

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ФАКТОРІВ ВРАЗЛИВОСТІ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Удалов Ігор Валерійович,

доктор геологічних наук, професор,
професор кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
ORCID ID: 0000-0003-3844-6481
Scopus Author ID: 36633141700

Кононенко Аліна Володимирівна,

кандидат геологічних наук,
доцент кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
ORCID ID: 0000-0003-0382-3910
Scopus Author ID: 57204570385
Web of Science Researcher ID: GZN-1272-2022

Міхалкова Ніна Василівна,

аспірант кафедри фундаментальної і прикладної геології
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
ORCID ID: 0000-0001-9119-213X

У статті дана комплексна оцінка факторів вразливості якості підземних вод у Донбасі (на прикладі водозаборів Луганської області) в умовах техногенної кризи сьогодення. Описано, що практичне значення для централізованого господарсько-питного водопостачання мають підземні води у тріщинуватих породах верхньої крейди та кам'яновугільних відкладах. Проаналізовано гідрогеологічні умови та особливості шахтного водовідливу гірничо-промислових районів (ГПР) Донбасу. Виявлена складна взаємодія гідравлічно та фільтраційно зв'язаних шахт, водозаборів, поверхневих водних об'єктів, техногенно змінених зон геологічного середовища (проммайданчики, терикони, майданчики промислових і побутових відходів та ін.). Виділено природно-техногенні фактори, що впливають на вразливість якості підземних вод в сучасних умовах. Для регіональної оцінки ступеня та масштабів зміни гідрогеологічних умов, попереднього регіонального прогнозу забруднення водоносних горизонтів, що використовуються для господарсько-питного водопостачання запропоновано використовувати комплексну оцінку вразливості підземних вод. Комплексна оцінка вразливості підземних вод базується на варіативній оцінці тієї чи іншої суми факторів, що впливають на погіршення якості, зміну умов формування та зниження екологічних показників стану та використання ресурсів підземних вод. На основі комплексної оцінки дії природних та техногенних факторів виділено градації вразливості якості підземних вод. Доведено, що використання комплексної оцінки вразливості підземних вод дозволить суттєво підвищити комплексність та достовірність еколого-гідрогеологічних прогнозів у процесі відновлення ГПР Донбасу у межах Луганської області та інших регіонів. Наведена регіональна прогнозна оцінка забруднення водоносних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання. Виходячи з результатів попереднього прогнозу, для попередження впливу закриття шахт на водоносні горизонти, що використовуються для питного водопостачання, дані рекомендації щодо проведення подальших досліджень.

Ключові слова: якість підземних вод, еколого-гідрогеологічні умови, вразливість підземних вод, геологічне середовище, техногенні фактори.

Udalov Igor, Kononenko Alina, Mikhalkova Nina. Comprehensive assessment of groundwater quality vulnerability factors in modern conditions

The article provides a comprehensive assessment of the vulnerability factors of groundwater quality in Donbas (using the example of water intakes in Luhansk region) in the conditions of the current technogenic crisis. It is described that groundwater in fractured rocks of the Upper Cretaceous and coal deposits is of practical importance for centralized domestic and drinking water supply. The hydrogeological conditions and features of mine drainage in mining and industrial areas of Donbas are analyzed. The complex interaction of hydraulically and filtrationally connected mines, water intakes, surface water bodies, technogenically altered zones of the geological environment (industrial sites, tailings dumps, industrial and domestic waste sites, etc.) is revealed. Natural and technogenic factors affecting the vulnerability of groundwater quality in modern conditions are highlighted. For a regional assessment of the degree and scale of changes in hydrogeological conditions, a preliminary regional forecast of contamination of aquifers used for domestic and drinking water supply, it is proposed to use a comprehensive assessment of groundwater vulnerability. A comprehensive assessment of groundwater vulnerability is based on a variable assessment of a particular sum of factors affecting the deterioration of quality, changes in the conditions for the formation and reduction of environmental indicators of the state and use of groundwater resources. Based on a comprehensive assessment of the action of natural and technogenic factors, gradations of vulnerability of groundwater quality are highlighted. It is proven that the use of a comprehensive assessment of groundwater vulnerability will significantly increase

the complexity and reliability of ecological and hydrogeological forecasts in the process of restoring in mining and industrial areas of Donbas within the Luhansk region and other regions. A regional forecast assessment of contamination of aquifers used for drinking water supply is presented. Based on the results of the preliminary forecast, recommendations for further research are given to prevent the impact of mine closures on aquifers used for drinking water supply.

