

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:[553:546.296(477.42)]

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.109.11>

Сергій ШАРИКОВ, асп.
ORCID ID: 0009-0009-2847-2820
e-mail: s.sharikov@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Дмитро ЧОМКО, канд. геол. наук, доц.
ORCID ID: 0000-0001-8454-5531
e-mail: chomko@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МІНЕРАЛЬНИХ РАДОНОВИХ ВОД У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.Є. Кошляковим)

Вступ. Перспективи збільшення мінерально-сировинної бази України є однією з основних стратегій розвитку нашої країни як сьогодні, так і в повоєнний період.

Питання збільшення кількості загальних затверджених запасів мінеральних радонових вод за рахунок відкриття нових родовищ, сьогодні, через високу вартість, практично не розглядається. Проте детальний аналіз з метою можливого збільшення експлуатаційних запасів на базі вже розвіданих родовищ – є досить перспективним.

Дана робота підпадає під одну із складових плану досягнення спільного кращого майбутнього, ухваленого членами Організації Об'єднаних Націй у 2015 р. (17 цілей сталого розвитку). Матеріал, викладений у статті, відноситься до 3 пункту, а саме – Забезпечення здорового способу життя та сприяння благополуччю для всіх у будь-якому віці.

Радонові мінеральні води є бальнеологічними підземними водами, що мають лікувальні властивості при внутрішньому чи зовнішньому застосуванні. Важливим фактором під час експлуатації таких підземних вод є їх відповідність кондиціям, тобто встановленим гранично допустимим концентраціям (далі – ГДК), які є чинними на сьогодні.

В різні періоди часу в межах Вінницької області проводились різні стадії розвідки родовищ мінеральних радонових вод – від пошукових робіт до детальної розвідки. Тому детальний аналіз дієвих родовищ, оцінка перспектив їх розширення чи збільшення експлуатаційних запасів, визначення ресурсного потенціалу установ, які спеціалізуються на видобутку радонових підземних вод є, на думку авторів, важливим завданням.

Методи. Дане дослідження проведено на підставі детального аналізу фондових матеріалів та порівняння фактичних результатів вмісту радонових мінеральних вод різних родовищ у межах Вінницької області.

Результати. Завдяки проведеним дослідженням встановлено, що в межах Курортної ділянки, яка розташована в м. Немирів, є потенціал до збільшення експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод. Дане твердження базується на аналізі даних попередньої (1985 р.) та детальної (2004 р.) розвідки.

Висновки. Дослідження показали, що збільшення експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод можливе за рахунок недіючої (на сьогодні) експлуатаційної свердловини № 6-Р. Під час детальної оцінки експлуатаційних запасів свердловину виключили з підрахунку запасів через перевищення вмісту нітратів ($>65 \text{ мг/дм}^3$) згідно з Галузевим стандартом України (ГСТУ) 42.10-02-96 "Води мінеральні лікувальні. Технічні умови". Проте підвищений вміст нітратів, напевно, не є результатом забруднення цільового водоносного горизонту, а є швидше наслідком радіолізу води. Більш детальні дослідження цієї проблеми могли б привести до удосконалення чинних нормативних вимог до мінеральних вод, які використовуються саме для зовнішнього застосування.

Ключові слова: радон, мінеральні радонові підземні води, родовище, запаси, якість підземних вод.

Вступ

За роки незалежності в межах Вінницької області, станом на 01.01.2025 р. розвідано кілька родовищ радонових мінеральних вод, де підтверджено параметри постійних кондицій і води відповідають сучасним нормативним документам. Нижче наведено короткий аналіз цих родовищ.

1. В. Погонина "Предварительная разведка минеральных радоновых вод на Угриновском участке Хмельникского месторождения за 1990–1993 гг. (Хмельникский р-н Винницкой области)." Київ 1994 р.

2. М. Мілюхін, А. Шеремета "Звіт про результати детальної розвідки з підрахунку запасів експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод Немирівського родовища (санаторій "Авангард") Вінницької області, проведеної в 1997–2002 р.р." 2005 р.

3. П. Ляшенко "Геолого-економічна оцінка Острівної ділянки Хмельницького родовища мінеральних радонових вод, 2005–2007 р.р." 2005 р.

4. І. Шум "Геолого-економічна переоцінка експлуатаційних запасів підземних мінеральних радонових вод Голодківської ділянки (св. №№ 1981-1, 1983) та ділянки Курортна (св. №№ 5-рк, 8-рк, 18-рк) Хмельницького родовища у м. Хмельник Вінницької області".

