



Державна служба
геології та надр
України



Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут геологічних наук Національної академії наук України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Львівський національний університет імені Івана Франка

2024 

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

IX міжнародна науково-практична конференція

НАДРОКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ. ПЕРСПЕКТИВИ ІНВЕСТУВАННЯ

7-11 жовтня 2024, м. Львів, Україна

IX international scientific-practical conference

SUBSOIL USE IN UKRAINE. PROSPECTS FOR INVESTMENT

7-11 october 2024, Lviv, Ukraine

РОЗВИТОК РЕГІОНАЛЬНИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ДОВГОСТРОКОВОМУ ВОДОКОРИСТУВАННІ У БАСЕЙНАХ ПІДЗЕМНИХ ВОД УКРАЇНИ

Удалов І.В.¹, д. геол. н., професор, igorudalov8@gmail.com,

Триснюк В.М.², д. техн. н., професор,

Яковлев Є.О.², д. техн. н., yakovleve1939@gmail.com,

1 – Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна,

2 – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна

Актуальність дослідження обумовлена проблемами безпеки питного водопостачання враховуючи, що воно на 75 % забезпечується за рахунок поверхневих джерел. Виконано аналіз екологічного стану підземних вод питної якості і обґрунтовано додаткові критерії можливого сталого підземного господарсько-питного водопостачання. Проаналізовані дані моніторингу стану підземних водозаборів України свідчать, що їх довгострокова експлуатація супроводжується розвитком комплексу небезпечних літодинамічних процесів (НЛДП), що мають гідрогеофільтраційне походження. Виділено 3 провідних еколого-гідрогеологічних НЛДП: дифузія мінералізованих порових розчинів із слабопроникних шарів у експлуатаційні горизонти, фільтраційна компресія водоносних комплексів і суфозійний перенос водоносних порід з локальним зменшенням їх об'єму та, як наслідок, провальними осіданнями земної поверхні. Встановлено, що основними факторами розвитку процесів суфозії, фільтраційної компресії та деформацій земної поверхні в межах депресійної лійки за умови активного підземного водовідбору є: перше - наявність пухких порід - глин, суглинків, супісків, пісків, алевритів, лесів у геологічному розрізі зони активного водообміну (ЗАВ); друге - гранулярна неоднорідність пухких відкладів та більш щільних порід, що їх підстеляють в межах ЗАВ (або наявність в них порожнин) - пісковиків, вапняків, мергелів, черепашників, сланців; третє - вертикальна циркуляція підземних вод, що сприяє низхідній міграції пилово-глиняних часток у експлуатаційні підземні водоносні горизонти.

DEVELOPMENT OF REGIONAL HAZARDOUS GEOFILTRATION PROCESSES FOR LONG-TERM WATER USE IN GROUNDWATER BASINS OF UKRAINE

Udalov I.¹, Dr. Sci. (Geol.), Prof., igorudalov8@gmail.com,

Trisnyuk V.², Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Yakovlev Ye.², Dr. Sci. (Eng.), yakovleve1939@gmail.com,

1 – V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,

2 – Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The relevance of the study is due to the safety of drinking water supply, given that 75% of it is provided by surface sources. The article analyzes the ecological state of underground water of drinking quality and substantiates additional criteria for a possible sustainable underground economic and drinking water supply. The analyzed data of the monitoring of the state of underground water intakes of Ukraine show that their long-term exploitation is accompanied by the development of a complex of dangerous lithodynamic processes (DLDP) of hydrogeofiltration origin. The article highlights 3 leading ecological and hydrogeological DLDPs: diffusion of mineralized pore solutions from poorly permeable layers into operational horizons, filtration compression of aquifer complexes and suffusion transport of aquifers with a local decrease in their volume and, as a result, subsidence of the earth's surface. It was established that the main factors in the development of the processes of suffusion, filtration compression and deformations of the earth's surface within the depression funnel under the condition of active underground water abstraction are: first - the presence of loose rocks - clays, loams, sandy loams, sands, siltstones, loess in the geological section of the zone of active water exchange (AWE); the second - granular heterogeneity of loose deposits and denser rocks that underlie them within the AWE (or the presence of cavities in them) - sandstones, limestones, marls, cherts, shales; the third is the vertical circulation of groundwater, which contributes to the downward migration of dust-clay particles into operational underground aquifers.

