати з водопотреби на одного жителя не 200—300 (ДБН В.2.5-74: 2013), а 5—6 $\text{дм}^3/\text{добу}$. Водопостачання у невеликих обсягах з місцевих джерел не створюватиме великих депресійних воронок, до того ж його легше адаптувати до місцевої забудови.

Отже, якщо за геологічними, гідрогеологічними та екологічними передумовами немає можливості розташувати кілька локальних підземних водозаборів у межах міста, вони можуть бути розміщені поблизу нього, як наприклад водозабір «Лісова Галявина» у 1,2—2,0 км від м. Шепетівка (Шевченко та ін., 2013). Однак, крім цього, необхідно створити мережу резервних джерел водопостачання в межах міста. Це можуть бути свердловини, що підводять воду до бюветів у мирний час, а при загрозі бомбардувань — до бомбосховищ; резервні свердловини, обладнані насосами, які періодично опробуються, дезінфікуються та прокачуються, або каптовані, захищені від забруднення джерела підземних вод.

Таким чином, питання аварійного водозабезпечення розкладається на два варіанти з відмінним характером експлуатації:

1) мережа резервних автономних свердловин з підключенням їх до бомбосховищ у районах старої забудови (в окремих містах, таких як Бахмут, подібна мережа відновлена з 2014 р.); такі свердловини доцільно законсервувати, запаси по них можуть не оцінюватись; можливий також варіант підключення свердловин бюветів до бомбосховищ з відключенням їх від бюветів під час бомбардувань;

2) організація мережі локальних водозаборів питної води в новобудовах з підключенням їх

до осель та бомбосховищ (гирло свердловини у бомбосховищі), принцип дії — роздільне водопостачання і водовідведення; обов'язкова оцінка запасів та затвердження їх в ДКЗ України.

Це задачі на найближче майбутнє, і достатньо швидко такі системи широко впровадити неможливо. Проте вже сьогодні необхідно розробити програми дій щодо аварійного водозабезпечення населення на випадок надзвичайних ситуацій різного рівня, не виключаючи загрозу ядерної атаки.

Автономні системи резервного (аварійного) водозабезпечення

Щоб запобігти зникненню питної води в разі пошкодження централізованого водозбору в містах із старою забудовою, варто створювати *автономні локальні*, на 4—6-висотні багатоквартирні будинки, *резервні системи* (АЛРС) забезпечення підземними водами. Подачу води доцільно організувати не по квартирах, а до спеціально обладнаних підземних бомбосховищ, розрахованих на захист від ядерних ударів.

Автономність роботи свердловин, після пошкодження централізованого електропостачання, можна забезпечити: на півдні та в центрі країни — сонячними фотоелектричними панелями з буферними акумуляторними батареями та інверторами постійного і змінного струму; в північних та західних регіонах — за рахунок сонячних батарей, а в разі їх малої ефективності — вітрової енергії, водневих двигунів та генераторів або біореакторів на біогазі чи інших видах біопалива (побутові, комунальні відходи), дизельних генераторів.

Водовідведення для таких систем облаштовується звичайним способом — до централізованої каналізації та водоочисних споруд. Неворотні втрати води з трубопроводів від розташованої поряд з будинками свердловини будуть практично відсутні, що вигідно відрізнятиме такі системи від комунальної водопровідної мережі. У приморській частині України малодебітні свердловини також позбавлені ризиків підтягування некондиційних підземних вод, наприклад із водоносного горизонту в трищинуватих породах докембрію або з боку моря. Отже, і другий та третій пояси зони санітарної охорони для таких водозборів будуть істотно меншими, по суті вся зона може вкластися в

межі першого поясу, що демонструє кращу захищеність водозборів від техногенних забруднень.

