

<https://doi.org/10.15407/geotech2020.32.005>  
УДК 556.047+556.332.52

**Чарний Д.В., Шевченко О.Л., Забулонов Ю.Л., Долін В.В.**

**Чарний Д.В.**, д.т.н., с.н.с., ДУ «ІГНС НАН України», dmitriych10@gmail.com, ORCID:0000-0001-6150-6433

**Шевченко О.Л.**, д.г.н., ст. н. сп., ННІ «Інститут геології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, shevch62@gmail.com, ORCID:0000-0002-5791-5354

**Забулонов Ю.Л.**, д.т.н., чл.-кор. НАН України, проф., ДУ «ІГНС НАНУ», Zabulonov@nas.gov.ua, ORCID:0000-0002-4517-9927

**Долін В.В.**, д.г.н., проф., ДУ «ІГНС НАН України», vdolin@ukr.net, ORCID:0000-0001-6174-2962

## **ВИЧЕРПАННЯ ЗАПАСІВ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ, – ЯК ЧИННИК РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ**

*Сталий розвиток будь-якої держави можливий лише за умови забезпечення її населення і виробничо-промислового комплексу питною водою у відповідній до їх потреб кількості. Це питання є вкрай актуальним для України як маловодної держави, але попри це її водогосподарський комплекс перманентно перебуває у цілому в умовах кризи, обумовленої як соціально-економічними, так і природними чинниками, зокрема глобальними кліматичними змінами. Наприклад, для поверхневих вод Дніпровського басейну склад води змінюється з півдня на північ з гідрокарбонатного кальцієвого на хлоридний натрієвий. Ще 10 - 15 років тому ці зміни відчувалися лише у нижній течії р. Дніпро, зараз вони досягли Київщини; разом з цим відбувається істотне підвищення загальної мінералізації води. Всі ознаки вказують і на поступове вичерпання запасів та зменшення природних ресурсів підземних вод. Такі ж саме чинники формують сучасний незадовільний стан систем водопостачання-водовідведення. Поєднання цих факторів із хронічним недофінансуванням систем водопостачання - водовідведення поступово призвело до того, що фактично всі водопроводи працюють у позарегламентному режимі, постійно знаходяться у передаварійному або аварійному стані. Найбільш яскравим прикладом такого стану речей є незворотні втрати води – вони можуть сягати 50 і більше відсотків від забраної з джерела водопостачання. Відсутність достатніх коштів робить застосування стандартних для розвинених країн підходів недоцільним. Відповідно, стають актуальними нетрадиційні підходи до підготовки води, які базуються на інших засадах. Вони мають забезпечити відповідну якість води за рахунок максимального використання наявних ресурсів і виявлених резервів уже діючих очисних споруд за межами типової технології водопідготовки. Перспективним у цьому напрямку є, на наш погляд, відтворення інтенсифікованих біогеохімічних процесів самоочищення води, які відбуваються під час її кругообігу на Землі. Зокрема, пропонується створення на базі відстійників водопровідних очисних споруд споруди нового типу, що поєднує властивості повільних та наливних фільтрів і працює з використанням механізмів геохімічного бар'єру.*

**Ключові слова:** водні ресурси, питна вода, клімат, опади, інфільтрація, хімічні показники, водопідготовка, підземні води, технології, очисні споруди, геохімічний бар'єр.

**Вступ.** Україна належить до малозабезпечених водними ресурсами країн. Фактор кліматичних змін, перманентна соціально-економічна криза призвели до фактичного вичерпання можливості задовільного функціонування інфраструктури, пов'язаної з забезпеченням як населення, так і промислого-господарського комплексу питною водою. Якщо не буде вжито термінових заходів із покращення надійності роботи водопровідних систем, ми потрапимо в зону сталих техногенних аварійних ситуацій, пов'язаних із водогосподарським комплексом. Перш за все це буде неможливість забезпечення подачі населенню води нормативної якості і поступове зниження її кількості вже безвідносно до її якості. Діючі технологічні рішення з водопідготовки базуються на радянських (Мосводоканалпроект) типових проектах 1950 - 1960- тих років, які, у свою чергу, є у кращому разі реінженірінгом американських

розробок початку ХХ сторіччя. Стан джерел водопостачання призводить до постійного ускладнення як забору, так і підготовки вихідної води; масове впровадження стандартних сучасних рішень, розроблених розвиненими країнами, є маловірогідним з огляду на фінансові труднощі країни і низьку платоспроможність населення. Отже, нам необхідно орієнтуватись на заощадливе водокористування та нові технології водопідготовки, принципи яких запропоновано нижче.

**Метою даного аналізу** є встановлення найбільш визначних природних факторів, що впливають на характеристики джерел водопостачання, визначення граничних умов як соціально-економічного, так і природного генезу, а також додаткове встановлення можливих місцевих чинників, які можуть бути задіяні у системах водопідготовки та формування на їх основі нових засад водопідготовки, що дозволять

подолати скрутний стан систем водокористування з одночасною мінімізацією залучення фінансових ресурсів і підвищенням бар'єрної спроможності очисних споруд.