Слід зазначити, що на сьогодні в межах України діє ГСТУ 42.10-02-96 "Води мінеральні лікувальні. Технічні умови". До прийняття цього документу вміст радону вимірювався у нКи/дм^3 , вже після 1996 р. – у Бк/дм^3 . Згідно із цим ГСТУ мінеральними радоновими водами вважаються ті, які мають вміст радону, вищий за 185 Бк/дм^3 .

Мета. Перспективи збільшення мінерально-сировинної бази країни в післявоєнний період є однією із ключових стратегій розвитку економіки та соціальної інфраструктури України. Так, мінеральні радонові води, що мають унікальні лікувальні властивості, можуть посісти одне з ключових місць у реабілітації військових та цивільного населення, розвитку курортної сфери та впровадження бальнеологічного медичного туризму.

Протягом ХХ–ХХІ ст. на території Вінницької області проводились пошукові геологорозвідувальні дослідження з виявлення та вивчення мінеральних радонових вод. Проте ці дослідження та чинна нормативно-правова база України не враховують сучасних критеріїв оцінки якості підземних вод та перспектив подальшого використання таких вод власне для зовнішнього застосування. Так, одним з важливих, але недостатньо вивчених залишається питання формування та трансформації хімічного складу радонових вод у процесі експлуатації, вплив

© Шаріков Сергій, Чомко Дмитро, 2025

природних та антропогенних чинників на зміну якісних показників і, як наслідок, збільшення ресурсного потенціалу дієвих родовищ із можливістю їх розширення.

Тож вивчення питань системного аналізу стану, потенціалу та динаміки мінеральних радонових вод Вінницької області як частини Північно-Західного регіону Українського кристалічного щита з метою збереження, збільшення та безпечного використання є актуальною проблемою.

Огляд літератури. У статті, опублікованій в "International Journal of Environmental Analytical Chemistry" (Seid, Turhan, Bakir, & Kurnaz, 2023), аналізуються комплексні хімічні аналізи проб бутильованої води на вміст радону. Загалом було проаналізовано 49 зразків мінеральної бутильованої води від 22 брендів, які продаються в Туреччині. Встановлено, що вміст радону в цих пробах коливається в межах 30,6–57,6 мБк/дм³, із середнім значенням 43,1±6,1 мБк/дм³.

Додатково проводились вимірювання показників рН, солоності та загальної кількості розчинених твердих речовин. За результатами цього дослідження встановлено, що всі отримані значення – у межах рекомендованих норм Всесвітньої організації охорони здоров'я та Європейського Союзу для питної води, і бутильована вода, що досліджувалась, не становить ризику для життя та здоров'я населення.

Комплексні дослідження щодо режимних спостережень за вмістом радону у питних водах проводять і в Україні. Так, у статті Бузинного та Михайлової (2022) представлено результати моніторингових досліджень за 20-річний період щодо концентрації радону-222 у питній воді України за період з 2003 по 2021 р. Загалом проаналізовано 1228 зразків води із свердловин у 23 областях України. У результаті цих досліджень встановлено, що в 11 % зразків вміст радону-222 перевищує встановлену державну та європейську норму для питної води, яка становить 100 Бк/дм³.

Найвищі концентрації вмісту радону-222 виявлено в регіонах, розташованих на Українському кристалічному щиті, зокрема в Київській, Житомирській, Черкаській та Вінницькій областях. Слід відзначити, що саме в цих областях розташовані найбільш відомі родовища мінеральних радонових вод.

Автори статті наголошують на необхідності детального вивчення радіоактивності підземних вод у цих регіонах та впровадження заходів для покращення радіаційної безпеки питної води. Також підкреслюється важливість розширення моніторингу на інші недосліджені (малодосліджені) джерела водопостачання для мінімізації радіаційного впливу на населення.

У статті Нікіпелової, Кисилевської та Солодової (2010) наведено аналіз сучасного стану нормативно-правової бази України щодо мінеральних вод та запропоновано шляхи її вдосконалення. Особливу увагу автори приділили саме розробці гігієнічних норм і нормативів, які б відповідали міжнародним та європейським стандартам з урахуванням національних особливостей.

Автори зазначають, що на сьогодні в Україні діють стандарти Державний стандарт України (ДСТУ) 878-93 "Води мінеральні питні. Технічні умови" та ГСТУ 42.10-02-96 "Води мінеральні лікувальні. Технічні умови", які регулювали вимоги до фасованих мінеральних вод та лікувальних вод, що використовуються в санаторно-курортній практиці при зовнішньому застосуванні відповідно. Однак ці стандарти потребують оновлення відповідно до міжнародних вимог.