Key words: groundwater quality, ecological and hydrogeological conditions, groundwater vulnerability, geological environment, technogenic factors.

Вступ. Проблема збереження якості підземних вод в умовах реструктуризації значної кількості гірничодобувних підприємств Донбасу, зокрема в умовах ведення воєнних дій, є однією з актуальних. Не секрет, що післявоєнне водопостачання населення буде можливим виключно на основі підземних вод. Кількість, а головне якість поверхневих вод на досліджуваній території після активної фази бойових дій говорить про неможливість їх використання в довоєнних обсягах. Наслідком реструктуризації вугільної галузі, що проводилася в Україні на початку 2000-х років, є регіональна зміна структури та обсягу водовідливу, формування зон підйому рівнів та змін хімічного складу підземних та поверхневих вод, а також інші процеси перебудови еколого-гідрогеологічних параметрів геологічного середовища [7; 8]. Комплекс факторів кількісних та якісних змін еколого-гідрогеологічних параметрів пов'язаний з неконтрольованим автореабілітаційним підйомом рівнів підземних вод, а також з переорієнтацією впливу техногенних факторів на формування еколого-гідрогеологічних умов.

Метою статті – виявлення факторів вразливості якості підземних вод у Донбасі на прикладі водозаборів Луганської області в умовах техногенної кризи сьогодення.

Матеріали та методи. Стаття написана в рамках загальнодержавної цільової програми «Питна вода України на 2022-2026 рр.».

В основу статті покладено результати аналізу наукової літератури та фондової документації. Дослідження, результати яких наведені у статті, виконувались відповідно до методики еколого-гідрогеологічного вивчення стану територій та методики оцінки екологічного стану територій, забруднених внаслідок закриття вугільних шахт. Обидві методики розроблено Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем та затверджено Міністерством екології та природних ресурсів України.

Результати дослідження. Згідно з гідрогеологічним районуванням Донбасу ліквідовані вугледобувні підприємства приурочені до чотирьох гідрогеологічних районів: купольних структур, закритої частини північної зони дрібної складчастості, відкритої частини північної зони дрібної складчастості, великих лінійних складок [7].

Аналіз гідрогеологічних умов гірничо-промислових районів (ГПР) Донбасу та особливостей шахтного водовідливу [3] при відпрацюванні вугільних родовищ на досліджуваній території дозволяють констатувати:

1) на полях усіх розглянутих шахт відзначаються виходи джерел, які під час закриття шахт можуть бути додатковими шляхами міграції мінералізованих шахтних вод;

2) в цілому розривні порушення та генетично пов'язані з ними тріщинуваті проникні зони безпосередньо визначають як особливості гідрогеологічних умов шахтних полів, так і ступінь обводнення гірських виробок, умови та характер водообмінних процесів між ними та прилеглим породним масивом;

3) ступінь обводненості шахт також суттєво визначається величиною природного та техногенного інфільтраційного живлення дренованих водоносних горизонтів, розміром виробленого простору, кількістю пластів, що розробляються;

4) порушені масиви гірських порід із зонами штучної тріщинуватості над гірничими виробками та розкриті ними зони тектонічної тріщинуватості є основними шляхами міграції підземних вод при затопленні шахт та їх подальшого розподілу в підземних та поверхневих водних об'єктах;

5) при відновленні рівнів рух підземних вод спрямований в основному до річкових долин, приурочених переважно до структур тектонічних порушень. У багатьох випадках шахтні води надходять на сусідні шахти, які гідравлічно пов'язані між собою гірничими роботами, а також по тріщинуватих зонах на суміжні шахти, що не мають прямого гідравлічного зв'язку. В цьому випадку інтенсивність перетікання підземних вод обумовлена поточним розподілом напорів, проникністю ціликів, фільтраційними та гідрогеологічними параметрами порушеного масиву порід [3].