У мирний час резервні підземні водозбори необов'язково мають бути законсервовані. Глибокі напірні водоносні горизонти із значними запасами також можуть використовуватись у маловодні роки та періоди сезонної межени, коли поверхневі водозбори, особливо за відсутності водосховища, доцільно відключати. У цьому випадку система водопостачання називається *комбінованою*, що передбачає роздільне в часі підключення різних джерел: поверхневих, підземних централізованих або автономних, змішаних. Поверхневі ж води використовуються переважно лише у багатоводні періоди.

Комбіновані системи водопостачання є доцільними не лише в умовах нестійкого режиму річкового стоку, в тому числі під час глобального потепління. Вони є ефективнішими, ніж поверхневі водозбори, й під час війни та інших надзвичайних ситуацій, зокрема, при тимчасовому хімічному або біологічному забрудненні поверхневих вод або під час надзвичайних, катастрофічних повеней.

Автономні локальні системи (АЛС) водозабезпечення питними підземними водами можуть використовуватись і паралельно з основними, в тому числі комбінованими, що також впроваджено в європейських країнах. Мається на увазі *роздільне* питне з АЛС і господарсько-технічне централізоване *водопостачання*: питне лише для пиття та приготування їжі; господарсько-технічне, з відкритих джерел — для ванн, туалетів, прання білизни, поливу присадибних ділянок тощо. Така, не законсервована, а періодично діюча система є найбільш раціональною і з точки зору запобігання застоювання води в резервних свердловинах, уникнення її біологічного забруднення та періодичного контролю її стану. АЛС також створюють додатковий запас міцності і на випадок ядерних атак, коли надовго можуть бути вражені централізовані водозбори на відкритих річках та водосховищах. Слід наголосити, що розділеними для вод різної якості мають бути не лише водопровідні, а й каналізаційні мережі. Це зменшить навантаження на системи очищення стічних вод та допоможе зберегти ресурси питних вод.

Експлуатаційні запаси для АЛС забезпечення питними підземними водами доцільно розраховувати, виходячи з потреб людини у питній воді на добу, що складає 1,5—2,0 дм³ для пиття плюс 3,0—4,5 дм³ для приготування їжі (згідно із статистикою, пересічний громадянин України споживає питної води 2,2 дм³/добу). Отже, потреби населення України у воді, призначеній для внутрішнього використання, складають лише 0,5 % від прогнозних ресурсів підземних вод. За таких розрахунків для питного забезпечення міста з населенням 400 тис. чоловік достатньо лише близько 2800 м³/добу. Натомість, якщо рахувати відповідно до ДБН В.2.5-74:2013 за нормою 250 дм³/добу на одного жителя (у середньому для будинків із централізованим гарячим водопостачанням), то, вочевидь, потрібно 100 тис. м³/добу. Для Маріуполя, де до війни проживала саме така кількість населення (приблизно така ж кількість і у Вінниці), цілком вистачить експлуатаційних запасів підземних вод у відкладах середньогверхнього сармату лише з одного водозабору, що використовує каптовані джерела по вул. Малофонтанна. Його запаси затверджені (2008 р.) у кількості 7459 м³/добу. Зрозуміло, що за логістикою використовувати один підземний водозабір у місті, яке розділене двома річками, недоцільно. Окрім джерел підземних вод в різних частинах міста, в межах Маріупольського родовища спорадично поширені підземні води з мінералізацією, що не перевищує 1,5 г/дм³. Проте їх експлуатаційні ресурси обмежені (Шестопапов та ін., 2020). Тому розміщувати малодебітні АЛС доцільно у кожному кварталі або навіть, як вже зазначалось, на 4—6-багатоквартирних будинках з розрахунку на 2,0—3,5 тис. чоловік, що дозволяє обладнувати їх компактними системами водопідготовки та добре приховувати. Необхідно також забезпечити подачу води до об'єктів з виробництва основних продуктів харчування — пекарень тощо.