Відзначається, що першим кроком у вирішенні цього питання має бути розробка та затвердження гігієнічних

нормативів, які визначають параметри безпечності та якості мінеральних вод. Такі нормативи мають стати основою для створення нових санітарно-гігієнічних вимог до мінеральних вод та підприємств, що займаються їх виробництвом, фасуванням, використанням у лікувальних цілях при внутрішньому та зовнішньому застосуванні. Розробка таких нормативів сприятиме підвищенню надійності оцінки потенційних ризиків для здоров'я населення та забезпеченню відповідності українських стандартів до міжнародних.

Автори статті також порушують питання щодо впровадження нових редакцій національних стандартів на лікувальні води, що будуть враховувати в сучасні наукові досягнення та практичний досвід. Це дозволить забезпечити високий рівень контролю якості та безпечності мінеральних вод, що використовуються.

У висновках автори звіту відзначають про необхідність проведення реформ щодо вдосконалення нормативно-правової бази України у сфері мінеральних вод, що є важливим кроком для інтеграції вітчизняних стандартів до міжнародного правового поля та забезпечення високої якості та безпечності мінеральних вод для споживачів.

Результати

Згідно з ГСТУ 42.10-02-96 "Води мінеральні лікувальні. Технічні умови" ГДК токсичних компонентів лікувальних мінеральних вод щодо концентрації вмісту нітратів (по NO₃⁻) має бути не більш як 50 мг/дм³. Проте дане твердження базувалось на забрудненні цільових водоносних горизонтів під впливом сільськогосподарської діяльності, побутових стічних вод, відходів тваринництва – тобто має місце явний виражений антропогенний вплив на підземні води. Так, під час детальної розвідки Острівної ділянки Хмільницького родовища мінеральних радонових вод було зафіксовано підвищений вміст нітратів до 150 мг/дм³.

Проте антропогенний фактор для родовищ мінеральних радонових вод не є базовим. На родовищах мінеральних радонових вод може відбуватися деяка метаморфізація хімічного складу слабомінералізованих гідрокарбонатних кальцієвих вод, а також розчинених у воді газів завдяки продуктам радіолізу води.

Розчинені у воді гази під впливом випромінювання переходять у зв'язаний стан, наприклад інертний азот перетворюється на амонійний, нітритний та нітратний іони. Радіоліз підземних вод, зумовлений виділенням енергії в радіаційному полі землі, викликає генерування кисню та утворення водню. У таких випадках підвищений вміст нітратів у воді не може бути показником їх забруднення.

Тож приведення нормативною бази до єдиного значення або внесення певних критеріїв саме для родовищ мінеральних радонових вод є одним із невирішених питань сьогодення.

Протягом 1997–2002 рр. проводили детальну розвідку ділянки "Курортна" Немирівського родовища (свердловини № 5, 10-Р) мінеральних радонових вод для зовнішнього лікування у Немирівському районі Вінницької області (Мілюхін, & Шеремета, 2005).

Ділянка "Курортна" Немирівського родовища, власником якого є Закрите акціонерне товариство "Укрпрофоздоровниця" (далі ЗАТ "Укрпрофоздоровниця") розташоване на південно-східній околиці м. Немирів Вінницької області, у парковій зоні санаторію "Авангард", на лівому березі р. Устя. Згідно з дозволом на користування надрами (ліцензією – на момент оцінки), родовище розкрито двома свердловинами: № 5, 10-Р.

Слід зауважити, що на розгляд Державної комісії України по запасам корисних копалин (ДКЗ) подавалися експлуатаційні запаси також і по свердловині № 6-Р.

Проте, зважаючи на підвищений вміст нітратів ($>65 \text{ мг/дм}^3$), їх виключено з підрахунку запасів.

Загалом у межах родовища пробурено та досліджено ще свердловини, зокрема № 6-Р, які в процесі попередньої та детальної розвідки виявились або малодебітними або некондиційними відповідно до чинного законодавства.

Методика проведення робіт.

Згідно з технічним завданням та відповідно до стадійності проведення геологорозвідувальних робіт виконано такий комплекс робіт на родовищі:

1. Вивчення, збір і аналіз фондових матеріалів.

Даний вид робіт є дуже важливим. Фактично будь-яка геолого-економічна оцінка починається з вивчення фондових матеріалів. Автори проаналізували два звіти: щодо попередньої розвідки та пошуку мінеральних радових вод у межах родовища.

Додатково були зібрано фактичні дані, що стосуються режимних спостережень (дані статичних і динамічних рівнів, загальний водовідбір по родовищу), та всі наявні хімічні аналізи проб води з експлуатаційних свердловин № 5, 10-Р та інших свердловин родовища, які не увійшли до підрахунку запасів.

2. Санітарно-гідрогеологічне та екологічне обстеження району родовища.

