

Л.І. Кузів

**СТАБІЛЬНІСТЬ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ВОЛИНСЬКОГО МЕГАБЛОКА ЯК КРИТЕРІЙ
ГЕОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ У КОНТЕКСТІ ЗАХОРОНЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

L.I. Kuziv

**HYDROGEOLOGICAL CONDITION STABILITY OF THE VOLYN REGION AS CRITERION OF THE
GEOLOGICAL SERVICEABILITY AS USED IN THE RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL**

Рассмотрены требования к гидрогеологическим условиям с целью осуществления системы захоронения радиоактивных отходов. Для Волынского мегаблока приведен анализ гидрогеологических условий водоносного горизонта трещинных вод пород докембрия.

Ключевые слова: геологическая среда, захоронение радиоактивных отходов, водоносный горизонт, кристаллические породы.

The discussion of requirements for the hydrogeological conditions for the purpose of safety waste disposal had been done in this paper. Also has been summarized and analyzed the hydrogeological conditions the Precambrian aquifer of the fracture water by the example of Volyn region.

Key words: geological environment, radioactive waste disposal, aquifer, host rock.

ВСТУП

В основі вибору майданчика, придатного для захоронення радіоактивних відходів (РАВ), є пошук такого геологічного середовища (ГС), яке забезпечить безпеку та надійність системи захоронення (природні та інженерні бар'єри) протягом не тільки історичного, але і геологічного періоду часу.

Підземні води, проникаючи через товщу масиву порід, викликають деструкцію інженерних бар'єрів, призводячи до розчинення матричних матеріалів і переносу розчинів у горизонти підземних вод, тим чи іншим способом пов'язаних з природним або штучним водопостачанням. Керуючим принципом рекомендацій МАГАТЕ зазначено, що гідрогеологічна характеристика та особливості геологічного оточуючого середовища повинні мати тенденцію до обмеження потрапляння підземних вод в середину сховища та забезпечувати адекватний рівень ізоляції відходів на період, що вимагається. Отже, обґрунтування належної ізоляції відходів полягає у вивченні глибин залягання водоносних горизонтів досліджуваного району, їх властивостей, руху, виявленні зон активного водообміну, живлення та розвантаження, а також аналізі поведінки підземних вод безпосередньо в умовах сховища.

Оскільки підземні води є основним агентом виносу радіонуклідів та потрапляння їх у біосферу, то одним з важливих видів дослідження при

виборі місця захоронення РАВ буде встановлення відповідних вимог до гідрогеологічних умов території, що попередньо розглядатиметься як ділянка для захоронення відходів, та критеріїв до гідрогеологічних показників. Мета даної статті — систематизувати вимоги для попереднього вибору придатних масивів порід при здійсненні захоронення РАВ, провести аналіз гідрогеологічних умов Волинського мегаблока та їх оцінку з позиції згаданих вище вимог.

Дослідженню питань, які обговорюються, присвячено ряд публікацій [8, 9, 12, 13, 16 та ін].

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ
УМОВ ПРИ ЗАХОРОНЕННІ РАВ**

Вибір місця для захоронення РАВ починається з попередньої оцінки придатності території набагато більшої, ніж займе в результаті ділянка захоронення. Тому, при обґрунтуванні безпеки сховища РАВ з позиції вимог до гідрогеологічних умов доцільним буде розгляд останніх у масштабі ближньої та віддаленої зон сховища РАВ. Зрозуміло, що термінологічно поняття ближньої та віддаленої зон мають дещо умовний характер, проте вони відповідають визначеним просторовим змінам. Так, ближня зона — частина ГС безпосередньо біля упаковки відходів і та частина ГС, яка зазнає впливу РАВ і характеризується зміною властивостей гірських порід, також; віддалена зона — та частина ГС, вплив

на яку не змінює властивостей гірських порід та характеру їх взаємодії.

Одним із сприятливих регіонів для ізоляції РАВ є північно-західна частина Українського щита (УЩ) [2, 8, 9], що в тектонічному плані відповідає північно-східній частині Волинського мегаблока.