Якщо ж є значні запаси мінералізованих вод і проблема полягає у пропускній здатності опріснюючих установок (2,0 м³/год.), то саме по ній доцільно розраховувати дебіт свердловин. Тоді, щоб отримати 2800 м³/добу чистої води, доведеться видобувати 4670 м³/добу, оскільки мембранна технологія передбачає втрати близько 30—40 % води. Кожна свердло-

вина повинна давати до 80 м³/добу. Звідси, загальна кількість свердловин — 58 (так само, якщо 2800 розділити на кількість очищеної води — 48 м³/добу).

Ми маємо цілком позитивний досвід облаштування нецентралізованого групового підземного водозабору в новому мікрорайоні м. Буча — між автодорогою Київ—Ковель—Ягодин та вулицями М. Залізняка, І. Виговського та Депутатська (Робочий..., 2014б). Розрахунки на питні потреби населення були виконані згідно з нормами витрат води однією людиною для пиття та приготування їжі — 1,5—3,0 дм³/добу, що регламентовано ДБН В.2.5.-64:2012. Водозабір передбачений на 3256 водокористувачів, що проживають у шести будинках. Крім того, водою забезпечувалось кілька офісів, магазинів, дитячий садочок та школа. В результаті, господарсько-питна потреба склала для середньої доби 920,64 м³, для максимальної — 1389,821 м³ (з окремими розрахунками на кожен будинок), питома максимальна водопотреба — 88,474 м³/год. З урахуванням витрат технічної води загальна максимальна потреба склала 1407,54 м³/добу. Для забезпечення цих потреб було запроєктовано та побудовано чотири розвідувально-експлуатаційні свердловини — по дві на водоносний горизонт у відкладах бучацької серії еоцену та водоносний горизонт у відкладах сеноманського ярусу верхньої крейди, а також одна резервна свердловина на водоносний горизонт у бучацьких відкладах. Таким чином, резервна свердловина була відразу побудована на гроші генерального забудовника (ТОВ «Дієва Хвиля»), що значно спростило проблему з пошуку бюджетних коштів чи сторонніх інвестицій. При автономному живленні електроенергією такі свердловини могли б повністю забезпечувати водою нечисленних жителів, що залишались під окупацією у березні 2022 р.

Виходячи з наведеного вище прикладу та враховуючи низьку економічну спроможність громад у зруйнованих містах України, доцільно було б на майбутнє покласти зобов'язання щодо облаштування АЛС на фірму-збудовника або залучити іноземні інвестиції.

В Одесі, населення якої складає близько 1,2 млн, видобувається близько 3,6 тис. м³/добу питних підземних вод (основний водозабір з Дністра), що складає 3,0 дм³/добу на одного

жителя. Тобто, якщо вивести підземні водозабори з централізованої мережі з рівномірним розподілом по місту, цього могло б вистачити в екстремальних ситуаціях — за виходу з ладу централізованого водопостачання. Тут важлива не стільки якість підземних вод, яка може бути доведена установками з опріснення води, як рівномірність розташування мережі підземних водозаборів, щоб усі жителі міста, в разі потреби, мали однаковий доступ до автономного водозабезпечення в захищених від зовнішніх чинників умовах.

Як засвідчують дослідження останніх років (Колябіна та ін., 2021), немає чіткого однозначного зв'язку між вмістом хімічних компонентів, насамперед катіонів, та дебітом свердловин або об'ємами водовідбору, що також підкріплює доцільність застосування поодиноких свердловин лише для питного водопостачання за початково припустимих концентрацій компонентів та загальної мінералізації.