В період проведення польових робіт у 1997–2002 рр. виконано обстеження району родовища, а саме в межах II та III зон санітарної охорони. Встановлено, що гідрогеологічна ситуація експлуатаційних свердловин № 5, 10-Р загалом позитивна.

3. Комплекс режимних спостережень.

На час проведення геолого-економічної оцінки спостереження за режимом підземних вод на родовищі велись постійно (заміри статичних та динамічних рівнів, контроль за водовідбором). Додатково відбирались хімічні аналізи проб води на різні компоненти, а особливо на радон. Загалом на постійній основі виконувався такий комплекс досліджень:

- заміри рівнів по всіх водозабірних свердловинах, які перебувають на балансі санаторію "Авангард" (мінеральні радонові та господарсько-питні потреби);
- заміри дебітів свердловин;
- контроль за загальним водовідбором по родовищу;
- відбір проб води на скорочений/повний хімічний аналіз, визначення мікробіологічних досліджень, визначення вмісту радону;

4. Проведення дослідних відкачок.

Дослідні роботи на родовищі проводили у два етапи: перший – 1997–1998 рр. – дослідні польові гідрогеологічні роботи; 1999 р. – перше півріччя 2000 р. – камеральні роботи; другий – 2000–2001 рр. – дослідні польові гідрогеологічні роботи; 2002 р. – камеральні роботи.

На першому етапі провели дослідні відкачки тривалістю по 15 діб кожна як з експлуатаційних свердловин № 5, 10-Р, так і зі свердловин, які використовуються як господарсько-питні.

На другому етапі провели вже дослідно-експлуатаційну відкачку по свердловинах № 5, 10-Р із водовідбором, що відповідала перспективній потребі надрокористувача.

Дослідна відкачка із свердловини № 10-Р проводилась в цілодобовому режимі з дебітом $120 \text{ м}^3/\text{д}$ ($5 \text{ м}^3/\text{год}$) і тривала 20 діб. Статичний рівень сягав 15,5 м, за зазначеного дебіту зниження рівня становило 14,0 м.

По свердловині № 5 проводили дві відкачки. Дослідна відкачка із свердловини № 5 відбувалась у цілодобовому режимі з дебітом $120 \text{ м}^3/\text{д}$ ($5 \text{ м}^3/\text{год}$) і тривала

193 доби. Статичний рівень сягав 4,59 м, зниження рівня становило 23,8 м за зазначеного дебіту.

Друга відкачка проводилась з дебітом $40 \text{ м}^3/\text{д}$ ($5 \text{ м}^3/\text{год}$), працювала по 8 годин на добу і тривала 30 діб. Статичний рівень сягав 4,59 м, зниження рівня становило 23,8 м за зазначеного дебіту.

Основною метою проведення дослідних відкачок в експлуатаційних свердловинах № 5, 10-Р як в звичайному, так і в експлуатаційному режимах було визначення розрахункових гідрогеологічних параметрів водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію та встановлення якісних показників підземних вод.

Дослідні відкачки проводились за загальноприйнятою методикою. За їх результатами визначили основні гідрогеологічні параметри, а саме водопровідність експлуатаційних свердловин (табл. 1).

Таблиця 1

Розраховані дані водопровідності по дослідних відкачках

№ св-н	Водопровідність, $\text{м}^2/\text{д}$
5	12,3
10-Р	13,9
Середнє	13,1

5. Комплекс лабораторних досліджень.

Для визначення параметрів постійних кондицій у процесі геологорозвідувальних робіт відібрано проби води на різні компоненти, додатково проаналізовано хімічні аналізи, надані замовником. Загалом у звіті проаналізовано проби води за період 1984–2001 рр., а саме:

- повний хімічний аналіз – 132 проби;
- вміст радіаційних елементів – 126 проб;
- польові визначення радону – 505 проб;
- вміст нітратів – 94 проби;
- польові визначення нітратів – 271 проба.

Геологічна та гідрогеологічна будова родовища. У структурі Українського щита район робіт займає західну окраїну Дністровсько-Бузького мегаблока в місці зчленування Подільського та Середньобузького блоків I порядку. Має триярусну будову: нижній ярус складений ранньодкембрійськими метаморфічними та ультраметаморфічними породами, сформованими протягом кількох тектонічних циклів і за різних термодинамічних умов. Майже повсюдно (за винятком ділянок у долинах річок) він перекритий осадами покривного і четвертинного ярусів. Покривний комплекс разом з повсюдно розвиненою площинною корою вивітрювання має потужність до перших десятків метрів. Генетично це дуже різномірні породи – від континентальних глин і пісків до морських вапняків, що розвинуті більше на південному заході території. Четвертинні відклади представлені субаквальними і лесовими фаціальними різновидами. Район робіт розташований у межах глибинного розлому, що розділяє структурно-формаційні зони (блоки I порядку).