Для встановлення вимог до гідрогеологічних умов *віддаленої зони* необхідні дані про таке [9,14]:

1. Гідрогеологічний розвиток локальних та регіональних систем. Характеристику водоносних і водовміщуючих горизонтів з достатнім ступенем деталізації.

2. Встановлення та характеристику важливих гідрогеологічних об'єктів у регіоні (положення, протяжність, внутрішні взаємозв'язки).

3. Наповнення та розвантаження основних локальних і регіональних гідрогеологічних систем (положення та водоносний баланс).

4. Рух підземних вод усіх водоносних горизонтів даного геологічного сховища (середня швидкість, видовженість щодо зон розвантаження, низхідні напрямки).

5. Наявність змінного в часі температурного поля, що впливає на напрямок і швидкість потоків підземних вод.

Значною мірою гідрогеологічні показники масивів кристалічних порід визначаються наявністю у них розломних зон, глибинністю їх закладення, інтенсивністю тріщинуватості.

Вимоги до гідрогеологічних умов *ближньої зони* мають враховувати також фізичні та хімічні характеристики ГС. Для ближньої зони особливо важливими є бар'єрні функції гірських порід. Мінімальна водопроникність порід є визначальною властивістю. Коефіцієнти фільтрації, проникності, тріщинуватості, тріщинної проникності є характеристиками, з одного боку, гідрогеологічних, а з іншого — власне структурно-текстурних особливостей оточуючого середовища. Також слід брати до уваги кількість води в поровому просторі, її агресивність до матеріалу систем техногенних бар'єрів [9].

Таким чином, для встановлення критеріїв в умовах *ближньої зони* необхідно враховувати таке [8, 10, 12, 14]:

1. Реальні структурно-текстурні особливості вміщуючих порід, зокрема хімічний, мінеральний склад порід, включаючи зруйновані матеріали інженерних бар'єрів.

2. Наявність геологічних відмін, кожна з яких характеризується тою чи іншою пористіс-

тю, проникністю, мікротріщинуватістю, наявністю зв'язаної води і т.д.

3. Геохімічну взаємодію розчинів підземних вод, що рухаються по тріщинах.

Крім того, серед підходів до встановлення критеріїв придатних у гідрогеологічному плані масивів порід для здійснення системи захоронення є врахування глибини розташування сховища. Залежно від способу підземної ізоляції РАВ (свердловинний, шахтний та ін.) та активності відходів можуть розглядатись неглибокий, середньоглибокий та глибокий рівні глибини [8]. Умовною межею виступає нижня границя зони активного водообміну. Для обох зон дуже важливим є те, що вони знаходяться у гідрогеологічних зонах сповільненого та досить сповільненого водообміну [9].

Отже, вибір місця для захоронення РАВ з позиції придатних гідрогеологічних вимог стане можливим за наявності наведених вище даних. При пошуку ділянки слід враховувати, що вона не повинна знаходитися безпосередньо чи неподалік від важливих гідрогеологічних об'єктів. Перевагою буде, якщо наявні водоносні горизонти матимуть безнапірний характер, їх розвантаження здійснюватиметься за межами віддаленої зони, води за вмістом солей відповідатимуть прісному типу, а проникність гірських порід, що оточуватимуть форми з відходами, буде допустимою для здійснення системи захоронення.

Згідно з даними роботи [16], теоретично проникність можна визначити за апертурою тріщин — гірські породи без видимих тріщин мають низьку проникність. За величинами коефіцієнта фільтрації не можна скласти уявлення про проникність масиву, в даному випадку таким показником виступає коефіцієнт водопровідності [15]. Його значення на декілька порядків є вищими за значення коефіцієнта фільтрації. Коефіцієнт водопровідності визначають на основі роботи системи свердловин, яка для різних тріщинуватих зон може бути представлена різною їх кількістю залежно від масштабу дослідження, тоді як коефіцієнт фільтрації отримують за результатами відкачування одиничних свердловин.

