

УДК 628.3:550.8

Іванчук Н.В.¹, к.т.н., доц., доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики, Деревягіна Н.І.², к.т.н., доц., завідувачка кафедри гідрогеології та інженерної геології

(¹Національний університет водного господарства та природокористування, м.Рівне, ²Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОЛОГІЧНИХ ФОРМАЦІЙ ДЛЯ ІЗОЛЯЦІЇ СТІЧНИХ ВОД В УКРАЇНІ

Релокація та локальне зростання промислового виробництва, інтенсифікація сільського господарства та розширення урбанізованих територій зумовлюють постійне збільшення обсягів стічних вод. Одним з ефективних підходів до їх безпечної утилізації є використання геологічних структур як природних сховищ. Такий метод ґрунтується на бар'єрних властивостях гірських порід і передбачає тривале зберігання відходів у глибоких водоносних горизонтах, масивах соляних куполів та інших стійких до руйнування формаціях.

Основні вимоги до таких об'єктів включають герметичність, стабільність та віддаленість від діючих джерел водопостачання. Є приклади використання відпрацьованих газових родовищ Передкарпатського прогину для закачування високомінералізованих вод, різних районів Донбасу та Криворізького залізорудного басейну (відпрацьовані шахти та кар'єри залучаються для відведення та зберігання високомінералізованих шахтних і дренажних вод).

В першу чергу, саме гідрогеологічні фактори визначають надійність сховища, враховуючи глибину залягання та фільтраційні властивості порід. Стабільність середовища гарантують фізико-хімічні характеристики порід, так глинисті товщі та кам'яна сіль придатні до поховання більшості агресивних реагентів, тоді як у карбонатних породах із розвитком карсту існує підвищений ризик утворення порожнин і порушення герметичності.

Важливим аспектом є й сейсмічна безпека: активні розломи та зони тектонічних напружень виключають можливість довготривалого зберігання стічних вод, оскільки навіть незначні геодинамічні зміни можуть спровокувати втрату герметичності. Крім того, об'єкти повинні бути віддаленими від населених пунктів, річкових систем та охоронних територій.

Моніторинг процесу захоронення є невід'ємною складовою безпечної експлуатації підземних сховищ. Він включає регулярний контроль тиску у нагнітальних свердловинах, хімічного складу підземних і поверхневих вод, стану порід-колекторів і покрівлі, а також спостереження за сейсмічною активністю регіону. Сучасні технології дозволяють застосовувати автоматизовані системи збору даних, дистанційний моніторинг та моделювання міграції розчинів у надрах. обов'язковим є створення мережі спостережних свердловин, які забезпечують своєчасне виявлення можливих витоків або змін у гідродинамічному режимі. Додатково застосовуються геофізичні методи (наприклад, електророзвідка, сейсморозвідка), що дають змогу відстежувати зміни у структурі порід у процесі експлуатації.

Технічна реалізація передбачає можливість облаштування свердловин, спорудження систем моніторингу й проведення регулярного контролю за станом сховищ. Наприклад, у Причорноморському регіоні вже існують спеціально створені сховища у тріщинуватих і частково закарстованих породах, проте їхня експлуатація потребує ретельного спостереження та постійної оцінки ризиків.

Загалом, стічні води України формуються під впливом промисловості, урбанізації та техногенного навантаження, тому їх склад є багатокомпонентним і відрізняється за

регіонами. Класифіковані як побутові, виробничі та зливові, стічні води відрізняються за хімічними, фізичними та мікробіологічними характеристиками. Наприклад, побутові стічні води характеризуються високим вмістом органічних речовин, амонійного азоту, нітратів, фосфатів, поверхнево-активних речовин та мікробіологічних показників, і у великих містах, таких як Київ, Дніпро, Харків, Одеса, саме вони складають основне навантаження на очисні споруди. Промислові стічні води мають найбільшу варіативність складу й визначаються профілем виробництва (наприклад, високі концентрації завислих речовин, заліза, марганцю, цинку, міді, нафтопродуктів, солей, токсичних органічних речовин, фенолів, аміаку, тощо).

Зливові стічні води, в основному, містять завислі частинки, важкі метали, вуглеводні, і вони є важливим джерелом забруднення поверхневих водотоків у тому ж Києві, Львові, Дніпрі та Одесі.

Загальною національною тенденцією є зростання мінералізації стічних вод та підвищення концентрацій хлоридів і сульфатів, особливо в басейнах Дніпра та Сіверського Дінця, що пов'язано діяльністю гірничовидобувних та переробних підприємств. Крім вищеописаних «традиційних» забруднювачів, у стічних водах великих міст України дедалі частіше реєструються «emerging contaminants», тобто фармацевтичні препарати, гормони, ПАР тощо, що також ускладнює технології очищення. Склад стічних вод України визначається поєднанням класичних техногенних факторів, результатів військових дій та сучасних хімічних речовин, що потребує впровадження адаптивних та інтегрованих систем очистки, або освоєння альтернативних методів. У міжнародній практиці підземне захоронення розглядається як ефективна технологія для подібних відходів із високою мінералізацією, підвищеним умістом сульфатів, хлоридів, важких металів тощо, тобто саме таких, що характерні для багатьох вітчизняних промислових стоків. Одним з варіантів може бути синтез підземного захоронення з класичними схемами очистки у регіонах із високим техногенним навантаженням, забезпечуючи зниження ризиків для поверхневих і підземних вод, а також сприяючи формуванню інтегрованої моделі управління стічними водами. Переваги геологічних структур для захоронення полягають у довготривалій стабільності та ефективній ізоляції забруднених вод, проте основні виклики зводяться до правильного вибору об'єкта, організації системи моніторингу і високої вартості облаштування. Для підвищення надійності цього методу в Україні необхідні подальші наукові дослідження, спрямовані на моделювання герметичності порід, оцінку сейсмічної стійкості та удосконалення технологій довготривалого моніторингу.

Перелік посилань

1. Shcherbakov, I., Bryleva, K., Strawbridge, R., Nikolajeva, M., Matkovska, N., Kravec, V., Ougrin, D., & Young, A. H. (2025). *Poor quality of sewage water in Ukraine: a priority in post-war rebuilding*. Scientific Reports, 15, 23296.
2. Но К.Т., Konovets I.M., Terletskaia A.V. et al. (2020). Contaminants, mutagenicity and toxicity in the surface waters of Kyiv, Ukraine. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111153.