Найбільш заощадливою має бути *система питного водопостачання в південних регіонах*, де відчувається дефіцит якісної питної води як з поверхневих, так і з підземних джерел. Скажімо в таких містах, як Бердянськ, Маріуполь, Приморськ, Миколаїв, Арциз, Білгород-Дністровський, доступні підземні води в пліоценових, середньо-верхньосарматських та інших, переважно міоценових, відкладах є умовно питними, тобто або мають мінералізацію 1,5—3,5 г/дм³, або підвищений (вище ГДК) вміст певних компонентів основного складу. Для виведення надлишку солей та очищення води до стану питної в АЛС доцільно застосувати мембранні фільтри або системи зворотного осмосу. Вони мають невисоку, проте достатню продуктивність у 1,5—2,5 м³/год., що дозволяє забезпечувати питною водою населення кількох багатоповерхових будинків. Очевидно, що для свердловин, прихованих у невеликих шахтних колодязях, системи штучного та природного *виморожування води, технології іоннообмінного знесолювання, електродіалізу або гіперфільтрації* (Тугай, Орлов, 2009) будуть неефективними через значні габарити або низьку продуктивність. На господарські потреби можна поставляти воду окремо, з інших джерел або ту ж саму, проте без очищення. Якщо ж вміст у ній агресивних компонентів, солей, заліза, марганцю тощо призводить

до швидкого забруднення та виходу з ладу побутової сантехніки, пральних машин та ін., необхідно застосовувати водопідготовку для доведення води до прийнятної якості.

В межах Українського масиву тріщинних вод, в окремих районах Донецького регіону та на півдні країни запаси підземних вод питної якості дуже обмежені або взагалі відсутні. Тому організувати додаткове резервне джерело водопостачання або забезпечити його установками з водопідготовки (опріснення) для невеликих місцевих громад вкрай важко та надто дорого. Оскільки на цих територіях поширені значні ресурси підземних вод з підвищеним вмістом солей, то за відсутності альтернативи (при виході з ладу основного водозабору або систем водопідготовки), на короткий час екстремальних ситуацій, може бути дозволено використання їх для питних цілей. Для цього необхідно розробити норми та затвердити їх законодавчо: наприклад, допустима величина сухого залишку в джерелах води на період воєнного стану (до 6 місяців) може сягати 2,0—3,0 г/дм³ (лікувально-столові мінеральні води, що мають мінералізацію 1—8 г/дм³ допускається вживати періодично, короткий час (до одного місяця), за попереднім призначенням лікаря, або не систематично без призначення).

Варто згадати і про крайній випадок — відсутність доступних підземних джерел води, навіть незадовільної якості. Для таких умов слід будувати приховані резервуари питної води з періодичним її поновленням.

Висновки

Сучасні системи водопостачання населення в містах України значною мірою орієнтовані на відкриті джерела поверхневих вод, до того ж водозабори часто розташовані далеко від міста (Миколаїв, Чернівці, Одеса, Маріуполь та ін.). Очевидна незахищеність таких систем водопостачання в умовах активних воєнних дій та від ядерного враження, за наявності завжди агресивної та підступної країни-сусіда на півночі, зобов'язує до розробки та облаштування автономних локальних систем або резервних елементів водопостачання підземними водами. АЛС призначені для новобудов. У мирний час вони можуть працювати як складова діючої мережі водопостачання, забезпечуючи на-

селення та певні критичні об'єкти (пекарні тощо) лише питною водою (для побутових та технічних потреб — централізоване водопостачання і водовідведення). Другий варіант призначений для старої забудови, де вже є централізоване водопостачання підземними або поверхневими водами достатньо високої якості (міста Львів, Харків та ін.). Тут слід облаштувати розріджену мережу АЛРС, забезпечену автономним енергопостачанням, яка в мирний час не експлуатується або експлуатується періодично. Технічне виконання таких водозаборів для кожного конкретного випадку може бути індивідуальним, за потреби мати додаткові установки водопідготовки та знезараження води. Кожен з таких свердловинних водозаборів, для збереження компактності та захищеності, доцільно розраховувати не більше ніж на 2,0—3,0 тис. споживачів. Забезпечення цивільного населення такою мережею повинно бути невід'ємною складовою реалізації водної безпекової стратегії держави та контролюватись РНБО України.

Досвід Російсько-Української війни переконує, що усі інші варіанти водозабезпечення питною водою населення в умовах воєнної агресії менш захищені, мають нестійкий або тимчасовий характер і суттєві недоліки.