Отримані дані про специфіку впливу закриття шахт у минулому та зупинка роботи шахт на сучасному етапі, вказують на додаткове вторинне переформування техногенно-природних гідрогеологічних умов шахтних полів та прилеглих територій (переважно в межах місцевих водозбірних площ) [2; 5; 6], що свідчить про активізацію наступних факторів підвищення вразливості підземних вод:

1) формування гідравлічних потоків у гірничих виробках, що сприяють прискоренню латеральної міграції високомінералізованих шахтних вод;

2) перетин гірничими виробками значної кількості водопровідних тектонічних структур, що сприяють висхідній міграції мінералізованих вод глибоких горизонтів карбону та включенню їх у латеральні потоки в зонах впливу гірничих робіт;

3) прояв гідрогеодеформаційних процесів у масивах порушених порід з відтискуванням вод підвищеної мінералізації та подальшою міграцією їх у латеральних потоках підземних і поверхневих вод, що формуються.

Таким чином, сучасна оцінка впливу зупинки роботи шахт (на сьогодні робота вугледобувних підприємств у зоні активної фази військових дій неможлива) на еколого-гідрогеологічні умови прогнозних ресурсів

та експлуатаційних запасів підземних вод безпосередньо пов'язана з виявленням зміни просторово-часових параметрів потоків підземних вод та структури їх взаємодії з поверхневими водними об'єктами.

Експертні прогнози оцінки свідчать, що ліквідація та скорочення розмірів депресій рівнів підземних вод у процесі зупинки роботи шахт у гідрогеофільтраційному плані еквівалентно розсіюванню розвантаження шахтних вод у підземному потоці [8]. Остання обставина є фактором ризику погіршення стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод на діючих та розвіданих водозаборах.

Таким чином, важливим техногенним фактором, що викликає особливе занепокоєння при еколого-гідрогеологічній оцінці ГПР є динамічне зниження захищеності прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод від забруднення по мірі регіонального підвищення рівнів підземних вод та обов'язковим наступним підтопленням денної поверхні [2]. З останнім пов'язане зростання міграції забруднюючих речовин, а також посилення впливу низки техногенних об'єктів, а саме – зон хімічного забруднення ландшафтів, що сформувалися раніше, в районах розташування: відвалів гірських порід; накопичувачів шахтних та стічних вод; підприємств, що характеризуються значними викидами шкідливих речовин в атмосферу. Крім того, необхідно враховувати катастрофічний вплив бойових дій та появу в геологічному середовищі характерних для них комплексів забруднюючих речовин.

Розглянемо детальніше територію Луганської області. У межах досліджуваної території підземні води, що мають практичне значення для централізованого господарсько-питного водопостачання, приурочені до зон активного водообміну – тріщин у породах верхньої крейди та кам'яновугільних відкладів.

Водоносний горизонт тріщинуватої зони верхньої крейди поширений у північній частині досліджуваної території та інтенсивно використовується для централізованого господарсько-питного водопостачання (рис. 1). Прогнозні ресурси підземних вод у межах території становлять 1832,3 тис. м³/добу. Основна їх частина приурочена до заплавної частини долини р. Сіверський Донець та її правобережних приток р. Лугані, Вільхова, Біла, Луганчик, де водоносний горизонт має двошарову будову внаслідок перекриття високопроникної тріщинуватої зони крейдових порід водоносними пісками алювіальних відкладів. У зв'язку з цим основна ресурсна складова крейдяного горизонту пов'язана з поверхневими водами, що періодично (у паводок) обводняють алювіальні відклади [6].