АНАЛІЗ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ГРАНІТОЇДІВ ВОЛИНСЬКОГО МЕГАБЛОКА

В загальному плані для оцінки гідрогеологічних умов використовується схема гідрогеологічного районування території України [3]. Згідно з

ним, центральну частину Волинського мегаблока займає *гідрогеологічна область УЩ*, яка на заході частково межує з *Волино-Подільським*, а на сході — з *Дніпровським артезіанськими басейнами*. У геоструктурному плані Волинський мегаблок — область зчленування УЩ та Дніпровсько-Донецької западини, що значною мірою впливає на гідрогеологічні умови. Гідрогеологічна зйомка даного району масштабу 1:200 000 представлена декількома листами (М-36-ХІІІ, М-35-ХІІ та ін.) [4, 5].

Гідрогеологічна область УЩ являє собою область вод, які приурочені до верхньої тріщинуватої зони кристалічних порід і тут користуються найбільшим площинним поширенням. Встановлено, що тріщинуваті води не приурочені до якого-небудь визначеного стратиграфічного комплексу, а утворюють загальний водоносний горизонт. Ступінь тріщинуватості порід і стан тріщин відповідають за фільтраційні та ємнісні властивості порід, визначають водозбагаченість і шляхи циркуляції підземних вод, обумовлюють взаємозв'язок тріщинуватих вод між собою і водами інших водоносних горизонтів.

Глибина залягання тріщинуватих вод залежить від рельєфу земної поверхні та гіпсометричної поверхні кристалічних порід і зростає у північно-східному напрямку в бік Дніпровського артезіанського басейну. В цьому ж напрямку збільшується і потужність покривних відкладів. Так, значення глибини залягання вод тріщинуватої зони кристалічних порід становить 0–65 м.

Води характеризуються переходом від слабо напірних до напірних. Через нерівномірну тріщинуватість, водоносність кристалічних порід має невитриманий характер. Висота напорів становить від 5 до 54,6 м. Рівні води встановлюються на глибинах від 3–39 м. П'єзометричні рівні — на абсолютних відмітках від 127,5 до 166 м. Залежно від ступеня тріщинуватості порід і стану тріщин дебїти свердловин змінюються у досить широких межах — від 0,3 до 4,2 дм³/с при зниженнях рівня на 1,5–40,0 м; питомі дебїти варіюють від 0,01 до 1,5 дм³/с. Свердловини, що розкривають води в межах зон тектонічних порушень, як правило, відрізняються підвищеною водозбагаченістю, яка для кристалічних порід значною мірою залежить від кліматичних та загально геологічних умов [6].

Тріщинуваті води переважно прісні, помірно жорсткі і жорсткі, гідрокарбонатно кальцієві, гідрокарбонатно кальцієво-магнієві і гідрокар-

бонатно кальцієво-натрієві. Мінералізація їх знаходиться в межах 0,1–0,5 г/дм³. Загальна жорсткість варіює в значних межах — від 1,58 до 6,75 мг · екв. Реакція води від слабо кислої до слабо лужної. рН змінюється від 6,6 до 7,2. Азотна, азотиста кислоти й аміак, як правило, в них відсутні або присутні в незначних кількостях

Живлення вод в основному здійснюється внаслідок інфільтрації атмосферних опадів. Режим тріщинуватих вод зазнає сезонних коливань. Річна амплітуда коливання рівнів води у свердловинах змінюється від 0,5 до 2,0 м.

Область розвантаження знаходиться на території схилу УЩ, де тріщинуваті води є джерелом водоносного горизонту сеноманських відкладів і частково водоносного комплексу еоценових відкладів, не виключений також зв'язок із спорадично поширеними водами юрських відкладів.

Кора вивітрювання на території Волинського мегаблока кристалічних порід докембрію має незначний розвиток. Представлена вона здебільшого первинними каолінами, що відіграють роль місцевих водотривів, рідше зустрічається дресва. Замкнені у дресві води на площі свого розвитку з'єднуються з тріщинуватими водами кристалічних порід, утворюючи з ними єдиний водоносний горизонт; і тільки, можливо, у місцях наявності у нижній частині товщі продуктів руйнування каоліну вони можуть набувати самостійного характеру. Кристалічні породи докембрію вкриті малопотужною товщею осадових відкладів.