Метаморфічні утворення представлені породами гайсинського ультраметаморфічного комплексу, а саме плагіогранітами та плагіомігматитами біотитовими.

Кайнозойські відкладення мають практично повсюдне поширення і представлені відкладами неогену і четвертинної системи.

Немирівське родовище мінеральних радонових вод у тектонічному плані належить до перетину Муховецько-Монастирецького та Ладизин-Брацлавського розломів. За межами тектонічних розломів кристалічні породи є практично безводними, нижче зон тріщинуватості спостерігається перехід до монолітних порід кристалічного фундаменту.

Немирівське родовище (ділянка "Курортна") розташоване в південно-західній частині гідрогеологічної провінції складчастої області Українського кристалічного щита. В межах родовища вивчені такі водоносні горизонти:

- у сучасних алювіальних відкладах заплав і днищ балок;
- у середньо-верхньочетвертинних еолово-делювіальних відкладах (вододілів і їх схилів);
- у відкладах балтської світи;
- у тріщинних зонах кристалічних порід докембрію.

Зважаючи на той факт, що в межах родовища експлуатаційним є водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію, нижче наводимо його детальну характеристику.

Водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію розкритий експлуатаційними свердловинами № 5, 10-Р та містить лікувальні радонові води, які з 1995 р. санаторій "Авангард" використовує для лікувальних потреб зовнішнього застосування.

Для родовищ, пов'язаних із породами кристалічного фундаменту, важливе значення має їх (порід) тріщинуватість. У межах ділянки "Курортна" інтенсивна тріщинуватість кристалічних порід генетично та просторово пов'язана із зоною Муховецько-Монастирецького розлому, що перетинає родовище з північного заходу на північний схід. Так, у 1984 р. на стадії попередньої розвідки в межах розлому було пробурено свердловини № 7-Р, 8-Р, 11-Р.

За межами цього розлому активна тріщинуватість різко зменшується, що підтверджується майже безводними свердловинами № 9-Р, 14, 15, що пробурені на відстані 60–100 м від Муховецько-Монастирецького розлому.

Зазначений факт свідчить про високу анізотропію фільтраційних властивостей кристалічних порід докембрію в межах родовища. Абсолютні відмітки статичних рівнів підземних вод Немирівського родовища змінюються від 243,1 м (свердловина № 11-Р, розміщена на північному сході) до 227,1 м (на півдні свердловина № 6-Р). Загалом підземний стік у північно-західній та північній частинах Курортної ділянки спрямований на південний схід у напрямку до зони Муховецько-Монастирецького розлому. І навпаки, у південно-східній та південній частинах Курортної ділянки він спрямований у протилежну сторону, тобто на північний схід та північ – в напрямку до зони Муховецько-Монастирецького розлому, а також до тектонічного "вузла" – перетин Муховецько-Монастирецького та Ладизжин-Брацлавського розломів.

Найбільш водозбагаченими є свердловини, розташовані в зоні впливу Муховецько-Монастирецького розлому. За межами розлому дебіти свердловин становлять менше 0,01 дм³/с.

На стадії попередньої розвідки (1987 р.) проводились поінтервальні випробування експлуатаційних свердловин, що склали в основному 10–30 м, рідше 10–50 м активної тріщинуватості порід. Так, під час проведення групової дослідної відкачки по свердловинах № 6-Р, 8-Р до спостережної мережі додали свердловини № 9-Р, 10-Р, 11-Р, 14. При досягненні максимального дебіту на рівні 408 м³/д зниження рівня у спостережних свердловинах не спостерігалось, також протягом всієї експлуатаційної відкачки (99 діб) зниження рівня не було. Цей досвід зайвий раз підтверджує твердження про те, що режим рівнів підземних вод по водоносному горизонту кристалічних порід докембрію більшою мірою залежить від інфільтрації атмосферних опадів.

Для підтвердження цього твердження на другому етапі дослідних робіт проводили відкачку із свердловини

№ 5 протягом 194 доби, де як спостережні виступали свердловини № 6-Р, 8-Р. Реакції не відбувалося.

Вміст радону у воді, а саме його максимальна концентрація, спостерігався у свердловинах, розташованих у зоні саме тектонічного "вузла". Це свердловини № 6-Р, 7-Р. По свердловині № 7-Р за даними попередньої розвідки концентрація радону становила 60 нКи/дм³ (2220 Бк/дм³).