Розвідані експлуатаційні запаси підземних вод у кількості 1409,3 тис. м³/добу оцінено на 43 ділянках родовищ, з яких 39 експлуатується з водовідбором 755,7 тис. м³/добу. Освоєння розвіданих експлуатаційних запасів є одним із найвищих в Україні і становить близько 54%. Попередньо розвідані експлуатаційні запаси у кількості 48,9 тис. м³/добу оцінено на 4 ділянках родовищ, з яких 2 експлуатуються з водовідбором 21,3 тис. м³/добу, тобто використання їх становить лише 43%.

У цілому прогнозні ресурси підземних вод крейдяного водоносного горизонту характеризуються досить високою розвіданістю (79%) і низьким використанням (42%).

Модуль прогнозних ресурсів підземних вод крейдяного водоносного горизонту змінюється від 0,01 до 0,71 тис. м³/добу з км². Максимальні значення цього показника приурочені до долин р. Сіверський Донець та Лугань.

На водозаборах правобережних приток р. Сіверський Донець якість підземних вод, що відбираються, продовжує погіршуватися. Спостерігається зростання мінералізації з інтенсивністю 40–60 мг/рік та загальною жорсткістю 0,6–1,4 мг екв/рік [4].

В даний час по 15 водозаборах централізованого господарсько-питного водопостачання, що працювали до 2014 року з сумарною продуктивністю 271,4 тис. м³/добу (близько 35% від загального водовідбору з розвіданих запасів) мінералізація вод, що відбираються перевищує 1,5 г/дм³, а це не відповідає вимогам ДержСанПін 2.2.4-171-10 [1].

Варто зазначити, що до 38-43% розвіданих запасів підземних вод некондиційні за якісним складом (підвищена мінералізація та жорсткість), що пов'язано зі скиданням великої кількості мінералізованих шахтних вод у річкову мережу. При цьому поверхневі води є одним із основних джерел формування ресурсів підземних вод та визначають їх якісні та кількісні характеристики.

Водоносний комплекс кам'яновугільних відкладів розвинений по всій території вуглепромислової частини області (рис. 1). Сумарні прогнози ресурсів підземних вод становлять 1311,2 тис. м³/добу. Розвідані експлуатаційні запаси підземних вод оцінено по семи ділянках родовищ у кількості 34,5 тис. м³/добу. За описуваний період експлуатувалося 5 водозаборів із сумарною продуктивністю 41,2 тис. м³/добу, тобто водовідбір на 20% перевищував розвідані запаси.

Попередньо розвідані експлуатаційні запаси у кількості 71,1 тис. м³/добу оцінено на 55 ділянках родовищ. При цьому освоєно 23 ділянки, водовідбір на яких становить 16,5 тис. м³/добу. У цілому розвіданість прогнозних ресурсів становить трохи менше 10%, а використання експлуатаційних запасів близько 55% [4].

Модуль прогнозних ресурсів водоносного комплексу кам'яновугільних відкладів змінюється від 0,09 до 0,58 тис. м³/добу з км². Максимальні значення цього показника характерні для східних та західних районів на території Луганської області.

Водоносний горизонт кам'яновугільних відкладів приурочений до тріщинуватої зони кори вивітрювання часто потрапляє в зону впливу шахтного водовідливу, у зв'язку з чим водовідбір носить тимчасовий характер.

В результаті для господарсько-питних потреб використовувалися підземні води з мінералізацією від 1,0 до 1,5 г/дм³, меншою мірою використовувалася вода з мінералізацією 1,5–3,0 г/дм³ [4]. Зміни якості підземних вод мають регіональний характер і зумовлені в основному впливом скидання шахтних вод у річ-