Східну частину Волинського мегаблока обрамляє *Дніпровський артезіанський басейн*. Його зв'язок, як і зв'язок Волино-Подільського артезіанського басейну з гідрогеологічною областю УЩ, здійснюється в основному внаслідок перетікання вод з кристалічних порід у водоносні горизонти осадових відкладів. Частково басейни слугують також зонами розвантаження водоносних систем гідрогеологічної області УЩ.

СТАБІЛЬНІСТЬ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ВОЛИНСЬКОГО МЕГАБЛОКУ ДЛЯ ЗАХОРОНЕННЯ РАВ

Води тріщинуватої зони кристалічних порід докембрію Волинського мегаблока приурочені до порід коростенського і житомирського комплексів та серії архейських гнейсів. Кристалічні породи представлені гранітами, гранітами ра-

паківіподібними, габро, анортозитами, гранодіоритами та ін.

Територія Волинського мегаблока вкрита густою мережею свердловин, пробурених у природних та порушених умовах. Глибина свердловин коливається в межах 5–30 м.

Згідно з даними гідрогеологічного моніторингу за зниженням рівня води у свердловинах [7], побудовано графік зміни рівня води протягом періоду спостережень та станом на 1992 р. в умовах природного режиму (див. рисунок). Середні значення всього періоду спостережень (до 1992 р.) становлять 27 років. Аналізуючи графік, можна відмітити, що середньорічний рівень знижень за роки спостереження майже не відрізняється від середньорічного рівня за 1992 р. Це означає, що гідрогеологічні умови характеризуються деякою стабільністю, є сформованими. Стабільність гідрогеологічних умов свідчить про встановленість режимів підземних вод, витриманість гідрогеологічних параметрів у часі (сталими є відновлюваність та водозбагаченість водоносних горизонтів).

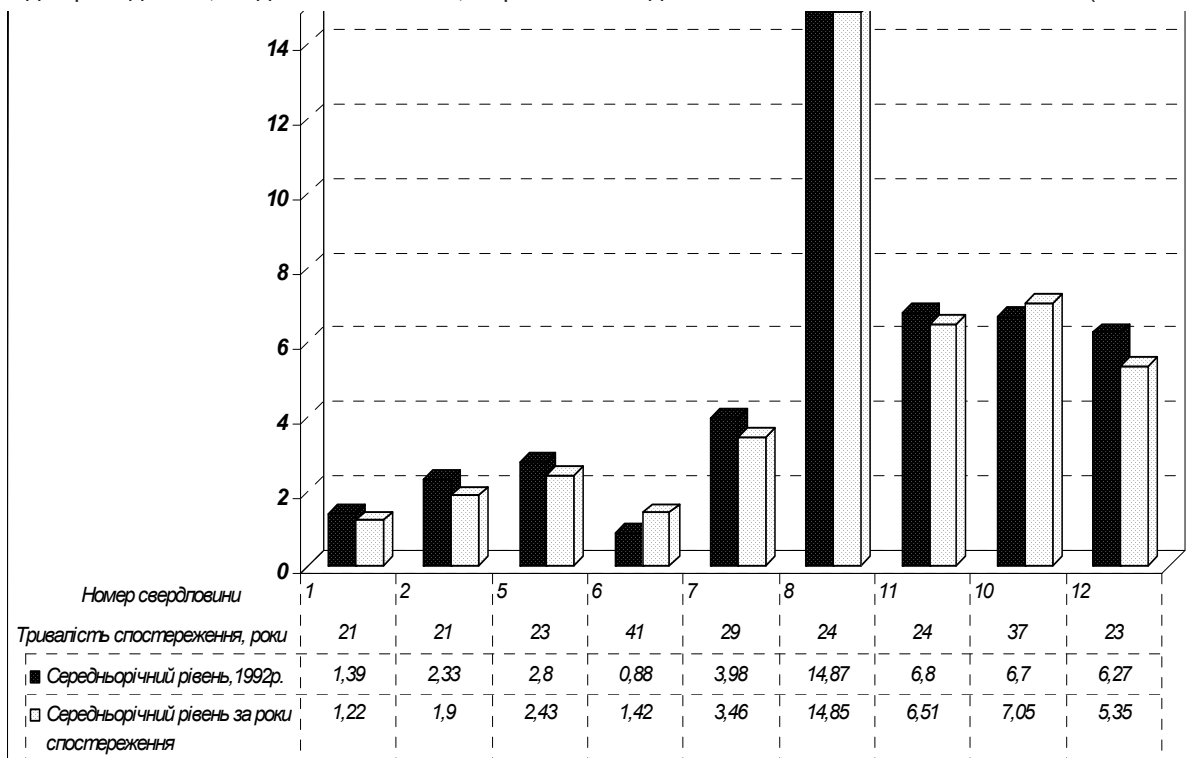
З огляду на те, що дані знижень рівня отримані із свердловин незначної глибини, результати дослідження не можна екстраполювати на більш глибокі водоносні горизонти. Однак стабільність гідрогеологічних умов за наявності даних глибини залягання, коефіцієнтів фільтрації та водопровідності, водозбагаченості, характе-