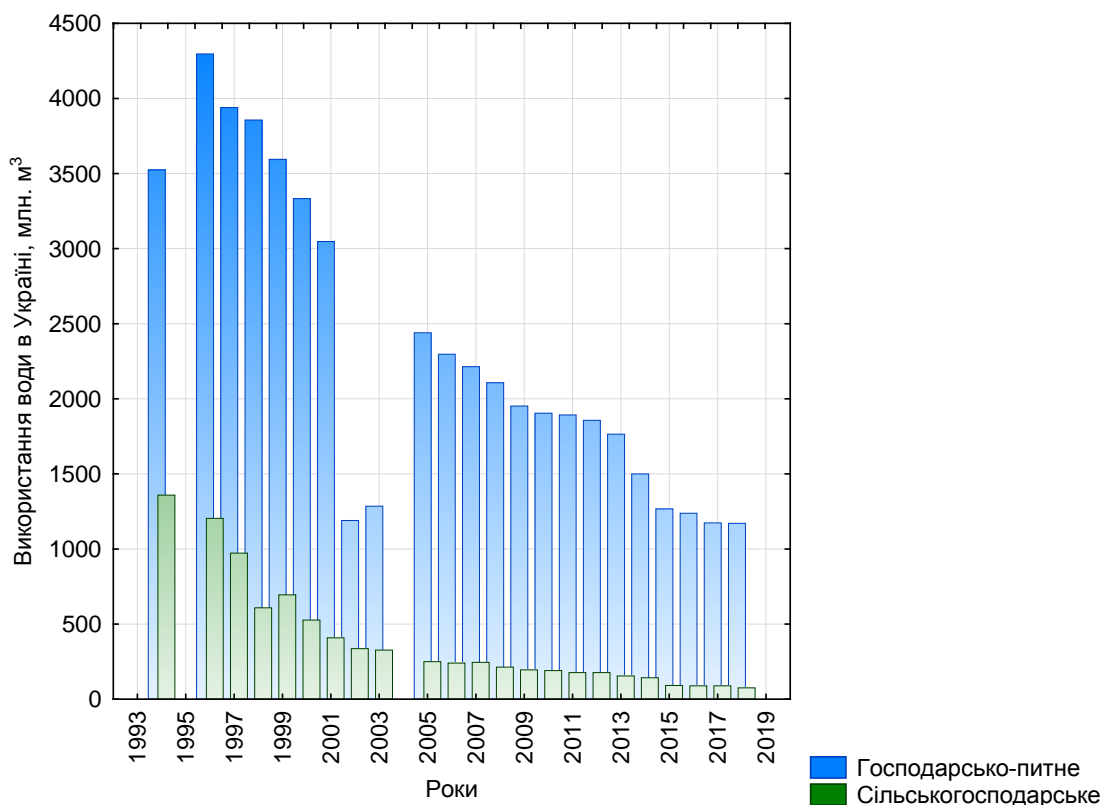
#### Висвітлення основного матеріалу

Сучасний стан діючих в Україні систем водопостачання-водовідведення можна лаконічно охарактеризувати трьома головними ознаками:

1. Зношеністю застарілої інфраструктури і відсутністю істотної бюджетної підтримки, слабкою пла-

тоспроможністю споживачів, головним з яких стало населення, а промисловість у більшості випадків відійшла на друге або третє місце.

2. Зменшенням об'ємів споживання води приблизно у межах 50 і більше відсотків від проектної продуктивності (рис. 1). Відповідно змінилося (зменшилося) навантаження на технологічні споруди, тобто вивільнилися об'єми ємнісних споруд (відстійники, фільтри тощо).

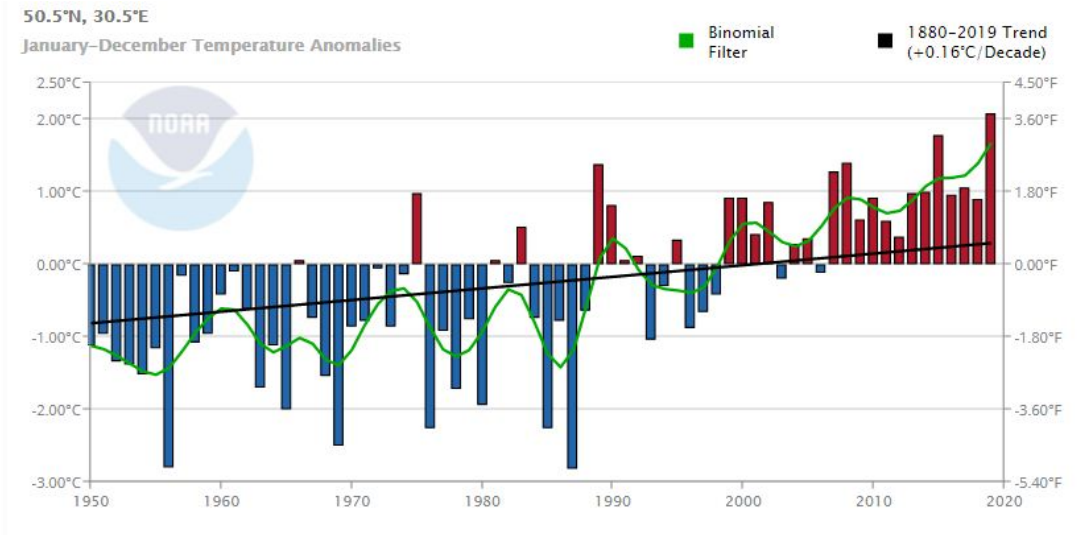


**Рис. 1.** Динаміка використання води в Україні на питні та санітарно-гігієнічні потреби і на сільськогосподарське водопостачання за період з 1994 по 2018 рр. за даними державного обліку водокористування за формою 2ТП - водгосп (річна)

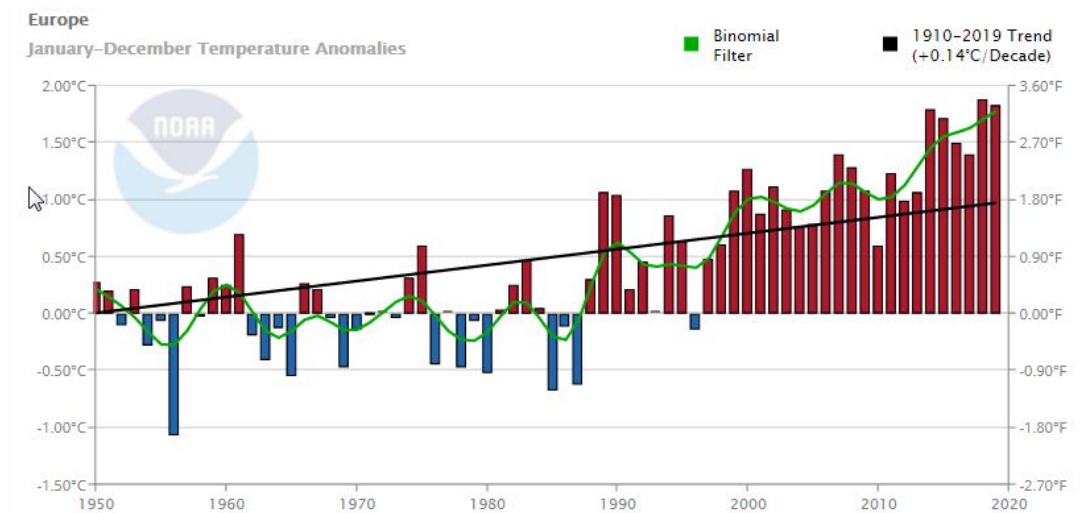
**Fig. 1.** Dynamics of water use for municipal and agricultural needs for the period from 1994 to 2018 according to the state water use accounting data

3. Поступовим скороченням об'ємів та погіршенням якості водних ресурсів під впливом кліматичних змін. Глобальне потепління стало визначальним чинником формування характеристик джерел водопостачання. На території України потепління відбувається істотно інтенсивнішими темпами, ніж загалом по Європі (рис. 2, 3). Ми вже перейшли в 2019 році умовний бар'єр у 2°C, хоча Європа загалом все ще не досягла цього рубежу. Приблизно