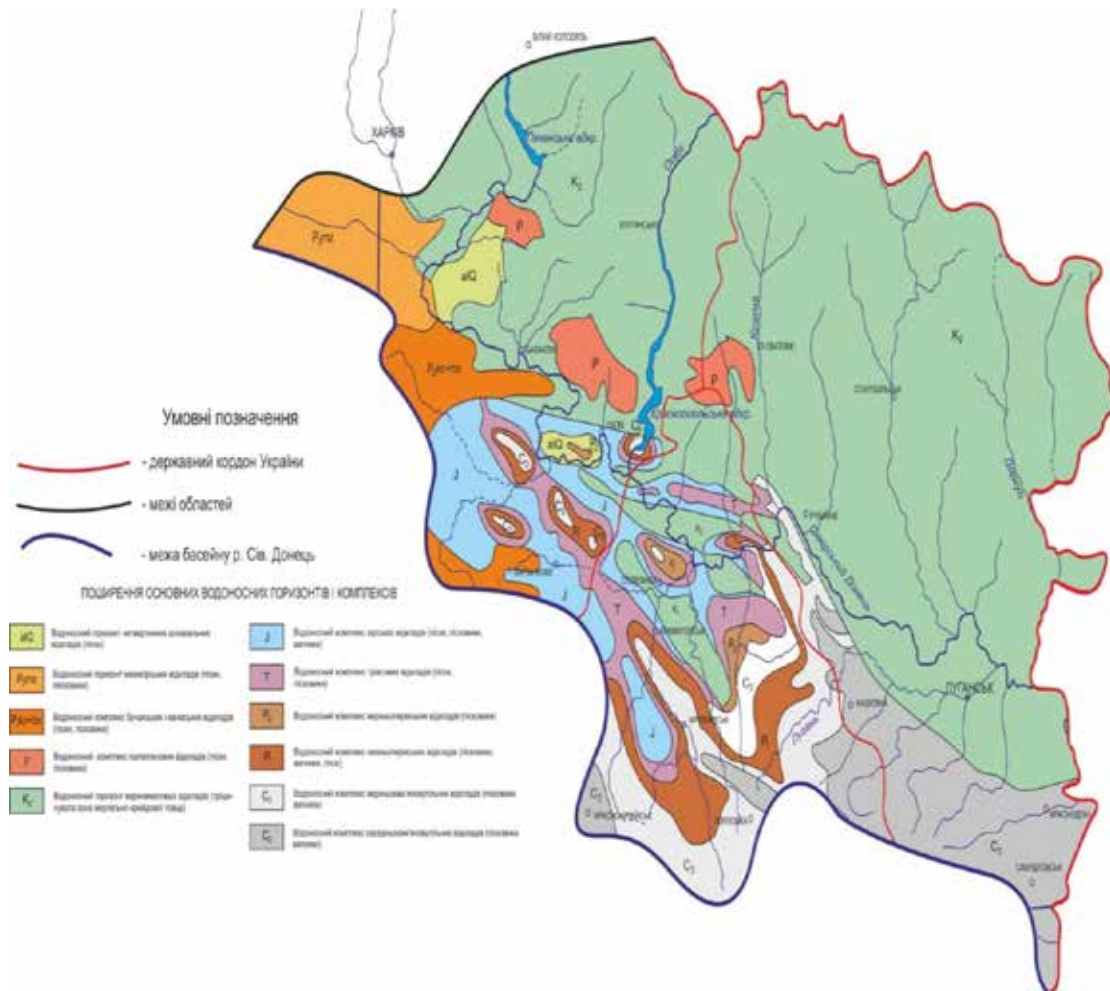


Рис. 1. Гідрогеологічна карта території досліджень (побудовано за матеріалами ГРГП «Схід»)

кову мережу, що викликало зростання мінералізації поверхневих вод та підтягування некондиційних вод до діючих водозаборів.

У зв'язку зі значною складністю та динамічністю змін захисної спроможності геологічного середовища ГПР Луганської області, для регіональної оцінки ступеня та масштабів зміни гідрогеологічних умов, що визначають спрямованість розвитку екологічних наслідків зупинки шахт, а також для попереднього регіонального прогнозу можливого забруднення водоносних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання (прогноз шкоди прогнозним ресурсам та експлуатаційним запасам підземних вод), нами використано метод оцінки вразливості підземних вод, який є комплексною оцінкою ризику погіршення якості підземних вод.