Виходячи з викладеного вище, необхідно, по-перше, в проєкт «Стратегії розвитку водної політики України — Водна стратегія» (Стратегія..., 2021), що обговорювався фахівцями у 2021 р., внести положення про створення ме-

режі обов'язкового резервного питного водопостачання усіх міст України, з переходом на цільове використання питної води високої якості в новобудовах. Провести інвентаризацію наявних резервних свердловин на воду та оцінити можливість їх використання. По-друге, оцінити можливості максимального захисту діючих систем централізованого водопостачання в містах та розробити плани забезпечення населення питною водою в умовах надзвичайних ситуацій різного рівня. По-третє, розробити проєктну документацію систем резервного та локального автономного водопостачання за рахунок підземних джерел та забезпечити їх компактними установками з водопідготовки та знезараження води. По-четверте, Держгеонадра повинні внести зміни в геологічні завдання з оцінки стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод деяких областей України, а в тих областях, де ці роботи виконані, провести цілеспрямовану гідрогеологічну розвідку з оцінкою експлуатаційних запасів не лише питних підземних вод, а й умовно-питних та малодебітних водоносних горизонтів. І насамкінець — створити мережу пунктів автономного, добре захищеного водопостачання як складову критичної інфраструктури.

Автори щиро дякують рецензентам за уважне прочитання матеріалу, що дозволило позбутися недоречностей, покращити структуру статті, внести фактологічні уточнення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Будівництво водозабору підземних вод для облаштування бювету за адресою: вул. Шкільна, 1-А в м. Вишгороді Київської області: Шевченко О.Л. (відп. вик.). Київ: ТОВ «Дніпрбурсервіс», 2016. Кн. 1. 78 с.*
- Бювети Києва. Якість артезіанської води: Гончарук В.В. (ред.). Київ. 2003. 110 с.*
- ДБН В.2.5-74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. Київ. 2013.*
- Детальна геолого-економічна оцінка експлуатаційних запасів підземних вод у відкладах верхнього сармату на водозабір ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» Галицинівського родовища питних вод (станом на 01.01.2009 р.). Звіт про розвідку родовища підземних вод. Євсюков Ю.Б. та ін. ТОВ «Нумпа», 2009. Кн. 1. Лимани Миколаївської області.*
- Колябіна І.Л., Шестопалов В.М., Кастельцева Н.Б. Механізми формування хімічного складу питних підземних вод Київського родовища (на прикладі водозабору «Оболонь»). Гол. журн. 2021. № 2 (375). С. 24—46. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.2.230063>*
- Регіональна програма «Питна вода Одеської області» на 2010—2013 роки і період до 2020 року». 2010. 57 с.*
- Робочий проєкт з однієї артезіанської свердловини для облаштування бювету по вул. Шолуденка, 6-В в м. Вишгороді Київської області: Шевченко О.Л. (відп. вик.). Київ: ТОВ «Дніпрбурсервіс», 2014а. Кн. 1. 83 с.*
- Робочий проєкт групового водозабору для господарсько-питного водопостачання населення багатоповерхової житлової забудови з об'єктами соціальної інфраструктури в м. Буча Київської області: Шевченко О.Л. (відп. вик.). Київ: ТОВ «Дніпрбурсервіс». 2014б. Кн. 1. 103 с.*