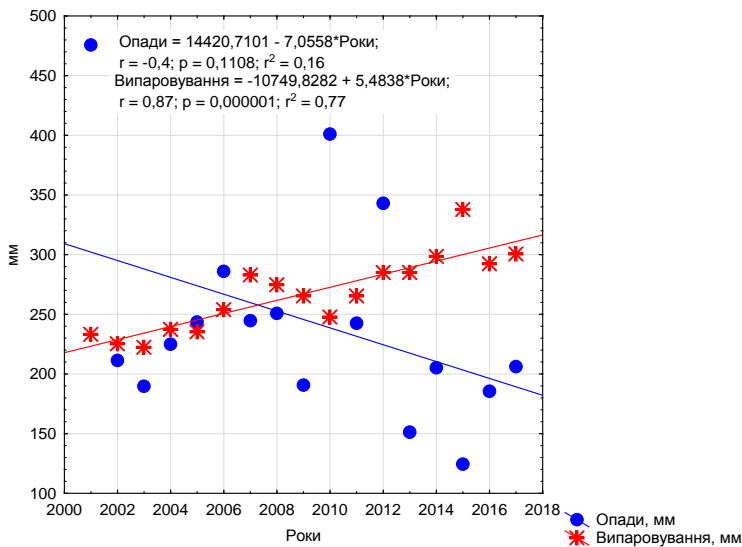
після 2010 року в Україні простежується стійка тенденція до перевищення випаровування над кількістю опадів (рис. 4). Все це призвело до багаторічної ґрунтової посухи, спровокувало істотне зниження рівнів ґрунтових вод, а також вплинуло і на пониження рівнів підземних напірних вод та обумовило відчутну зміну водності джерел водопостачання у бік її суттєвого зниження.



**Рис. 2.** Тренди температурних аномалій в районі м. Києва за період 1950 по 2020 рр.  
**Fig. 2.** Trends in temperature anomalies in the area of Kyiv for the period from 1950 to 2020.



**Рис. 3.** Загально Європейський тренди температурних аномалій за період з 1950 по 2020 рр.  
**Fig. 3.** General European trends in temperature anomalies for the period from 1950 to 2020.



**Рис. 4.** Шар опадів і випаровування на метеостанції Броди за літній період протягом 2001–2017 рр.

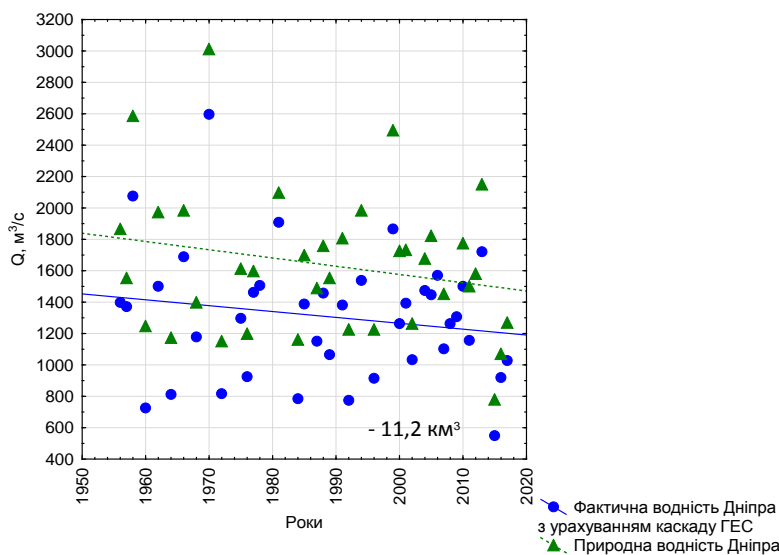
**Fig. 4.** Layer of precipitation and evaporation at the Brody meteorological station during the summer period in 2001–2017.

Зміна клімату, зменшення атмосферних опадів на водозборах малих і середніх річок у межах території України суттєво вплинуло на формування річкового стоку. На півночі України стік малих та середніх річок зменшився на кілька відсотків, на півдні зменшення сягає половини природного стоку, в середньому стік малих та середніх річок зменшився на 10-20%. Водність Дніпра у створі Каховської ГЕС зменшилася на 11,2 км<sup>3</sup> на рік (20% від середнього по водності року стоку Дніпра або майже 150% корисного об'єму Каховського водосховища) (рис. 5).

Українським гідрометеорологічним інститутом ДСНС України розроблено модель варіанту змін водного режиму річок України (рис. 6). Паралельно зі зменшенням доступних для обробки, за діючими у нас технологіями, запасів води, у джерелах водопо-

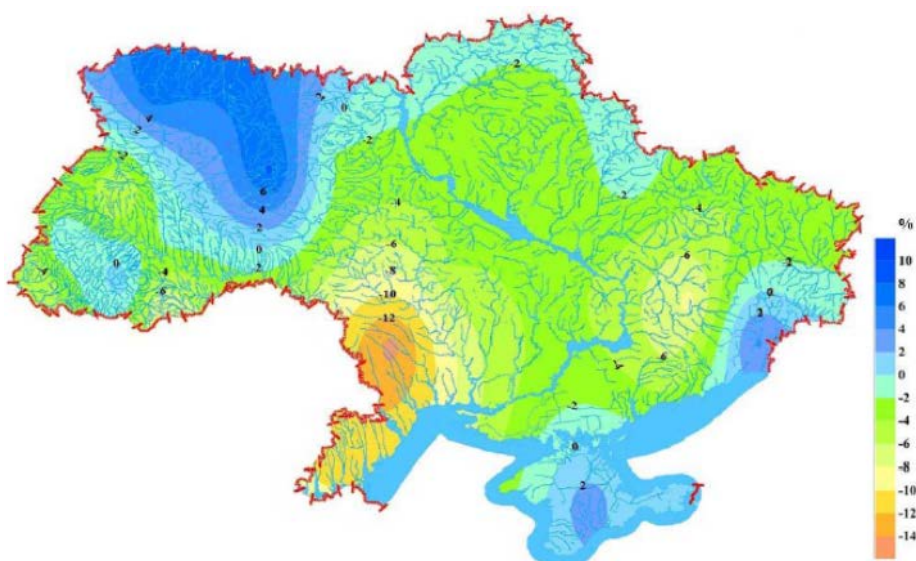
стачання відбуваються дуже суттєві зміни якісного складу цих вод: для поверхневих вод басейну р. Дніпро характерним став подовжений період вибухоподібного цвітіння фітопланктону, обумовленого як антропогенними, так і кліматичними чинниками.