Прийнята схема оцінки вразливості підземних вод на території досліджень базується на варіативній оцінці тієї чи іншої суми факторів, що впливають на погіршення якості, зміну умов формування та зниження екологічних показників стану та використання ресурсів підземних вод. Загалом система оцінки вразливості підземних вод базується на використанні GIS-технологій та створенні баз даних, що характеризують параметри різних груп факторів у вигляді сукупності таблиць.

Комплексна оцінка дії природних та техногенних факторів дозволила виділити наступну градацію вразливості:

- незначна природно-техногенна вразливість підземних вод;
- підвищена природно-техногенна вразливість підземних вод;
- висока природно-техногенна вразливість підземних вод.

Слід зазначити, що останні приурочені, переважно, до зон гірничих робіт та до супутніх їм зон гірничо-міських агломерацій.

Встановлено, що рух підземних вод у структурі геологічного середовища та їх взаємозв'язок з поверхневими водними об'єктами (фільтраційний або гідравлічний при підробітку гірничими виробками) зумовили значне перевищення площ депресійних ліжок підземних вод над розмірами гірських об'єктів (у десятки разів) [7; 8]. У свою чергу, це призведе до кількісної переоцінки стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод у межах ГПР.

Важливість проблеми достовірного прогнозу змін еколого-гідрогеологічних параметрів прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод обумовлена тим, що перспективи та стійкість подаль-

шого розвитку ГПР значною мірою залежать від сталої роботи господарсько-питних водозаборів та їхньої екологічної безпеки.

Складна взаємодія гідравлічно та фільтраційно зв'язаних шахт, водозаборів, поверхневих водних об'єктів, техногенно змінених зон геологічного середовища (проммайданчики, терикони, майданчики промислових та побутових відходів та ін.) визначає важливість випереджальних оцінок змін екологічних параметрів прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод, а також розробку та реалізацію захисних заходів [5]. Використання методу оцінки вразливості підземних вод дозволяє суттєво підвищити комплексність та достовірність еколого-гідрогеологічних прогнозів у процесі відновлення ГПР Донбасу у межах Луганської області та інших регіонів. Багато в чому це пов'язано з використанням методу з можливістю обліку:

- комплексної дії природних та техногенних факторів;
- поєднання кількісних та якісних оцінок критеріїв, що враховуються;
- можливість використання різних ГІС-технологій, зокрема графоаналітичних, статистичних та інших оцінок та розрахунків.

Згідно з прогнозою оцінкою забруднення водонесних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання:

1) загальна величина збитків прогнозним ресурсам підземних вод у межах вуглепромислової зони Луганської області внаслідок впливу закритих шахт становить близько 327,29 тис. м³/добу, у т. ч. по кам'яновугільному водонасному горизонту 291,75 тис. м³/добу (близько 89%) та водонасному горизонту крейдяних відкладів 35,54 тис. м³/добу;

2) загальна площа зон локального прояву збитків прогнозним ресурсам підземних вод закритих шахт становить 1863 км² (близько 19% території вуглепромислової частини області) при сумарній площі шахтних полів близько 550 км², тобто площі розвитку збитків майже в 3,5 рази перевищують розміри шахтних полів;

3) величину шкоди прогнозним ресурсам підземних вод до 5,0 тис. м³/добу формують 13 одиничних та групових шахтних полів (46%) від закритих шахт та шахт, що закриваються; від 5,0 до 20 тис. м³/добу – 11 одиничних та групових шахтних полів (39%); понад 20 тис. м³/добу – 4 групових шахтних поля (14 %);

4) вплив ліквідованих та зупинених шахт на шкоду прогнозним ресурсам підземних вод становитиме: для крейдяного водонасного горизонту – 5,0%; для водонасного комплексу кам'яновугільних відкладів – 32,2%;