ру живлення та розвантаження всіх водоносних комплексів досліджуваного району може розглядатись як критерій геологічної придатності при обговоренні вибору місця сховища РАВ.

Коефіцієнт фільтрації тріщинуватої зони кристалічних порід знаходиться в межах 0,13–0,35 м/добу [4, 5]. Згідно з даними робіт [13, 14, 15, 16], порядок рекомендованої величини коефіцієнта фільтрації для умов захоронення РАВ повинен бути меншим за 10^{-8} м/с, а порядок величини водопровідності — меншим за 10^{-5} м²/с.

Серед вимог та пропозицій, що висувуються іноземними дослідниками, величина рН підземних вод на рівні сховища має відповідати діапазону значень від 6 до 10, сумарний вміст кальцію та магнію — бути меншим за 4 г/дм³ [13]. Згідно з роботи [16], виконаними для водоносних горизонтів на рівні глибокого сховища Швеції та Фінляндії, вміст сульфідів у воді повинен становити 0,01–5 мг/дм³, Eh — негативне.

Під впливом розвантаження на ділянках розвитку активної тріщинуватості кристалічного фундаменту УЩ сформована зона активного водообміну. Тріщинуватість поширюється до глибини 100–120 м (рідше до 200 м) від поверхні і з глибиною затухає [1, 11]. Однак, за даними буріння глибоких і надглибоких свердловин, відмічається наявність тріщинуватих обводнених зон на значних глибинах (1 км і біль-



Зміни зниження рівня води у свердловинах протягом періоду спостереження

ше) [4, 5]. Зони глибинних розломів вимагають додаткового вивчення.

ВИСНОВОК

Волинський мегаблок у гідрогеологічному відношенні — це область поширення тріщинуватих вод докембрію та пластово-тріщинних вод осадового чохла.

Головними факторами, що визначають придатність масивів гірських порід для захоронення, є інтенсивність водообміну, низхідний напрямок і незначна швидкість руху підземних вод, відстань від місця захоронення і зони розвантаження, склад і фізико-хімічні параметри підземних вод, які є прийнятними для створення системи захоронення РАВ [9, 10 та ін.]. Виконаний аналіз гідрогеологічних умов Волинського мегаблоку для більшої деталізації необхідно поглибити за рахунок проведення польових досліджень.

Гідрогеологічні умови Волинського мегаблоку, згідно з даними роботи [7], є сформованими та характеризуються встановленими режимами. Стабільність гідрогеологічних умов за наявності даних про гідрогеологічні параметри всіх водоносних комплексів може розглядатись як критерій геологічної придатності для безпечного здійснення захоронення РАВ.

Підземні води в кристалічних породах, як правило, мають низьку концентрацію солей, слабо лужний відновний характер, що в цілому відповідає умовам мінімальної розчинності радіонуклідів.