Для поверхневих вод цього басейну вже наочною стала зміна складу води у напрямку з півдня на північ. Склад води змінюється з гідрокарбонатного кальцієвого на хлоридний натрієвий, ще 10 – 15 років назад ці зміни були відчутні лише у нижній течії р. Дніпро, зараз вони досягли Київщини, паралельно з цим відбувається істотне підвищення загальної мінералізації води (рис. 7-9). Яскравий приклад цих змін – поява в районі нижнього б'єфу Каховської ГЕС скупчень чорноморських медуз.



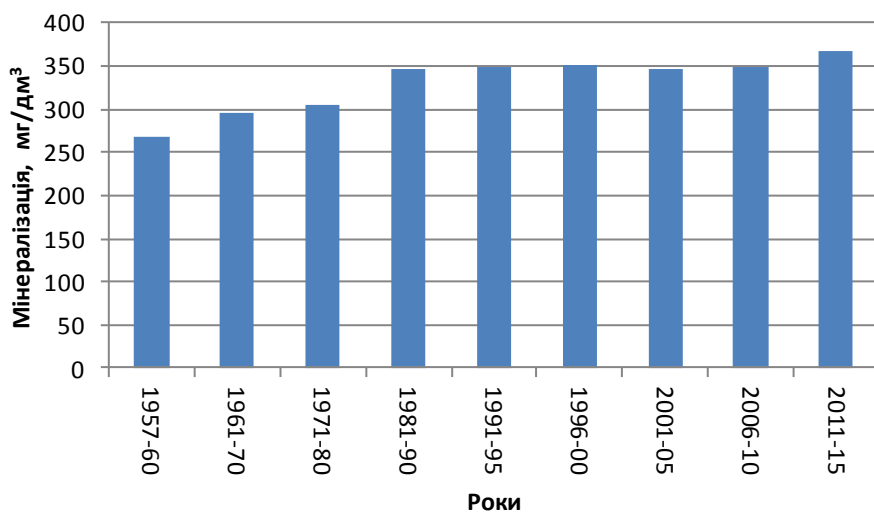
**Рис. 5.** Природна та фактична (з урахуванням каскаду ГЕС) водність Дніпра у створі Каховської ГЕС

**Fig. 5.** Natural and actual (taking into account the cascade of HPPs) water discharge of the Dnieper in the Kakhovka HPP reservoir



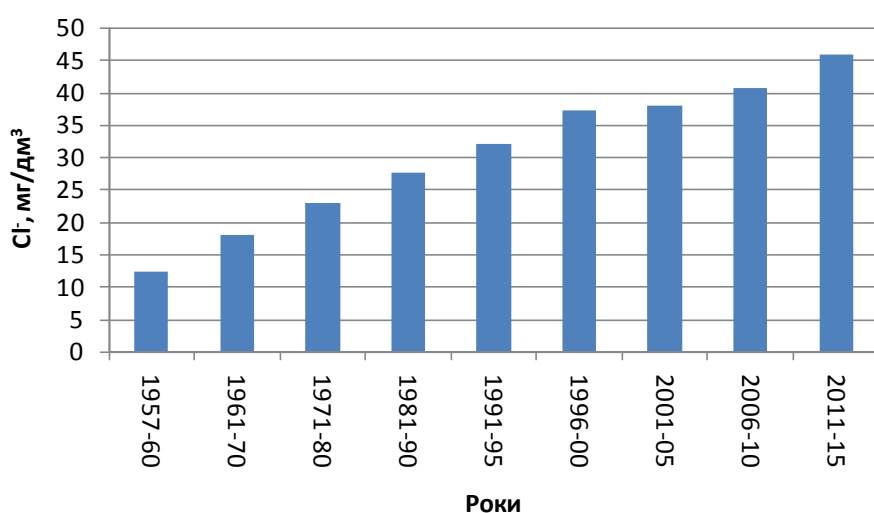
**Рис. 6.** Прогнозна модель зміни середньорічного стоку води (%) річок України на період 2031-2050 рр. за даними Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України.

**Fig. 6.** Forecast model of changes in the average annual water runoff (%) of rivers of Ukraine for the period 2031-2050 according to the Ukrainian Hydrometeorological Institute of the SES of Ukraine.



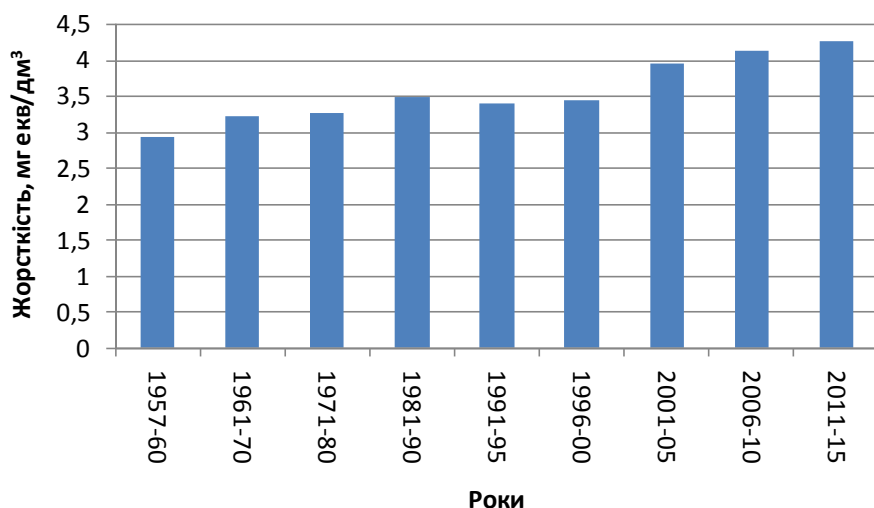
**Рис. 7.** Динаміка зміни середньоарифметичних показників мінералізації води в р. Дніпро -м. Нова Каховка за період з 1957 по 2015 рр.

**Fig. 7.** The dynamics of changes of the arithmetic mean values of the Dnieper water mineralization – the city of Nova Kakhovka for the period from 1957 to 2015.



**Рис. 8.** Динаміка зміни середньоарифметичного вмісту Cl⁻ у водах р. Дніпро (м. Нова Каховка) за період з 1957 по 2015 рр.

**Fig. 8.** The dynamics of changes of the arithmetic mean Cl<sup>-</sup> content in the Dnieper water – the city of Nova Kakhovka for the period from 1957 to 2015.



**Рис. 9.** Динаміка зміни середньоарифметичних значень жорсткості води в р. Дніпро, м. Нова Каховка за період з 1957 по 2015 рр.