Відповідно до детальної розвідки води у водоносному горизонті докембрійських порід можна віднести до дуже слаборадонових (вміст радону понад 10 нКи/дм³ або 370 Бк/дм³), що належать до Муховецько-Монастирецького та Ладизжин-Брацлавського розломів.

Поза межами цих розломів та тектонічного "вузла", слаботріщинуваті докембрійські породи містять практично прісні води, де вміст радону становить менше 5 нКи/дм³ або 185 Бк/дм³.

Так, концентрація радону у свердловинах Немирівського родовища (ДП УГК "Nemiroff"), що розташовані на протилежному боці р. Устя, за даними розвідки 2012 р. становить <1,0*10⁻¹² Бк/дм³.

У цьому ж звіті відбирались проби на визначення вмісту нітратів із р. Устя та з четвертинного водоносного горизонту. Вміст нітратів із криниці становив 14 мг/дм³, р. Устя – 0,6 мг/дм³. Виходячи з цього можна зробити висновок, що джерело забруднення цільового водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію відсутнє і підвищений вміст нітратів у свердловинах ділянки "Курортна" є наслідком радіолізу води.

Якісна характеристика ділянки "Курортна" Немирівського родовища мінеральних радонових вод.

Мінеральні радонові води ділянки "Курортна" Немирівського родовища свердловинами № 5, 10-Р розкривають водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію та функціонують на території санаторію "Авангард" з 1992 р., використовуються в лікувальній практиці для зовнішнього застосування.

Підземні радонові води в межах гідрогеологічної провінції Українського кристалічного щита генетично та просторово пов'язані з тріщинуватими зонами кристалічних порід докембрію. Радонові води в цих тріщинах строкаті за петрографічним складом і належать зазвичай до гнейсів, гранітів та їх мігматитів, гранодіоритів, чарнокітів, амфіболітів та інших різновидів магматичних, ультраметаморфічних та метаморфічних порід.

Згідно з довідкою про кондиції параметри постійних кондицій для ділянки "Курортна" Немирівського родовища (свердловини № 5, 10-Р) мінеральної радонової води такі:

- води є гідрокарбонатні магнієво-натрієві;
- загальна мінералізація – до 1,0 г/дм³;
- концентрація радону у воді – 185–740 Бк/дм³;
- вміст нітратів – до 65 мг/дм³;
- значення рН 6,8–7,4 од. рН;
- температура вод – від 8 °С до 12,0 °С.

За результатами проведених хімічних досліджень по свердловині № 5 встановлено, що за співвідношенням основних аніонів і катіонів підземні води водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію належать до слабомінералізованих (0,65–0,8 г/дм³) гідрокарбонатних магнієво-кальцієвих, дуже слаборадонових (303,4–799,2 Бк/дм³).

За результатами проведених хімічних досліджень по свердловині № 10-Р встановлено, що за співвідношенням основних аніонів і катіонів підземні води водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію належать до слабомінералізованих (0,651–0,848 г/дм³) гідрокарбонатних магнієво-

кальцієвих, дуже слаборадонових (225,7–662,3 Бк/дм³) та слаборадонових (802,9–943,5 Бк/дм³).

В результаті радіохімічних випробувань встановлено відповідність якості води по показниках щодо параметрів кондиції.

Дискусія і висновки

За результатами виконаних геологорозвідувальних робіт на ділянці "Курортна" Немирівського родовища мінеральних радонових вод у м. Немирів, у районі Вінницької області, можна зробити такі висновки.

Виконано комплекс лабораторних гідрохімічних досліджень з виявлення та встановлення кондиційності мінеральних радонових вод ділянки "Курортна" Немирівського родовища. Вміст радону у воді по свердловинах № 5, 10-Р становить 185–740 Бк/дм³.

В межах родовища розташована свердловина № 6-Р, щодо якої не підтверджувались параметри постійних кондицій, а саме – перевищення вмісту нітратів (>65 мг/дм³) згідно з вимогами ГСТУ 42.10-02-96 "Води мінеральні лікувальні. Технічні умови".

Забруднення водоносного горизонту тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію – не антропогенний чинник, а радіоліз води. Проте це твердження потребує додаткового вивчення в межах розвіданих родовищ

мінеральних підземних вод, де зафіксовано перевищення вмісту нітратів згідно з нормами чинного законодавства.

Можливе додаткове зростання кількості мінеральних радонових вод за рахунок збільшення часу роботи свердловин з 7 годин (як затверджено) до 8–9 годин на добу. Однак даний пункт потребує довивчення.

Родовище має потенціал до збільшення експлуатаційних запасів за рахунок свердловини № 6-Р. У цьому випадку необхідно приділити додаткову увагу питанню щодо перевищення нітратів через процес радіолізу води.