Вступ. За рівнем раціонального використання та якості поверхневих і підземних водних ресурсів, включаючи діючі очисні споруди, Україна, за даними ЮНЕСКО, серед 122 країн світу посідає 95 місце. Такий стан водно-ресурсного потенціалу країни обумовлює, перед усім, великі труднощі у розв'язанні проблеми безпеки питного водопостачання, особливістю якого в Україні є 75 % забезпечення з поверхневих джерел. Виконані дослідження свідчать [1, 2], що більшість поверхневих водних ресурсів за умови зростаючого впливу

техногенезу, глобальних змін клімату (ГЗК) (потепління, нерівномірність опадів і ін.) та наслідків російської агресії (військові викиди забруднень, геохімічне забруднення водозбірних ландшафтів, руйнування очисних споруд та ін.) класифікується як забруднена і брудна (IV, V клас якості). Як наслідок, за якістю вони не відповідають технологічній спроможності діючих систем водопідготовки (одно-двоступеневе очищення). Крім того, поверхнева гідросфера України має аномальне зарегулювання поверхневих водних об'єктів (більше 70 %) внаслідок будівництва 1160 водосховищ та 52 тис. ставків, що за умови критичного уповільнення водообміну суттєво підсилює негативний вплив ГЗК.

Ресурси підземних вод України складають 22,5 млрд м³, з яких 70 % припадає на захищені або умовно захищені артезіанські води питної якості [1-3].

Підвищений потенціал захищеності водоносних горизонтів від техногенного забруднення формує значні резерви безпечного еколого-технологічного розвитку систем господарсько-питного водопостачання (ГПВ), особливо в регіонах комплексного забруднення річкових вод (Донбас, Причорномор'я, Приазов'я та ін.).

В той же час, аналіз даних моніторингу підземних водозаборів засвідчив, що їх довгострокова експлуатація супроводжується розвитком комплексу небезпечних літодинамічних процесів (НЛДП), що мають гідрогеофільтраційне походження при експлуатації водозабірних (дренажних) споруд. Виконані дослідження дозволили виділити 3 провідні еколого-гідрогеологічні НЛДП: дифузія мінералізованих порових розчинів із слабо проникних (водотривких) шарів у експлуатаційні горизонти, фільтраційна компресія водоносних комплексів і суфозійний перенос водоносних порід з локальним зменшенням їх об'єму та місцевими (провальними) просіданнями земної поверхні.

Метою статті є аналіз потенційних факторів регіонального розвитку небезпечних геофільтраційних процесів у басейнах підземних вод України при довгостроковому водокористуванні.

Основний матеріал дослідження. Виконана авторами систематизація НЛДП водокористування у басейнах підземних вод (БПВ) України, дозволила виділити 3 процеси, на які майже не звертали уваги: 1) дифузія мінералізованих порових розчинів із слабопроникних (водотривких) шарів у експлуатаційні водоносні горизонти; 2) фільтраційна компресія водоносних горизонтів під впливом тривалих відкачок підземних вод; 3) фільтраційна суфозія.

В цілому результати виконаних розрахунків дозволяють зробити наступні методичні висновки:

- 1) конвективно-дифузійна міграція солі з порових розчинів слабопроникного покривного розділяючого шару в експлуатаційний водоносний горизонт має стійкий просторово-часовий характер впливу на якість підземного водовідбору;
- 2) мінералізовані порові розчини, з початкової фази розвитку депресії приймають участь у формуванні хімічного складу водовідбору;
- 3) низька проникність і висока сорбційна здатність глинистих порід слабопроникних розділяючих регіональних шарів обумовлюють дуже обмежений вплив мінералізованих порових розчинів на експлуатаційний водовідбір при умові відсутності геомеханічних порушень ГГФС (підземне будівництво, гідравлічні розриви та ін.).