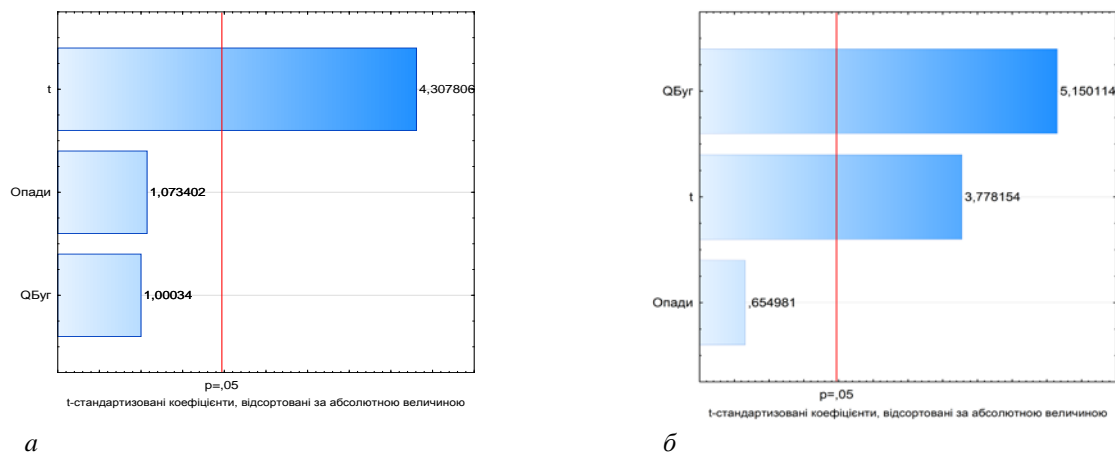
**Fig. 9.** The dynamics of changes of the arithmetic mean values of the Dnieper water hardness – the city of Nova Kakhovka for the period from 1957 to 2015.

Також слід постійно враховувати нерозривний балансовий зв'язок ґрунтових і підземних вод із поверхневими водами.

Цілком припустимо вважати, що в багаторічному плані, за незначних втрат підземних вод на випаровування в природних умовах, величина підземного стоку (розвантаження) в річки наближається до загального живлення водоносних горизонтів водообмінної системи. Тоді різниця між живленням підземних вод і їхнім стоком до річок буде обумовлена втратами цих вод на перетікання у глибокі горизонти, які не дренуються річками, за умов, якщо немає перетікання в суміжні структури та вище розташовані горизонти, або ж ці величини врівноважені аналогічними прибутковими статтями балансу. Глибокий вріз Дніпра та великі розміри Дніпровського басейну, згідно висновків І.С. Пашковського [1], дають підстави до міркувань про майже повне дронування водоносних комплексів зони вільного водообміну усією системою малих та великих річок. Звідси випливає, що *для водозборів малих річок частка ґрунтового стоку (безнапірних вод) відіграє визначальну роль* серед джерел підземного живлення річки, а частка природних ресурсів глибоких артезіанських вод, *не пов'язаних з річками*, – збільшується. Тобто, із збільшенням рангу річки та базису ерозії зростає частка глибинного живлення у загальному підземному водозабезпеченні стоку річки. Отже, вирішальним чинником того, що в меженний період (бездощове літо) *мала річка* лишається без стоку, є падіння рівня *ґрунтових* вод нижче базису ерозії. Водночас причиною аномально низьких межених витрат *великої* річки є зниження рівнів *напірних* вод глибоких горизонтів. Отже, для річок найвищого порядку, таких як Дніпро, цілком коректно враховувати величину стоку ґрунтових вод до річки з величин їх інфільтраційного живлення, а відновлювану частину прогнозних ресурсів підземних вод ототожнювати із динамічними ресурсами. В умовах «кліматично спричинених» змін забезпеченості живленням прісноводних джерел водопостачання особливо значення набуває проблема якості води. Вона полягає в механізмі формування динамічних ресурсів. Цілком очевидно, що після відбору чистих прісних вод з глибин від 30 до 200 м водоносні горизонти відновлюються за рахунок перетікання антропогенних вод (з комунальних мереж, гідровідвалів, водосховищ), а також інфільтраційних – через забруднені радіонуклідами, агрохімікатами, нафтопродуктами та іншими поллютантами ґрунти водозборів. Причому відновлення запасів підземних прісних вод навіть антропогенними водами на значних глибинах (більше 150 м) за об'ємом та пружним тиском (не за достатньо швидким відновленням рівня, який пов'язаний із пружним станом води в над-

рах) відбувається у 1000 і більше разів повільніше, ніж їх вилучення, в той час як відчутне забруднення, через технічну недосконалість свердловин або недбалість, може відбутись протягом кількох діб. У зв'язку із цим з'явився термін «доіндустріальні води» [2], тобто по суті реліктові води, які не мають слідів техногенного забруднення і які поступово зникають.

Що ж відбувається з водними ресурсами останні 25 років? З переходом до маловодного циклу, після багатоводних 1997-1999 рр., поверхневий стік помітно збільшився саме в періоди його підземного живлення – під час зимових та літніх межней. Натомість повеневі витрати річок зменшились [3]. За спостереженнями та розрахунками по басейну р. Півд. Буг, починаючи з 1999 р., ваговий коефіцієнт впливу температури помітно зріс, а зв'язок між підземним і поверхневим стоком впав за значущі межі (рис. 10). Період 2005-2011 рр. можна визнати періодом середньої та підвищеної водності, що сприяло відновленню або стриманню вичерпання запасів ґрунтових вод. В останні два десятиріччя вплив температури на стік посилюється, але виражається він як у періодичному сприянні живленню ґрунтових вод, так і у їх виснаженні за рахунок випаровування, яке азонально зростає. Залежність підземного стоку від кількості опадів за цей (другий) період зменшилась, що створює негативні передумови для компенсації витратних складових балансу ґрунтових вод [4]. Очевидно, ці причини призвели до зменшення інфільтраційного живлення ґрунтових вод і загальний тренд підземного стоку почав знижуватись. Різко нерівномірний характер підземного стоку за два останні десятиріччя відобразився на нерівномірності поверхневого стоку. При цьому роль температури як чинника впливу на стік продовжує зростати (рис. 10). Вочевидь, не скомпенсовані достатнім інфільтраційним живленням значні витрати ґрунтових вод повинні призвести до зменшення їх ємнісних запасів. За 37-річний період спостережень (1980-2017) інтервали настання мінімумів стоку з часом стають коротшими: після максимуму 1997 р. – 6 років, 2005 р. – 3 і 5 років, 2014 р. – через рік. Тривалість періодів мінімального стоку з часом буде подовжуватись, а *періодичність настання мінімумів – зменшуватись* [4]. Оскільки зростання середньорічної температури має поки що незворотний характер, такі зміни можуть виявитися проявом поступового вичерпання запасів, зменшення природних ресурсів підземних вод, а також зональних кліматичних перетворень. Останніми роками ці висновки підтверджуються стійким зниженням рівнів напірних міжпластових вод у Миколаївській, Одеській, Херсонській, Вінницькій, Хмельницькій [5], Київській, Волинській та інших областях.