5) у зону прямого впливу закритих шахт потрапляє ряд водозаборів із затвердженими експлуатаційними запасами підземних вод (Рівненський-2, Волнухінський, Краснодарський, Свердловський-2, Свердловський-4, Антрацитівський-7, що експлуатують кам'яновугільний водонасний горизонт та Володинський – крейдяний водонасний горизонт), зі збитками 6,61 тис.м³/добу (близько 10% від їх загальної кількості) по водонасному комплексу кам'яновугільних відкладів та 18,9 тис. м³/до-

бу (близько 1% від загальної кількості) – по крейдяному водонасному горизонту;

6) кількість водозаборів, на які може поширитися опосередкований вплив (вплив закриття шахт за рахунок транспорту забруднених підземних вод, що розвантажуються, поверхневим стоком у зону місцевого формування експлуатаційних запасів) становить більше 20;

7) при цьому збитки експлуатаційним запасам підземних вод по водонасному горизонту крейдяних відкладів складе 442,37 тис. м³/добу (близько 31% від їх загальної величини) та 2,58 тис.м³/добу (близько 4% від їх загальної величини) – по водонасному горизонту кам'яновугільних відкладів.

Виконані експертні оцінки мають регіональний попередній характер. Більш детальне рішення завдання може бути виконане на основі картографічних та математичних моделей на локальному та об'єктовому рівнях.

Висновки. В статті виконано аналіз геолого-гідрогеологічних умов та ступеня техногенного навантаження на геологічне середовище території досліджень. Переконаливо доведено, що з комплексу факторів, які впливають на вразливість якісного складу підземних вод найбільш значущими є:

– гідравлічні потоки, які формуються у гірничих виробках та сприяють латеральній міграції високомінералізованих шахтних вод карбону;

– зона тріщинуватості, яка обрамляє тектонічні порушення і безпосередньо впливає на висхідну міграцію мінералізованих вод глибоких горизонтів та включенню їх у латеральні потоки в зонах впливу гірничих робіт;

– прояв деформаційних процесів у масивах порушених порід активізує відтискання вод з підвищеною мінералізацією та насичує їх небезпечними компонентами, що в свою чергу, гарантує появу цих вод в зоні активного водообміну;

– цей фактор є похідною перших трьох виділених факторів, а саме динамічне зниження захищеності прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод від забруднення високомінералізованими водами карбону та обов'язковим підтопленням ними денної поверхні.

З урахуванням отриманих даних можна зробити висновки щодо можливості використання прийнятого методу оцінки вразливості підземних вод для великомасштабних (районних або для окремих частин ГПР) та об'єктових оцінок прогнозних змін еколого-гідрогеологічних умов, включаючи збитки прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод, обґрунтування напрямів захисних заходів та ін.

Виходячи з отриманих результатів попереднього регіонального прогнозу, для попередження впливу закриття шахт на водонасний горизонт, що використовуються для питного водопостачання, вважаємо за необхідне проведення подальших досліджень щодо:

– уточнення та конкретизації переліку водозаборів, що потрапляють до зони прямого впливу закриття шахт;

– уточнення та конкретизації переліку водозаборів, що потрапляють до зони опосередкованого впливу закриття шахт (за рахунок забруднення річковими водами);

– визначення величини (оцінка) шкоди прогнозними ресурсам підземних вод від прямого та опосередкованого впливу закриття кожної конкретної шахти чи групи шахт на конкретних водозаборах;

– визначення величини (оцінка) шкоди експлуатаційним запасам підземних вод від прямого та опосередкованого впливу закриття шахт за конкретними водозаборами.