Згідно з існуючими гідрогеофільтраційними моделями у багатьох випадках розділяючі шари мають подвійну структуру порово-проникного простору внаслідок існування послаблених лінійних зон підвищеної проникності та стійких слабопроникних блоків [3-5].

Вищенаведені експертні узагальнення дозволяють дійти висновку, що при будь-якій схемі формування депресійної лійки дифузійно-конвективний рух солей і мікрокомпонентів із порових розчинів слабопроникного (розділяючого) шару є стабільним просторово-часовим фактором впливу на якість вод експлуатаційних водоносних горизонтів [2-5]. Таким чином, на нашу думку, гідрогеохімічна еволюція експлуатаційних водоносних горизонтів на більшості артезіанських водозаборів України вимагає змін підходів до обґрунтування схем розташування експлуатаційних свердловин водозаборів та величин припустимих знижень

рівнів в експлуатаційних горизонтах з урахуванням розвитку конвективно-дифузійної міграції мінералізованих порових розчинів із слабопроникних розділяючих шарів.

Вперше просідання земної поверхні, у зв'язку з інтенсивними відкачками підземних вод було зареєстровано в японських містах Токіо, Осака й Ніагата в 30-х рр. минулого сторіччя. До 60-х рр. максимальний сумарний відбір підземних вод тільки в м. Токіо перевищив 600 тис. м³/добу, а загальне зниження напорів склало більше 150 м. В 1975 р. максимальна величина зниження поверхні землі в цьому місті досягла 4,0 м. У результаті частина міста виявилася нижче рівня моря, і для його захисту потрібно було побудувати 200 км захисних дамб.

Накопичений досвід свідчить, що провідна причина просідання полягає в тривалому й інтенсивному підземному водовідборі, який призводить не тільки до значного зниження рівня води й зняття гідростатичного напору, але й до збільшення ефективного тиску на скелет дисперсного ґрунту, його ущільнення й, як наслідок, до осідання поверхні землі.

За результатами багатьох досліджень інженерно-геотехнічно суттєвою є фільтраційна компресія водоносного горизонту, яка спостерігається при зниженнях рівня у десятки метрів і більше при переважно піщано-пилуватому складі водонасиченого породного масиву. Результати просторово-часового моніторингу фільтраційно-компресійних осідань земної поверхні у зонах депресійних лійок водозаборів великих промислово-міських агломерацій та дренажно-осушувальних систем кар'єрів та шахт на території України (Придніпров'я, Причорномор'я, Донбас, Полісся) свідчать, що величина осідання земної поверхні корелюється зі зниженням рівня в експлуатаційному водоносному горизонті і в більшості випадків складає 1,0-2,5 % його величини.

На території України масштабним прикладом прояву фільтраційної компресії породного масиву під впливом великого зниження рівня піщано-пилуватого напірного горизонту (> 200 м) є Південно-Білозерське залізорудне родовище, яке розташоване на межі Українського кристалічного масиву та Причорноморського артезіанського басейну. Величина осідання земної поверхні із центром депресії біля шахтних стволів склала 2,5 м при загальній площі мульди осідання до 15 км². Зміна напружено-деформованого стану водно-породного комплексу призвела до додаткових небезпечних деформацій конструкцій шахтних стволів та необхідності їх додаткового зміцнення.

В цілому встановлено [2-5], що осідання земної поверхні у зонах депресійних лійок підземних водозаборів нерідко супроводжується підтопленням і заболоченням території, деформаціями будівель і споруд інженерних комунікацій та ін. (Придніпровський, Причорноморський регіони та ін.).

Відомо, що під фільтраційною суфозією мають на увазі винесення гідрогеофільтраційним потоком депресійної лійки експлуатаційної свердловини (дрени) мілкозернистих (пилуватих) часток крізь пори більш крупнозернистого скелета. Як свідчить досвід довгострокової експлуатації водозабірних споруд на різнозернисті водоносні горизонти, винос дрібних часток може мати як обмежений характер, так і призводити до руйнування структури водоносного горизонту і перекриваючих порід та формування зон осідання земної поверхні. Численні дослідження свідчать, що активізація суфозії залежить, в першу чергу від коефіцієнту неоднорідності водоносного піщаного ґрунту K_n і гідравлічного градієнту I фільтраційного потоку.