- Розвідка запасів підземних вод у межах каптажу по вул. Малофонтанна у м. Маріуполь з дослідно-промисловою експлуатацією. Звіт з геолого-економічної оцінки родовища підземних вод: Левічева Н. (відп. вик.). Маріуполь: ДРГП «Донецькгеологія», 2007.
- Стан підземних вод України. Щорічник 2020. Київ: ДНВП «Геоінформ України», 2021. https://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2021/08/schorichnyk_pv_2020.pdf
- Стратегія розвитку водної політики України — Водна стратегія. Проект. М-во захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ, 2021. 26 с.
- Тведт Т. Подорож у майбутнє води. Київ: Ніка-Центр, 2013. 20 с.
- Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник. Київ: Знання, 2009. 735 с.
- Шевченко О.Л., Корнієнко С.В., Діхтярук О.О. Аналіз причин збільшення концентрації заліза у підземних водах водозаборів міста Шепетівка. *Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. Вип. 61. С. 48—53.
- Шевченко О.Л., Чарний Д.В., Осадчий В.І., Ільченко А.О. Стік ґрунтових вод у басейні річки Південний Буг в умовах глобального потепління. *Геол. журн.* 2021. № 3 (376). С. 3—16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.3.237361>
- Шестопалов В.М., Стеценко Б.Д., Руденко Ю.Ф. Підземні води тріщинуватих кристалічних порід як резервне джерело питного водозабезпечення Вінниці (Україна). *Геол. журн.* 2018. № 1 (362). С. 5—16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126414>
- Шестопалов В.М., Стеценко Б.Д., Руденко Ю.Ф. Підземні води верхньосарматського водоносного горизонту як резервне джерело питного водозабезпечення Миколаєва (Україна). *Геол. журн.* 2019. № 2 (367). С. 5—17. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.2.169930>
- Шестопалов В.М., Стеценко Б.Д., Руденко Ю.Ф. Проблеми питного водозабезпечення Маріуполя і пропозиції щодо їх вирішення за рахунок підземних вод. *Геол. журн.* 2020. № 1 (370). С. 3—16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974>
- ASCE (American Society of Civil Engineers). Policy statement 348 — Emergency plans for water supply. 2018. <https://www.asce.org/issues-and-advocacy/public-policy/policy-statement-348-emergency-plans-for-water-supply/>
- AWWA (American Water Works Association). M19 emergency planning for water and wastewater utilities. Manual of Water Supply Practices, M19, fifth ed. Denver: AWWA. 2018. <https://www.awwa.org/Store/M19-Emergency-Planning-for-Water-and-Wastewater-Utilities-Fifth-Edition/Product-Detail/38151377>
- Balaei B., Noy I., Wilkinson S., Potangaroa R. Economic factors affecting water supply resilience to disasters. *Socio-Economic Planning Sciences*. 2021. Vol. 76. 100961.
- Coleman J.S. Social Capital in the Creation of Human Capital. *The American Journal of Sociology*. 1988. Vol. 94. Supplement: Organizations and Institutions: Sociological and Economic Approaches to the Analysis of Social Structure. P. S95-S120.
- Global water security: Present 2025. Intelligence Community assessment (ICA 2012-08) — U.S. Defense Intelligence Agency. 2012. 30.
- Ji G., Zhu C. A study on emergency supply chain and risk based on urgent relief service in disasters. *Systems Engineering Procedia*. 2012. No 5. P. 13-325.
- Mihoková Jakubčėková J., Benčíkova E. Securing the transportation in emergency situation during critical infrastructure failure. In: Transport means 2016: proceedings of the 20th International Scientific Conference: October 5-7, 2016. Juodkrante, Lithuania. ISSN 1822-296 X. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2016. P. 279-286.
- Prívarová R., Mihoková Jakubčėková J. Selecting a Replacement Source of water for emergency Supplies in Case of emergency. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 192. P. 737-742.
- Sowby R.B. Emergency preparedness after COVID-19: A review of policy statements in the U.S. water sector. *Utilities Policy*. 2020. Vol. 64. P. 1-5.