Література:

1. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). К., 2010.
2. Міхалкова Н., Кононенко А., Удалов І. Аналіз впливу техногенних об'єктів Лисичансько-Рубіжанського промвузла на екологічний стан навколишнього природного середовища. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. № 56. С. 225–239.
3. Міхалкова Н. В., Удалов І. В. Геологічні фактори формування хімічного складу підземних вод північно-східних окраїн Донбасу. *Гідрогеологія: наука, освіта, практика: збірник наукових праць. Вип. 2. / Відповідальний за випуск І. В. Удалов. Х.: Стиль-Издат, 2020, С. 62–65.*
4. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 р. Мінрегіонрозвитку України, Київ, 2023, 664 с.
5. Удалов І. В., Кононенко А. В. Вплив техногенних факторів на еколого-гідрогеологічні характеристики крейдових водозаборів Північно-Східного Донбасу. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2016. № 45. С. 177–183.
6. Удалов І. В., Кононенко А. В. Основні передумови зниження якості питних підземних вод крейдових водозаборів Східної України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2016. № 44. С. 63–70.
7. Удалов І. В. Трансформація геологічного середовища під впливом техногенних процесів в умовах Північно-Східного Донбасу: монографія. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016, 176 с.
8. Яковлев Є., Удалов І. Потенційні фактори регіонального розвитку небезпечних геофільтраційних процесів водокористування у басейнах підземних вод України. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2024. № 60. С. 109–123.

References:

1. Derzhavni sanitarni normy ta pravyla «Hiiienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu» (DSanPiN 2.2.4-171-10) [State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" (SSanPiR 2.2.4-171-10)]. K., 2010. [in Ukrainian]
2. Mikhalkova, N., Kononenko, A., Udalov, I. (2022). Analiz vplyvu tekhnohennykh ob'ektiv Lysychansko-Rubizhanskoho promvuzla na ekolohichnyi stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha [Analysis of the impact of man-made facilities of the Lysychansk-Rubizhany industrial complex on the ecological state of the natural environment]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* – *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 56, 225–239. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-17> [in Ukrainian]
3. Mikhalkova, N. V., Udalov, I. V. (2020). Heolohichni faktory formuvannia khimichnoho skladu pidzemnykh vod pivnichno-skhidnykh okrain Donbasu [Geological factors of formation of chemical composition of groundwater of the north-eastern outskirts of Donbas]. *Hidroheolohiia: nauka, osvita, praktyka: zbirnyk naukovykh prats. Vyp. 2. Vidpovidalnyi za vypusk I. V. Udalov – Kh.: Styl-Yzdat, 62–65.* [in Ukrainian]
4. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytnoho vodopostachannia ta vodovidvedennia v Ukraini u 2022 r. [National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply and wastewater disposal in Ukraine in 2022.] *Minrehionrozvytku Ukrainy, Kyiv, 2023, 664 s.* [in Ukrainian]
5. Udalov, I. V., Kononenko, A. V. (2016). Vplyv tekhnohennykh faktoriv na ekoloho-hidroheolohichni kharakterystyky kreidovykh vodozaboriv Pivnichno-Skhidnoho Donbasu [The influence of technogenic factors on the ecological and hydrogeological characteristics of chalk water intakes of the North-Eastern Donbass]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* – *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 45, 177–183. [in Ukrainian]
6. Udalov, I. V., Kononenko, A. V. (2016). Osnovni peredumovi znizhennia yakosti pitnih pidzemnih vod kreidyanih vodozaboriv Shidnoyi Ukraini [The main prerequisites decline of the quality of drinking groundwater in the Cretaceous water intakes of the Eastern Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»* – *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, 44, 63–71. [in Ukrainian]
7. Udalov, I. V. (2016). Transformatsiya geologicheskoy sredy pod vlianiem tehnogennykh protsessov v usloviyah Severo-Vostochnogo Donbassa: monografiya [The transformation of the geological environment under the influence of technological processes in the North-Eastern Donbass: monograph]. *Kharkiv, V.N. Karazin Kharkiv National University, 176.* [in Ukrainian]
8. Yakovlev, Ye., Udalov, I. (2024). Potentsiini faktory rehionalnoho rozvytku nebezpechnykh heofiltratsiinykh protsesiv vodokorystuvannia u baseinakh pidzemnykh vod Ukrainy [Potential factors of regional development of hazardous geofiltration processes of water use in groundwater basins of Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazina. Seriiia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia»*, 60, 109–123. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-60-08> [in Ukrainian]