За отриманими даними встановлено, що активні процеси суфозійного руйнування породного масиву неоднорідних водонасичених пісків (супісків) спостерігаються переважно при коефіцієнті неоднорідності ($K_n = \frac{d_{60}}{d_{10}}$) від 10 і більше (d_{60}, d_{10} – відповідно діаметр фракцій порід, що складають 60 % та 10 % водоносного горизонту).

Оцінки впливу гідравлічного градієнту фільтраційного потоку на прояви суфозії дозволяють дійти висновку, що її формування поблизу фільтрів водозабірних свердловин і на поверхні обводнених схилів може відбуватися при гідравлічних градієнтах $I = 0,1$ і більше. В інженерно-технологічному відношенні суфозійний процес у прифільтровій зоні часто

призводить до пошкодження насосного обладнання та низхідного пристовбурного розвитку суфозії і осідання земної поверхні.

На регіональному рівні суфозійні процеси у багатьох регіонах України (Полісся, Прикарпаття та ін.) завдають значної шкоди фундаментам житлових і промислових будівель у низці промислово-міських агломерацій України [1, 2, 4, 5].

Явище суфозії широко поширене в межах півдня України, де розповсюджені лесово-суглинисті просадкові ґрунти з регіональним розвитком процесу підтоплення внаслідок масштабного зарегулювання поверхневого стоку (більше 80 %) та зрошування земель. Активну роль у розвитку суфозійного процесу при експлуатації водозаборів і дренажних систем у більшості басейнів підземних вод України відіграють перешарування тріщинних (тріщино-карстових) піщаних різнозернистих водоносних горизонтів. Це сприяє формуванню великих депресійних лійок, зон підвищених гідравлічних градієнтів та прискореного руху гідрогеофільтраційного потоку на контактах тріщинуватих і піщано-пилуватих шарів і, як наслідок, активізації суфозії вздовж тріщин. Такі умови характерні для Волино-Подільського, Причорноморського та центральної частини Дніпровсько-Донецького артезіанських басейнів.

Аналіз свідчить, що слід очікувати активізації суфозійних (карстово-суфозійних) процесів внаслідок впливу водно-господарської діяльності людини (будівництво водосховищ, шахтного і кар'єрного водовідливу, активізація підтоплення лесово-суглинистих і просадкових породних масивів). До нових сучасних факторів активізації суфозійних (карстово-суфозійних) процесів слід віднести вплив ГЗК (потепління, зростання нерівномірності та кількості опадів, підвищення висоти і частоти повеней і паводків, з якими пов'язана активізація взаємодії поверхневих і підземних вод), зміни фізико-хімічного стану та фізико-механічних властивостей лесово-суглинистих просадкових масивів у районах інтенсивної забудови та промислового освоєння [2].

Відомо, що підземний водовідбір із свердловини обумовлює формування депресійної лійки, в межах якої просторова залежність зниження рівня має вигляд:

$$S_r = S_0 \frac{\lg(R/r)}{\lg(R/r_0)} \quad (1)$$

де R - радіус депресійної лійки (м) експлуатаційної свердловини при дебіті Q , м³/добу;
 r_0 , r - відповідно, радіус фільтра (типова величина $r_0 \approx 0,1$ м) та відстань поточної точки депресії ($r_0 < r < R$), м.

Згідно наведеної залежності значення градієнту рівня депресійної лійки у її будь-якому пункті

$$I = \frac{ds}{dr} = [S_0 / (\lg R / r_0)] \cdot (\lg R - \lg r), \text{ після відповідних перетворень} \\ I = [S_0 / (\ln R / r_0)] \cdot [\ln R - (\ln r - r)] \quad (2)$$

Виконані за залежностями (1, 2) розрахунки свідчать, що небезпечний розвиток суфозійного процесу у прифільтровій зоні експлуатаційної свердловини на водоносний горизонт у різнозернистих пісках більшості водозаборів може сягати відстані 10-15 м. В той же час, в центральній зоні депресійної лійки групового або лінійного водозабору за умови взаємодії локальних свердловинних депресій, відстань розвитку суфозійних деформацій земної поверхні може суттєво збільшуватися (до 3-5 разів) і погіршувати інженерно-геотехнічну стійкість експлуатаційних свердловин, насосного обладнання та інженерних мереж.