Надійшла до редакції 27.04.2022

Надійшла у ревізованій формі 08.06.2022

Прийнята 23.06.2022

REFERENCES

- ASCE (American Society of Civil Engineers). 2018. Policy statement 348 — Emergency plans for water supply. <https://www.asce.org/issues-and-advocacy/public-policy/policy-statement-348-emergency-plans-for-water-supply/>
- AWWA (American Water Works Association). 2018. M19 emergency planning for water and wastewater utilities. Manual of Water Supply Practices, M19, fifth ed. Denver: AWWA. <https://www.awwa.org/Store/M19-Emergency-Planning-for-Water-and-Wastewater-Utilities-Fifth-Edition/Product-Detail/38151377>
- Balaei B., Noy I., Wilkinson S., Potangaroa R. 2021. Economic factors affecting water supply resilience to disasters. *Socio-Economic Planning Sciences*, 76: 100961.
- Coleman J.S. 1988. Social Capital in the Creation of Human Capital. *The American Journal of Sociology*, 94. Supplement: Organizations and Institutions: Sociological and Economic Approaches to the Analysis of Social Structure. S95-S120.

- Construction of groundwater intake* for the installation of a pump room at the address: str. Shkil'na, 1-A c. Vyshgorod, Kyiv region. 2016. Technical Report Kyiv: LTD "Dniprburservice" (in Ukrainian).
- Detailed geological and economic assessment of groundwater operational reserves in the Upper Sarmatian deposits at the water intake of OJSC "Mykolaiv Alumina Plant" of the Halytsyn drinking water deposit (as of 01.01.2009). 2009): Report on exploration of the subdivision. Technical Report, LTD "Numpa" (in Ukrainian).*
- Detailed design from one artesian well for the construction of a pump room on the street. Sholudenko 6-V in Vyshhorod, Kyiv region. 2014. Technical Report, Kyiv: LTD "Dniprburservice" (in Ukrainian).*
- Detailed design of group water intake for commercial and drinking water supply of the population of multi-storey residential buildings with social infrastructure facilities in Bucha, Kyiv region. 2014. Technical Report, Kyiv: LTD "Dniprburservice" (in Ukrainian).*
- Global water security: Present — 2025. 2012. Intelligence Community assessment (ICA 2012-08) — U.S. Defense Intelligence Agency. 30.*
- Exploration of groundwater reserves within the catchment on the street. Small fountain in Mariupol with research and industrial operation. 2007. Report on the geological-economic assessment of the groundwater deposit. Technical Report, Mariupol: DRGP Donetsk geology (in Ukrainian)*
- Ji G., Zhu C. 2012. A study on emergency supply chain and risk based on urgent relief service in disasters. *Systems Engineering Procedia*, 5: 313-325.
- Kolyabin I.L., Shestopalov V.M., Kasteltseva N.B. 2021. Mechanisms of formation of chemical composition of drinking groundwater of Kyiv deposit (on the example of Obolon water intake). *Geologičnij žurnal*, 2: 24-46 (in Ukrainian).
- Mihoková Jakubčėková J., Benčikova E. 2016. Securing the transportation in emergency situation during critical infrastructure failure. In: Transport means 2016: proceedings of the 20th International Scientific Conference: October 5-7, 2016/ Juodkrante, Lithuania. ISSN 1822-296 X. Kaunas: Kaunas University of Technology, p. 279-286.
- Prívarová R., Mihoková Jakubčėková J. 2017. Selecting a Replacement Source of water for emergency Supplies in Case of emergency. *Procedia Engineering*, 192: 737-742.
- Pump rooms of Kyiv. Artesian water quality. 2003. Ed. Goncharuk V.V. Kyiv (in Ukrainian).*
- Regional program "Drinking water of Odessa region for 2010-2013 and the period up to 2020". 2010 (in Ukrainian).*
- Sowby R.B. 2020. Emergency preparedness after COVID-19: A review of policy statements in the U.S. water sector. *Utilities Policy*, 64: 1-5.
- State building codes (SBC) of Ukraine, B.2.5-74. 2013. Water supply. External networks and buildings. Basic design provisions. 2013. Kyiv (in Ukrainian).*
- State of groundwater in Ukraine. Yearbook 2020. 2021. Kyiv: Geoinform of Ukraine. https://geoinf.kiev.ua/wp/wp-content/uploads/2021/08/schorichnyk_pv_2020.pdf (in Ukrainian).*
- Strategy of development of water policy of Ukraine — Water strategy. Project. 2021. Min. protection of the environment and natural resources of Ukraine. Kyiv (in Ukrainian).*
- Tvedt T. 2013. Journey into the future of water. Kyiv: Nika-Center (in Ukrainian).
- Tugay A.M., Orlov V.O. 2009. Water Supply: Textbook. Kyiv: Znaniye (in Ukrainian).
- Shevchenko O.L., Korneenko S.V., Dikhtyaruk O.O. 2013. Analysis of the reasons for the increase in the concentration of iron in the groundwater of the Shepetivka city water intakes. *Visnyk of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 61: 48-53 (in Ukrainian).
- Shevchenko O.L., Charny D.V., Osadchyi V.I., Ilchenko A.O. 2021. Groundwater runoff in the Southern Bug river basin in the context of global warming. *Geologičnij žurnal*, 3 (376): 3-16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2021.3.237361> (in Ukrainian).
- Shestopalov V.M., Stetsenko B.D., Rudenko Yu. F. 2018. Groundwater of fractured crystalline rocks as a reserve source of drinking water supply in Vinnytsia (Ukraine). *Geologičnij žurnal*, 1 (362): 5-16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126414> (in Ukrainian).
- 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). *Geologičnij žurnal*, 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. *Geologičnij žurnal*, 1: 3-16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2020.1.196974> (in Ukrainian).