а

б

**Рис. 10.** Діаграми значень стандартизованих коефіцієнтів змінних, що демонструють залежність підземного стоку (а) та рівня ґрунтових вод (б) від опадів, температури і витрат р. П.Буг на період 1999-2016 рр. для прирічкового типу режиму ґрунтових вод (район м. Хмільник Вінницької області). Червона лінія відображає межу значимості чинника.

**Fig. 10.** Diagrams of values of standardized coefficients of variables showing the dependence of the groundwater runoff (a) and groundwater level (b) on precipitation, temperature and flow of the river Bug for the period 1999-2016 (area of the city of Khmilnyk, Vinnytsia region). The red line shows the factor significance limit

За результатами множинного кореляційного аналізу, зв'язок між режимом поверхневого та підземного стоку виявився невисоким, особливо під час другої фази (рис. 10), навіть для ділянок з прибережним типом режиму ґрунтових вод. Окрім уповільненої реакції підземного стоку на опади, причина полягає також у різній реакції підземного та річкового стоку на підвищення температури: *поверхневий стік*, зокрема р. Південний Буг, при підвищенні температури *зменшується*, водночас стік ґрунтових вод зростає [4]. Очевидно, що поверхневий стік більше залежить від опадів, ніж підземний, – незначне зменшення кількості опадів (після 2014 р.) призвело до більш різкого падіння поверхневого стоку. Відносно 1999 р. середньорічні витрати поверхневого стоку до 2017 р. зменшилися більш ніж у 5 разів.

За природних умов при зниженні РГВ на вододільній (міжрічковій), тобто водозбірній частині, недоотримують живлення також і напірні води, що залягають під першими водотривами. Їх п'езометричні рівні починають повільно знижуватись [6]. Водночас висхідне перетікання напірних вод в річки та ґрунтові води в заплавах якийсь час зростатиме внаслідок збільшення вертикального градієнту за падіння рівнів ґрунтових та поверхневих вод. Стік ґрунтових вод в річки навіть у маловодні періоди може зростати, що спричинюється збільшенням градієнту латерального потоку за аномального падіння рівня води в річках. Отже інтенсивність вичерпання пружних запасів підземних вод посилюється, і це стримувало досі різке обміління річок та підтримувало мінімальні меженні витрати.

За низьких рівнів напірних і ґрунтових вод відбувається більш інтенсивне розвантаження з водосховищ у підземні водоносні горизонти. Особливо відчутним подібний ефект може стати для водосховищ, побудованих на річках першого і другого порядку, за низького фільтраційного опору русла та наявності добре проникних порід або тектонічних розломів. Подібний процес наразі відбувається на водосховищі «Відсічне» на р. Тетерів. При цьому, у випадку розвантаження водосховища в підземні горизонти, навіть за порівняно низьких температур (без значного випаровування), буде спостерігатися зниження рівня води, а дощові опади навряд чи зможуть кардинально змінити цю ситуацію, особливо якщо за їх рахунок не відбудеться суттєвого підвищення РГВ, за якого відновиться природний напрям стоку ґрунтових вод.

Відповідно для ґрунтових і підземних вод стало характерним зниження рівнів та зміна їх якісного складу. Зниження ґрунтових вод обумовило масове пересихання колодязів, а у сільській місцевості це все ще головне джерело питної води. Так само масово змінюється її склад, все більшого поширення у підземних водах набуває підвищення понад нормативи вмісту азотних сполук, також підвищується її загальна мінералізація. Продовжується проникнення вод з підвищеним вмістом заліза і мангану у водоносні горизонти, які вважалися захищеними від подібного впливу.

Окремо слід розглянути особливості вітчизняного виробничо-енергетичного комплексу та природних ресурсів і можливість залучення до процесів водопідготовки фахового персоналу.

1. В Україні є значний запас енергогенеруючих потужностей різноманітного генезу, в тому числі й атомні, що вводилися як джерело енергії для сталих цілодобових споживачів, яких зараз стає все менше.

2. Незважаючи на порівняно розвинутий науково-виробничий цикл, пов'язаний із хімічним виробництвом, хіміко-технологічні інновації в царині вітчизняної водопідготовки практично зупинено внаслідок внесення цілого спектру загальнозживаних у світовій практиці хімічних речовин і їх сполук до так званого переліку «прекурсорів», що робить їх введення у виробничий цикл занадто складним і вартісним.

3. На теренах України понад 70% водозабірних свердловин мають вміст загального заліза у воді в межах від 1 до 3,5 мг/дм<sup>3</sup>. З них приблизно 15% подають воду, в якій окрім заліза істотно перевищено концентрацію мангану (від 0,5 до 1 мг/дм<sup>3</sup>).

Необхідно звернути увагу на те, що діючі очисні споруди в переважній своїй більшості – понад 90%, вже відпрацювали свій проектний експлуатаційний термін, а технологія очищення води<sup>1</sup>, яка була закладена у них розробниками, передбачає використання в якості вихідної води воду I і II категорії якості. Наразі ж переважна більшість джерел водопостачання має воду III категорії, а у деяких випадках і IV категорії, що відповідає сильно розведеним стічним водам.

Також слід враховувати загальне та істотне зменшення кількості доступного до залучення до технологічних процесів кваліфікованого персоналу усіх ланок – від робітників до інженерно-технічних персоналу і так званих топ-менеджерів. Відповідно, діючі виробництва з перманентними технологічними змінами, які обумовлені змінною якістю вихідної сировини і мають багатоетапний технологічний процес, зазвичай зупиняються, особливо у разі неможливості їх автоматизації, а нові аналогічні ви-

робництва вже не впроваджуються. Якщо ці фактори для промислово-побутових товарних груп ще можуть бути компенсовані за рахунок імпорту, то господарсько-питну воду у відповідних обсягах із закордону ніхто постачати не буде.

Відповідно, усі ці фактори стають ключовими для визначення перспективних напрямів досліджень, які здатні створити нові засади актуальних для України технологій водопідготовки природних і стічних вод та напрямів їх використання.

З аналізу наведених ознак стає очевидним, що традиційні вітчизняні технології підійшли до межі свого використання. Впровадження технологічних рішень за аналогією з розвинутими країнами стримується економічними чинниками. Для визначення нових засад, на яких мають бути розроблені технології, перш за все слід окреслити ключові граничні умови:

1. Необхідні маловитратні рішення з мінімальним використанням, а краще і взагалі без залучення речовин з «прекурсорного» переліку.