При прогнозуванні впливів відходів, які підлягатимуть захороненню, на вміщуюче та оточуюче середовище необхідним є також виконання розрахунків міграції підземних вод, оскільки вони виступають агентами перенесення розчинених нуклідів.

На більш глибокому рівні досліджень у контексті системи захоронення РАВ в основі спеціалізованого районування території України і оцінки гідрогеологічних регіонів повинна лежати оцінка локальних зон тріщинуватості, їх глибинності, переважаючих типів за літологічним складом та іншими властивостями.

1. *Багрій І.Д.* Прогнозування розломних зон підвищеної проникності гірських порід платформених областей України для вирішення геоекологічних задач: Дис. ... канд. геол. наук : 04.00.01 / Багрій Ігор Дмитрович. — К., 2001. — 120 с.
2. *Временные методические рекомендации по региональной оценке глубоких горизонтов геологических*

структур для захоронения высокоактивных и долгоживущих радиоактивных отходов. Сост. Байсарович М.Н., Беланов В.М., Волик А.П. и др.; Государственный комитет Украины по геологии и использованию недр; Государственный информационный геологический фонд Украины (Геоинформ). — Киев, 1997. — 69 с.

3. *Геологія і корисні копалини України: атлас присвяч. 10-річ. незал.України* / [гол. редактор Л.С. Галецький.]; — К.:2001. — 160 с.
4. *Гидрогеологическая карта СССР.* — М-б 1:200 000. Лист М-35-ХІІ. Объясн. зап. — Ред. Руденко Ф.А. — М.,1969. — 60 с.
5. *Гидрогеологическая карта СССР.* — М-б 1:200 000. Лист М-35-ХІІІ. Объясн. зап. — Ред. Руденко Ф.А. — М., 1969. — 60 с.
6. *Гидрогеология СССР. Т. 5. Украинская ССР.* — М.: Недра, 1971. — 256 с.
7. *Гидрогеологический ежегодник по режиму подземных вод Украины за 1992 год* — Государственный комитет Украины по геологии и использованию недр; Государственное геологическое предприятие и Геопрогноз. Текст и текстовое приложение. — Киев, — 1993. — 55 с.
8. *Изоляция радиоактивных отходов в геологических формациях (геолого-теплофизическая часть).* — Киев, 1993. — 60 с.
9. *Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения)* / Отв. ред. акад. Шестопалов В.М. — Научно-инженерный центр радиогидроэкологических полигонных исследований, НАН Украины — Киев, 2006. — 398 с.
10. *Лаверов Н. П.* Геологические аспекты захоронения радиоактивных отходов / Лаверов Н.П., Омельченко Б.И., Величкин В.И.; *Геоэкология.* — 1994— № 6.. — С. 3–20.
11. *Співак С.Д.* Петрогенезис жильного виповнення тріщин в гранітоїдах Криворізького і Коростенського районів: Дис. ... канд. геол. наук: 04.00.08 / Співак Світлана Дмитрівна. — К., 2000. — 115 с.
12. *Шишиц І.Ю.* Оценки экологической безопасности объектов подземного пространства: Учеб. пособие для вузов — М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2006. — 302 с.
13. *Annika Hagros.* Host Rock Classification (HRC) System for Nuclear Waste Disposal in Crystalline Bedrock. Academic Dissertation. Publication of the Department of Geology D8, — 2006, Helsinki — 252 p.
14. *IAEA Radioactive Waste Management Glossary (un update of IAEA-TECDOC-447).* — IAEA, — 1994, — Vienna.
15. *Johan Andersson, Andera Strom, Christer Svemar.* What requirements does KBS-3 repository make on the host rock? Geoscientific suitability indicators and criteria for siting and site evaluation — SKB: Technical Report TR-00-12. — April 2000. Stockholm Sweden, — 148 p.
16. *Svensk Karnbranslehantering AB.* Geoscientific programme for investigation and evaluation of sites for the deep repository. — SKB: Technical Report TR-00-20. — August 2000. — Stockholm Sweden, — 120 p.

Інститут геологічних наук НАН України, Київ
E-mail: Liliana_k@ukr.net

Рецензент — канд. г.-м. наук Ю.О. Шибецький