Кількість експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод на момент проведення досліджень (2004 р.) була обмежена свердловинами № 5, 10-Р. Відповідно до протоколу ДКЗ України від № 863 на підставі довідки про кондиції на мінеральні води свердловин № 5, 10-Р (видає ДК "УкрНДІМРтаК МОЗ України") за умов переривчастого водовідбору протягом 7 годин на добу, було затверджено балансові експлуатаційні запаси мінеральних радонових лікувальних підземних вод загальнодержавного значення у відкладах тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію, що придатні для використання в лікувальній практиці при зовнішньому застосуванні. У відсотковому значенні кількість експлуатаційних запасів можна збільшити майже вдвічі (рис. 1).

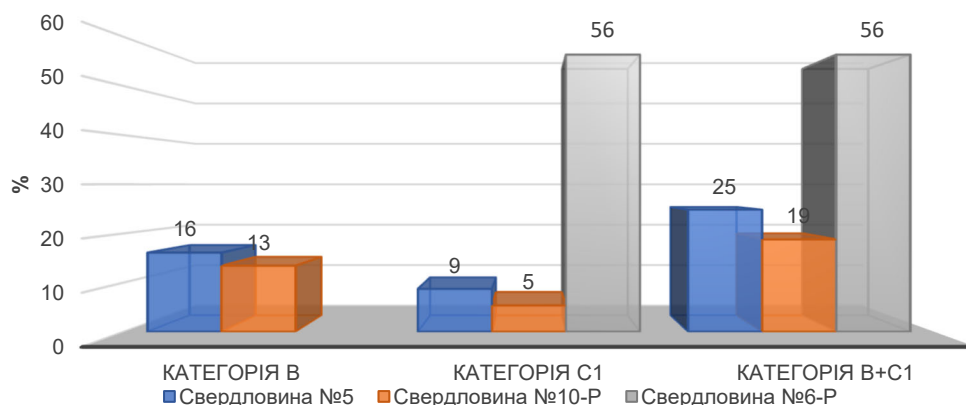


Рис. 1. Потенційні запаси ділянки "Курортна" Немирівського родовища мінеральних радонових вод у відсотковому вигляді

Як видно з результатів детального аналізу ділянки "Курортна" Немирівського родовища мінеральних радонових вод, потенціал до збільшення експлуатаційних запасів є навіть на вже розвіданих родовищах.

Родовище розкриває водоносний горизонт тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію та кори їх вивітрювання. Водозбагаченість порід залежить передусім від їх тріщинуватості. Ступінь тріщинуватості кристалічних докембрійських порід – це основний чинник, що сприяє накопиченню та циркуляції підземних вод, визначає їх водозбагаченість, зумовлює взаємозв'язок тріщинних вод між собою та гідравлічний зв'язок з іншими вищезалеглими водоносними горизонтами.

Відповідно до чинного законодавства радоновими вважаються підземні води, вміст лікувального компонента в яких перевищує або дорівнює 185 Бк/дм³. Згідно з мінеральні радонові води мають такі критерії за лікувальними властивостями із вмістом специфічних компонентів:

- дуже слаборадонові – 185–740 Бк/дм³;
- слаборадонові – 740–1480 Бк/дм³;
- середньорадонові – 1480–7400 Бк/дм³;
- високорадонові – >7400 Бк/дм³.

Таблиця 2

Критерії за лікувальними властивостями свердловин ділянки "Курортна" м. Немирів

№ свердловини	Вміст радону, Бк/дм ³	ГДК, Бк/дм ³
Ділянка "Курортна" Немирівського родовища мінеральних радонових вод		
5	185–740	Дуже слаборадонові
10-Р		

Внесок авторів: Сергій Шаріков – концептуалізація, формальний аналіз, написання (оригінальна чернетка); Дмитро Чомко – валідація даних, написання (перегляд і редагування).

Список використаних джерел

- Бабов, К., Золоторьова, Т., & Насібуплін Б. (2008). *Порядок здійснення медико-біологічної оцінки якості та цінності природних лікувальних ресурсів*. КИМ.
- Бузинний, М., & Михайлова, Л. (2022). Узагальнені дані 20-річного моніторингу радону-222 у питній воді України. *Ядерна та радіаційна безпека*, 4(96), 29–38.
- ГСТУ 42.10-02-96. (1996). *Води мінеральні лікувальні. Технічні умови*.
- Мілюхін, М., & Шеремета, А. (2005). *Звіт про результати детальної розвідки з підрахунком експлуатаційних запасів мінеральних радонових вод Немирівського родовища (санаторій "Авангард"), Вінницької області проведеної в 1997–2002 рр.*
- Нікіпелова, О., Кисилевська, А., & Солодова. (2010). Гігієнічні нормативи щодо мінеральної лікувально-профілактичної води та лікувальної води – каталізатор розвитку їх стандартизації в Україні. *Харчова наука та технологія*, 2, 26–29.