2. Недопустиме автоматичне і точкове перенесення окремо взятих порівняно сучасних імпортованих технологічних ланок у вигляді сильних окисників чи компактних бар'єрних споруд та іншого подібного обладнання без підлаштування під них усього технологічного циклу. В наших умовах це призводить до неочікуваних результатів, кращими з яких будуть перевитрати реагентів у порівнянні з тим, що обіцяли дилери, та невиправдане збільшення собівартості води порівняно з її якістю.

3. Необхідно максимально використовувати природні процеси з якнайбільшою мінімізацією людського фактору.

4. Розроблені підходи повинні мати достатню гнучкість, яка дозволить з мінімальними змінами пристосовувати технологічний процес до подальших кількісних і якісних змін води в джерелах водопостачання.

5. Слід змінити підхід до стічних вод і припинити розглядати їх як відходи, а почати ставитись до них як до джерела цінної сировини, як мінімум – джерела для поповнення ресурсів води, а як максимум – джерела зворотного водопостачання, можливого енергетичного джерела.

Накладання таких граничних умов відкриває декілька можливих напрямів водопідготовки:

1. Відповідно, це можуть бути процеси різноманітної енергетичної обробки води в поєднанні з нанотехнологіями, але застосування класичних систем мембранного поділу на базі імпортованого обладнання в зв'язку з економічними чинниками навряд чи можливе, а застосування електродіалітичних процесів на базі керамічних, гіпотетично вітчизняних, мембран виглядають доволі перспективними, і можливо вони

<sup>1</sup> Традиційна технологія очищення води базується на коагуляційних процесах. В якості коагулянтів використовують солі алюмінію, найчастіше сірчаноокислий алюміній, рідше – солі заліза. Типовий технологічний ланцюг складається наступним чином: вода насосною станцією першого підйому забирається з джерела водопостачання, первинно хлорується, для недопущення біобростання трубопроводів, надходить до комплексу очисних споруд, де змішується з коагулянтом у так званому змішувачі, звідки самопливом потрапляє до камери утворення пластівців, далі – до відстійників, з яких первинно освітлена вода надходить на кінцеву фільтрацію на фільтрах із зернистим фільтруючим завантаженням, найчастіше кварцовим піском, можливі варіанти завантажень: цеолітовий дрібняк, антрацит, гранули пінополістиролу, кварцит тощо. Після фільтрації вода знову хлорується і самопливом надходить до резервуарів чистої води. З цих резервуарів очищена вода забирається насосною станцією другого підйому і подається водопровідною мережею до споживачів.



і стануть тим рішенням, яке дозволить ефективно і порівняно дешево знижувати загальну мінералізацію води.

2. Так само перспективним, на наш погляд, є створення нових фільтруючих матеріалів із сорбційними властивостями, які можуть бути синтезовані буквально на місці споживання. Це може бути синтез неорганічних композиційних матеріалів на базі гідроксидів заліза та глинистих порід, подібних до монтморилоніту чи гідрослюд, а можливо і каолінових глин, за допомогою термічного розкладу частинок гідроксиду заліза (III) у міжшаровому просторі глин, можливо з додаванням ТРГ (терморозщепленого графіту). Подібні сорбенти відомі і виробляються шляхом інтеркаляції поліядерних комплексів металів (Ti, Zr, Fe тощо). В Україні можна використовувати для цього процесу повсюдно поширені запаси глин, а також підземних вод із підвищеним вмістом закисного Fe з переведенням його у гідроксид. Також можливе і додаткове залучення марганцю з цих вод, наприклад, у вигляді діоксидів. Все це дозволить створювати нові доволі ефективні мезопористі сорбційні матеріали шляхом інтеркаляції в міжпаquetний простір набагато більших за розміром наночастинок оксидів металів. Тобто ми отримаємо з розповсюджених і загально доступних матеріалів комплекс продуктів – новий сорбент та знезалізнену питну воду, – і все за при порівняно незначних енергетичних витрат (температура термічної обробки глин приблизно 250 – 350°C, а отримання Fe(OH)<sub>3</sub> з води не потребує температурної корекції і відповідає її природному фону, тобто 8 – 12°C).

3. Створення інфільтраційних систем очищення природних і доочищення стічних вод за рахунок напівпроникних геохімічних бар'єрів на базі шарів глинистих мінералів, з включенням сорбентів природного генезису та біологічних чинників дозволить, як мінімум, поповнювати запаси підземних вод за допомогою інфільтраційних басейнів, а як максимум – реконструювати на подібних засадах очисні водопровідні та каналізаційні споруди.

4. Створення на базі відстійників водопровідних очисних споруд нового типу споруди, яка поєднає властивості повільних та наливних фільтрів і працює з використанням властивостей геохімічного бар'єру. Цей бар'єр формується з шару колоїдної зависі у висхідному потоці води і наливної мембрани. Наливний шар і колоїдна завеса формуються з суміші, поєднаної за допомогою кавітаційної обробки суспензії глин, ТРГ і гідроксиду заліза. Сформована на цих геохімічних засадах споруда за своїми бар'єрними властивостями займе проміжну позицію між мікро- і ультрафільтраційними установками, а введення певних присадок у перспективі дозволить

отримати таку наливну мембрану, яка буде селективна, наприклад, до іонів натрію або кальцію, що дозволить вести мову про зниження загальної мінералізації. Так само цей бар'єр буде досить ефективним при затриманні органічних сполук, у тому числі пестицидів і гербіцидів, мікропластику тощо. Його продуктивність сягатиме сотень кубометрів на годину за експлуатаційних витрат, що не перевищують витрати на функціонування традиційної технології, а будівельні витрати фактично відповідатимуть витратам на реконструкцію відстійника з відновленням його водонепроникності і покращенням дренажної функції.

5. Створення на базі електродіалізних керамічних мембран локальних установок для отримання дезінфікуючих розчинів аноліту як для власних потреб водопроводів з метою виключення з технологічного процесу первинного хлорування, так і для зовнішніх потреб лікарень, птахофабрик тощо.

6. Розробка ефективних конструкцій інфільтраційних водозабірно-очисних споруд на базі систем перехвату (каптажу, дренажу тощо) потоків інфільтраційних вод [7] поблизу водосховищ як комбінованого джерела водопостачання з функцією очищення води.

Цей перелік можна довго продовжувати, проте навіть розробка простого кавітаційного активатора глинистих розчинів, спроможного ще й покращувати розчинення кускового сірчаноокислого алюмінію (типовий коагулянт), вже дозволить говорити про масову технологічну інновацію, яка необхідна для усіх водопроводів, що працюють на поверхневій воді.