Received 27.04.2022

Received in revised form 08.06.2022

Accepted 23.06.2022

O.L. Shevchenko^{1*}, E.I. Kondratyuk², D.V. Charny³

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
E-mail: shevch62@gmail.com

² LTD «QUARTZ», Lviv, Ukraine
E-mail: k.yevhen14@gmail.com

³ Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine
E-mail: dmitriych10@gmail.com

* Corresponding author

BACK-UP GROUNDWATER SUPPLY SYSTEMS — A NECESSARY SAFEGUARD FOR HUMANITARIAN DISASTERS IN CONDITIONS OF MILITARY AGGRESSION

Many cities in Ukraine use surface centralized water intakes, connected to a single energy network, which are often located at a considerable distance (30-45 km) from settlements (for example, Mykolaiv, Chernivtsi, etc.), which makes the water supply system extremely vulnerable to military aggression and sabotage. Given Russia's constant claims to our independence, it is clear that a guaranteed supply of drinking water to the population is as important a factor in its security as a strong modern army. Considering the existing means of emergency water supply and water treatment (imported water, mobile treatment plants designed to prepare existing water sources, pumping stations, etc.) we can conclude that the most secure and sustainable source of drinking water is groundwater. For better protection and access to water, even during street fights, it is proposed to equip local well water intakes with autonomous power supply, designed for 2.0-3.5 thousand users, with compact installations for water purification and disinfection. The organization of such a network has at least five problematic components: 1 — resource - the availability of the required amount of water; 2 — quality - the availability of drinking water sources; 3 — safety - sufficiently high protection of the water source from external influences; primarily from qualitative and quantitative depletion and targeted sabotage; 4 — financial and economic; 5 — energy supply. Separate water supply and sewerage networks for drinking and technical water should be introduced. The drinking water supply system should be arranged in the form of a well-protected local water supply, and domestic and technical water supply should be left centralized. Flow rates of drinking water intakes should be calculated based on human needs for drinking water per day: 1.5-2.0 dm³ for drinking plus 4-5 dm³ for cooking. It is proposed to use renewable energy sources for autonomous energy supply of boreholes. The experience of the Russian-Ukrainian war shows that all other options for drinking water supply to the population in conditions of military aggression are less protected, are unstable or temporary and have significant shortcomings.

Keywords: *centralized and local water intakes; reserve water supply; groundwater; military aggression; drinking water; water treatment.*