Провідним заходом попередження негативного впливу суфозійних процесів на безпеку підземного водовідбору є збільшення діаметру фільтрів та використання фільтрової засипки із високопроникних матеріалів (гравій, крупнозернистий пісок) з метою зменшення гідравлічних градієнтів фільтраційних потоків у присвердловинній зоні.

Виконаний аналіз змін геоморфологічних умов ділянок підземних водозаборів переважно у лісостеповій та степовій зонах України засвідчив наявність ускладнень їх інженерно-геотехнічних умов внаслідок впливу суфозійних і фільтраційно-компресійних процесів. При цьому за результатами експедиційних досліджень 2016-2021 рр. [3-5]

встановлено геоморфологічний зв'язок вищезазначених процесів з розвитком подових і блюдцеподібних утворень земної поверхні.

За класифікацією д. г.-м. н. Молодих І.І. блюдця (поди) степові – це пологі, замкнені безстічні зниження округлої або овальної форми діаметром від 10-15 до сотень метрів, завглибшки від 1-1,5 до 3-4 м. Переважно розповсюджені на площах залягання лесів, лесових легких суглинків та супісків. Гідрогеофільтраційною особливістю подів і блюдців є наявність у верхній зоні геологічного розрізу зони активного водообміну (ЗАВ) до глибини від 3-4 до 7-30 м змін складу й фізико-механічних властивостей порід, зростання оглеєності, вологості, щільності. За результатами виконаних в ІТГП НАН України досліджень подово-блюдцеві утворення на території України найбільше трапляються на вододільних слабостічних рівнинних поверхнях, де вони є місцевими базисами ерозії, в межах високих терас середнього Дніпра та ін. терас рік басейну Сіверського Дінця, в північно-західній частині Причорноморської низовини. Вони утворюють полігональний мікрорельєф зі щільністю 14-84 форм на 1 км² (найбільша – між Чигирином і Черкасами). На даних територіях місцями займають 15-20 % площі межиріч. Тут вони розміщуються нерівномірно або лінійно на продовженнях улоговин стоку (лівогобережжя Дніпра). Навесні та при зрошуванні у подово-блюдцевих депресіях місцевості утворюються невеликі озера, що активізує інфільтраційне живлення підземних вод і суфозійний перенос пилово-глиняних часток у зонах депресійних лійок підземних водозаборів.

В цілому встановлено, що основними факторами розвитку процесів суфозії, фільтраційної компресії та деформацій земної поверхні в межах депресійної лійки за умови активного підземного водовідбору є:

1) наявність пухких порід – глин, суглинків, супісків, пісків, алевритів, лесів у геологічному розрізі ЗАВ;

2) гранулярна неоднорідність пухких відкладів та більш щільних порід, що їх підстеляють в межах ЗАВ (або наявність в них порожнин) – пісковиків, вапняків, мергелів, черепашників, сланців;

3) вертикальна циркуляція підземних вод, що сприяє низхідній міграції пилово-глиняних часток у експлуатаційні підземні водоносні горизонти.

Як свідчать результати еколого-ресурсного моніторингу стану ГПВ на території України відбувається стійке регіональне погіршення якості поверхневих вод внаслідок їх масштабного зарегулювання, зростаючого впливу ГЗК та наслідків російської агресії (геохімічне забруднення водозбірних ландшафтів, руйнування очисних споруд та ін.), комплексного впливу техногенного Донбасу у зоні затоплення шахт.

В той же час, узагальнена оцінка потенційного розвитку НЛДП у басейнах підземних вод України дозволяє дійти висновку про можливість їх локальної активізації при суттєвому збільшенні водовідбору, який зараз складає менше 10 % прогнозних ресурсів.