### Висновки

На загальну думку світової наукової спільноти, зростання середньорічної температури щонайменше найближчі три - чотири десятиріччя має сталий і незворотній характер. Тривалість періодів мінімального стоку з часом буде подовжуватись, а періодичність настання мінімумів – зменшуватись. Загалом такі зміни свідчать про початок нового етапу поступового вичерпання запасів та зменшення природних ресурсів, доступних у традиційному розумінні підземних та поверхневих вод, що передусім вимагає їх заощадливого використання. Водночас автори вбачають перспективним застосування інноваційних технологій водопідготування. Найбільш відповідним до сучасних вимог підготовки питної якості є відтворення і оптимізація процесів самоочищення води, які відбуваються в її біогеохімічному циклі під час колообігу на Землі. Поєднання природних технологій самоочищення з фізико-хімічними та біологічними процесами дозволить істотно підвищити ефективність водопідготування.

### Література

1. Пашковский И.С. Подземный сток в многоплатных системах // Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования: Мат-лы междунар. науч. конф. (13-14.05.2010, Москва), М.: МГУ им. Ломоносова, изд-во МАКС Пресс, 2010. – С.221-227.
2. Яковлев В.В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання. Автореф. дис. на здоб. наук. ступ. доктора геол. наук за спец. «екологічна безпека». Київ, 2017. – 35 с.
3. Осадчий В.І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін // За матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 31 травня 2017 р.: Вісник НАН України, 2017, №8. С. 29-45.
4. Шевченко А.Л., Осадчий В.І., Чарний Д.В. Изменения режима, баланса и ресурсов подземных вод Полесья и лесостепи Украины под влиянием глобального потепления // Вучоныя записки Брестскага універсітэта. 2019. - Вып. 15, Ч. 2. - С. 117-128.
5. Шевченко О.Л., Чарний Д.В., Шум І.П., Осадчий В.І. Загрози для ресурсів підземних вод, викликані глобальним потеплінням клімату // Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: мат-ли міжнар. наук.-пр. конф. (7-11.11.2019, Трускавець). – К.:ДКЗ, 2019. - Т.2. – С. 286-290.
6. Шевченко А.Л., Осадчий В.І., Бабушкіна Р.А., Чарний Д.В. Актуалізація проблеми учета ресурсів підземних вод в умовах глобального потеплення // Роль наук про Землю в народному господарстві. Стан та пер-

спективи: мат-ли міжнар. наук.-пр. конф. (20.03. 2019, Херсон). 2019, Херсон: ХДАУ. – С. 317-323.

7. Яковлев В.В. Спосіб опріснення колодязної води / Патент на корисну модель №104259. – Держ. Реєстр патентів України на корисні моделі. 2016. – Бюл. №2 – 8 с.

### References.

1. Pashkovsky I.S. (2010) Moscow: MSU. Lomonosova, MAKS Press Publishing House., P.221-227.
2. Yakovlev V.V. (2017), Author's ref. dis. on zdo. Science. stup. Dr. Geol. science for special. "ecological safety". Kyiv, 35 p.
3. Osadchy V.I. (2017), According to the scientific report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine on May 31, 2017: Bulletin of the NAS of Ukraine, №8. Pp. 29-45.
4. Shevchenko A.L., Osadchy V.I., Charny D.V. (2019), Scientific notes of Brest University. Issue. 15, Ch. 2. pp. 117-128.
5. Shevchenko O.L., Charny D.V., Shum I.P., Osadchy V.I. (2019), Investment prospects: Materials of intern. science conf. (7-11.11.2019, Truskavec'), V.2. pp. 286-290.
6. Shevchenko A.L., Osadchy V.I., Babushkina R.A., Charny D.V. (2019), The role of Earth sciences in the national economy. Status and prospects: Materials of intern. sci.-pract. conf. (20.03,2019, Kherson), Kherson: KhSAU. pp. 317-323.
7. Yakovlev V.V. (2016), Patent for utility model №104259. - State. Register of Ukrainian patents for utility models. Bull. №2 – 8 p.

## DEPLETION OF DRINKING GROUNDWATER RESOURCES UNDER GLOBAL CLIMATE CHANGE CONDITIONS – AS AN INNOVATIVE WATER TREATMENT TECHNOLOGY DEVELOPMENT FACTOR

**Charnyi D.** D.Sc. (Tech.), Senior Researcher, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0001-6150-6433, dmitriych10@gmail.com

**Shevchenko O.** D.Sc. (Geol.), Institute of Geology, Taras Shevchenko Kyiv National University, ORCID:0000-0002-5791-5354, shevch62@gmail.com

**Zabulonov Yu.** D.Sc. (Tech.), Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor, State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine» ORCID:0000-0002-4517-9927

**Dolin V.** D. Sc. (Geol.), State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», ORCID:0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

*Sustainable development of any country is possible only if it provides a stable supply of its population and the industrial complex with drinking water in accordance with their needs. This problem is a real challenge for Ukraine as a low-water state. Besides, the water supply complex in Ukraine is in permanent crisis caused by both social-economic and natural factors, mainly global climate change. For example, for the surface waters of the Dnieper basin, the water composition changes from south to north from calcium bicarbonate to sodium chloride. Ten to 15 years ago, these changes were felt only in the lower reaches of the Dnieper River, now they have reached Kyiv region; at the same time there is a significant increase in the total mineralization of water. All signs indicate a gradual depletion of reserves and reduction of natural groundwater resources. The combination of these factors forms the current unsatisfactory state of water supply and sewerage systems. Together with permanent underfunding of the water supply and sewerage systems it has gradually led to the fact that virtually all pipelines do not operate in the regular mode, in fact, they are constantly in a preaccidental and accidental state. The most striking example of this state of affairs is the loss of water taken from the water source. It can reach up to 50 percent or even more. The lack of sufficient funding makes the application of the standard for the developed countries approaches unrealistic. Consequently, non-traditional water treatment technologies that are based on other principles are required. They must ensure adequate water quality through the maximum sustainable use of the available resources and the reserves of the existing treatment plants outside the typical water treatment technology. In our opinion, the reproduction of intensified biogeochemical processes of water self-purification, which are constantly taking place in the process of its circulation on the Earth, is promising from this viewpoint. In particular, it is proposed to create on the basis of the latest hydrogen treatment plants a new type of structure that supports the own forces of known and other filters and works with the power of the geochemical barrier.*

**Key words:** water resources, drinking water, climate, precipitation, infiltration, chemical indicators, water treatment, groundwater, technologies, treatment facilities, geochemical barrier.