Seid, A., Turhan, Ş., Bakir, T., & Kurnaz, A. (2023). Radon concentration of different brands of bottled natural mineral water commercially sold in Turkey and radiological risk assessment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(19), 1–13.

References

Babov, K., Zolotareva, T., & Nasibullin B. (2008). *Procedure for conducting medical and biological assessment of the quality and value of natural medicinal resources* [in Ukrainian].

Buzynnyi, M., & Mykhaylova, L. (2022). Summary of 20-year monitoring data of radon-222 in drinking water of Ukraine. *Nuclear and Radiation Safety*, 4(96), 29–38 [in Ukrainian].

Milyukhin, M., & Sheremeta, A. (2005). *Report on the results of detailed exploration with the calculation of operational reserves of mineral radon*

waters of the Nemyriv deposit (sanatorium "Avangard"), Vinnytsia region, carried out in 1997–2002 [in Ukrainian].

Nikipelova, O., Kysylevska, A., & Solodova. (2010). Hygienic standards for mineral therapeutic and prophylactic water and medicinal water – a catalyst for the development of their standardization in Ukraine. *Food Science and Technology*, 2, 26–29 [in Ukrainian].

Seid, A., Turhan, Ş., Bakir, T., & Kurnaz, A. (2023). Radon concentration of different brands of bottled natural mineral water commercially sold in Turkey and radiological risk assessment. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(19), 1–13.

SSU 42.10-02-96. (1996). *Medical mineral waters. Technical conditions* [in Ukrainian].

Отримано редакцією журналу / Received: 11.04.25

Прорецензовано / Revised: 21.04.25

Схвалено до друку / Accepted: 23.04.25

Sergii SHARIKOV, PhD Student

ORCID ID: 0009-0009-2847-2820

e-mail: s.sharikov@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Dmitro CHOMKO, PhD (Geol.), Assoc. Prof.

Head of the Department Hydrogeology and Engineering Geology

ORCID ID: 0000-0001-8454-5531

e-mail: chomko@knu.ua

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PROSPECTS FOR INCREASING THE RESOURCE POTENTIAL OF MINERAL RADON WATERS IN THE VINNYTSKA REGION

Background. Prospects for increasing the mineral resource base of Ukraine are one of the main strategies for the development of our country today and in the post-war period.

At present, increasing the number of total approved reserves of mineral radon waters by opening new deposits is not a priority component, as it is costly. However, a detailed analysis of the possible increase in the number of operational reserves based on already explored deposits is promising.

This work refers to one of the components of the plan for achieving a common better future approved by the members of the United Nations in 2015 (17 sustainable development goals). The material presented in the article refers to point 3, namely – Ensuring a healthy lifestyle and promoting well-being for all at any age.

Radon mineral waters are balneological underground waters that have healing properties when used internally or externally. An important factor during the exploitation of such groundwater is their compliance with the conditions, i.e. the established maximum permissible concentrations (hereinafter referred to as MPC), which are in force at the present time.

At different periods of time, various stages of exploration of mineral radon waters were carried out within the Vinnytsia region, from exploratory work to detailed exploration. Therefore, a detailed analysis of existing deposits, an assessment of the prospects for expanding or increasing operational reserves, and determining the resource potential of institutions specializing in radon groundwater are important tasks.

Methods. This study was conducted on the basis of a detailed analysis of stock materials and a comparison of the actual results of the content of radon mineral waters with other deposits within the Vinnytsia region.

Results. As a result of the conducted studies, it was found that within the Resort area, which is located in the city of Nemyriv, there is a potential to increase the operational reserves of mineral radon waters. This statement is based on the analysis of data from the preliminary (1985) and detailed (2004) exploration.

Conclusions. Studies have shown that an increase in the operational reserves of mineral radon waters is possible due to the inactive (at the moment) operational well No.6-R. During a detailed assessment of operational reserves, this well was excluded from the calculation of reserves due to the excess of nitrate content ($>65 \text{ mg/dm}^3$) according to the Industry Standard of Ukraine (GSTU) 42.10-02-96 "Medical mineral waters. Technical conditions". However, the increased nitrate content is not the result of contamination of the target aquifer, but is a consequence of water radiolysis. More detailed studies of this problem could lead to the improvement of the current regulatory requirements for mineral waters specifically for external use.

Keywords: radon, mineral radon groundwater, deposit, reserves, groundwater quality.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.