Висока еколого-ресурсна стійкість підземного ГПВ обумовлена його високою захищеністю від впливу техногенних порушень поверхневої гідросфери, значним перевищенням природних об'ємів підземних вод в ЗАВ над середньорічним поверхневим стоком та можливістю оптимізації водовідбору за рахунок наближення до водокористувачів.

Таким чином, активне збільшення підземного водовідбору підземних вод питної якості є головним фактором підвищення еколого-ресурсної стійкості систем господарсько-питного водопостачання за умови зростання комплексного впливу ГЗК, водно-екологічних наслідків російської агресії та накопичених незворотних порушень екологічного стану поверхневої гідросфери [1-5].

Висновки. Аномальне зарегулювання поверхневого стоку провідних річкових басейнів України (більше 70 %, що в 2-3 рази вище показників держав ЄС), що обумовлює зниження активності водообміну поверхневої гідросфери і зростання небезпеки забруднення поверхневих джерел ГПВ (до 75 % загального водопостачання), в т. ч. внаслідок зростання впливу негативних факторів ГЗК.

Підземні води питної якості в межах практично усіх регіонів України (за виключенням гірських районів Карпат і Криму), є головним фактором національної безпеки господарсько-питного водопостачання за умови повоєнного відновлення України, подальшого впливу накопичених водно-екологічних наслідків техногенезу та ГЗК.

В межах усіх БПВ України при багаторічному збільшенні водовідбору існує загроза локального розвитку небезпечних геофільтраційних процесів, провідними серед яких є:

- дифузія мінералізованих порових розчинів із слабопроникних (водотривких) шарів у експлуатаційні водоносні горизонти;
- фільтраційна компресія водоносних горизонтів під впливом тривалих відкачок підземних вод;
- фільтраційно-суфозійне винесення дрібнозернистих (пилуватих) часток гідрогеофільтраційним потоком експлуатаційної свердловини з небезпекою осідання земної поверхні.

Враховуючи вищенаведене, при формуванні оновленої моделі економічного розвитку України у повоєнний період та підвищення еколого-ресурсної безпеки системи господарсько-питного водопостачання на основі стійкого збільшення використання захищених від впливу техногенезу підземних вод представляється необхідним:

- виконати переоцінку прогнозних ресурсів і експлуатаційних запасів підземних вод питної якості, надати орієнтовні оцінки впливу конвективно-дифузійного переносу мінералізованих порових розчинів із слабопроникних (розділяючих) шарів на якість вод експлуатаційних горизонтів;
- розробити методику вірогідної оцінки гідрогеохімічних і пружньо-ємностних параметрів слабопроникних розділяючих шарів та їх впливу на еколого-гідрогеологічні умови гідрогеофільтраційних систем, "слабопроникний (розділяючий) шар - експлуатаційний водоносний горизонт";
- розробити наукові основи гранично-припустимих знижень рівнів в експлуатаційних водоносних горизонтах з урахуванням впливу дифузійно-конвективної міграції мінералізованих порових розчинів слабопроникних (розділяючих) шарів.

Список використаних джерел:

1. Шестопапов В.М., Огняник Н.С., Дробноход Н.И. и др. Водообмен в нарушенных условиях //в кн.: Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. – К.: Наук. думка, 1991. – 528 с.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 р. Мінрегіонрозвитку України, Київ, 2023 р., 664 с.
3. Яковлев Є.О. Оцінка впливу порових розчинів регіональних слабопроникних шарів на формування якості ресурсів питних підземних вод. Мінеральні ресурси України, № 1, 2011. С. 37-46.
4. Триснюк В.М., Трофимчук О.М. Моделювання природно-технічної системи гідроресурсів для безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування. Матеріали Восьмої міжнародної науково-практичної конференції (9-12 жовтня 2023 р., м. Львів). С. 516-522 https://conf.dkz.gov.ua/files/2023_materials_net.pdf.
5. Удалов И.В. Трансформация геологической среды под влиянием техногенных процессов (в условиях северо-восточного Донбаса). – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2016. – 176 с.