

ПРОБЛЕМИ ГЕОЛОГІЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ  
НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ  
ТА МОЖЛИВОСТІ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ПРИ ВИБОРІ СПРИЯТЛИВИХ ДІЛЯНОК

ЧАСТИНА I. ОБСЯГИ ВІДХОДІВ І МЕТОДОЛОГІЯ ЇХ ВИДАЛЕННЯ З ДОВКІЛЛЯ

© О.Т. Азімов, 2010

*Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Київ, Україна*

Described in the article are specifics of waste-handling, current condition of their accumulation volumes in Ukraine, present scientific-methodological approaches to geological isolation of radioactive waste.

**Keywords:** radioactive waste, waste management, waste isolation, geological disposal, geological repository, criteria of site selection.

**Загальна постановка завдання роботи.** Стаття присвячена актуальним для нашої держави питанням, які безпосередньо пов'язані з комплексом проблем ізоляції небезпечних промислових відходів (насамперед радіоактивних – РАВ) у геологічних формаціях. Основну увагу зосереджено на принципових можливостях дистанційних аерокосмічних методів досліджень у сприянні визначення ділянок, придатних для геологічної ізоляції відходів, а також на конкретних результатах їх практичного застосування під час вивчення території східної частини Коростенського масиву кристалічних порід (плутону).

У першій статті розглянуто особливості поводження з відходами, поточний стан обсягів їхнього нагромадження в Україні, існуючі науково-методологічні підходи до геологічної ізоляції РАВ.

**Аналітичний огляд обсягів небезпечних промислових відходів.** Протягом останніх десятиліть в економічно розвинених країнах світу розв'язання комплексу проблем, пов'язаних з поводженням з небезпечними відходами промислового походження, зокрема радіоактивними, набуває одного з пріоритетних значень у сфері державної охорони навколишнього природного середовища, гарантування безпеки здоров'я та життєдіяльності населення, сталого розвитку територій і суспільства загалом. Повною мірою це стосується й України. Адже накопичення відходів цього типу на територіях підприємств нашої держави досягло вражаючого масштабу. Так, за даними [1, 2], у середині 1980-х років абсолютний обсяг утворення усіх видів відходів в Україні досягав 1,8–1,9 млрд т щорічно. При цьому домінуючу частку в їхньому складі (близько 1,4–1,5 млрд т, або 76–78 %) мали розкриті породи гірничодобувних

підприємств, близько 250 млн т (13–14 %) – шлаки та інші залишкові продукти збагачення корисних копалин (насамперед залізних, манганових, титано-цирконієвих руд), 75 млн т (4,0–4,2 %) – відходи металургійної та хімічної промисловості (шлаки, фосфогіпс, шлами), 14–15 млн т – золошлаки теплоелектростанцій тощо.

У наступні роки, у зв'язку з загостренням кризових явищ в економіці, вказані показники суттєво знизились. На цей час, згідно з даними [2], обсяг щорічного утворення відходів в Україні становить близько 750 млн т (у тому числі 550–600 млн т твердих відходів [1], 60–70 млн т – токсичних), а загального накопичення – понад 35 млрд т (у тому числі близько 30 млрд т твердих відходів [1], 1,6 млрд т – токсичних). Площу, яку на 2005 р. займають їх звалища, оцінюють у 160–165 тис. га, отже, показники питомого навантаження відходів на одиницю території сягають значень 40–50 тис. т/км<sup>2</sup>. За кадастровим обліком станом на 2006 р. налічено понад 1500 об'єктів накопичення основних видів промислових відходів. Така статистика є безпрецедентною в Європі.

За даними таблиці, процес прогресуючого накопичення відходів триває. Так, у 1980 р. на одного жителя країни припадало 240 т накопичених відходів, у 1990 р. – 318, на початку 2000-х років – понад 600 т.

Однак у найближчі роки практичного розв'язання проблем зберігання промислових відходів очікувати не доводиться. На думку [3], з якою ми цілком погоджуємося, це зумовлено відсутністю спеціалізованих об'єктів (або полігонів) для видалення відходів, технологічного устаткування для їх знешкодження тощо, а загалом – відповідної

№ п/п	Показник	Роки			Відношення показників 2007 і 1990 рр., %
		1990	2001	2007	
1	Загальний обсяг утворення відходів, млн т	1830	700	790 <sup>*1</sup>	43,2
2	Обсяг утворення небезпечних (токсичних) відходів I–III класів безпеки (за формою звітності № 1), млн т	8,1	2,54	2,585 <sup>*2</sup>	32
3	Питомі показники утворення небезпечних (токсичних) відходів I–III класів безпеки, кг/душу населення	160	52,4		32,8 <sup>*3</sup>
4	Питомі показники накопичення небезпечних (токсичних) відходів I–III класів безпеки, т/душу населення	0,9	0,48		53,3 <sup>*3</sup>
5	Площа земель, забруднених токсичними відходами, км <sup>2</sup>		299,8		
6	Витрати на поводження з токсичними відходами, млн грн.	5143 <sup>*4</sup>	475,6		140 <sup>*3</sup>
7	Обсяг утворених відходів за номенклатурою вторинної сировини (за формою 14-мтп 57 видів), млн т	545	182	326,2	59,85
8	Обсяг переробки і повторного використання відходів, млн т <sup>*5</sup>	218	106,3	169,2	77,6

\*1 За експертною оцінкою (у зв'язку зі скасуванням з 2000 р. звітності за формою 71-тп).

\*2 Згідно з державною статистичною звітністю за формою № 1-небезпечні відходи (2007 р.).

\*3 Відношення даних 2001 р. до даних 1990 р.

\*4 млн. крб.

\*5 Без брухту й відходів чорних і кольорових металів.

інфраструктури, яка в індустріально розвинених країнах є невід'ємною частиною промислового комплексу. Так, уже понад 25 років, починаючи з відповідних рішень 1980-х років, питання будівництва полігонів щодо поводження з небезпечними відходами залишається на порядку денному. Однак або через труднощі з погодженням місць розміщення відходів, або через відсутність коштів тощо вирішення цього питання постійно блокують.

У зазначеному контексті особливо злободенні проблеми пов'язані з поводженням з РАВ. Це аргументують низкою актуальних чинників, се-

ред яких визначають [4]: необхідність забезпечення стабільного розвитку атомної енергетики, оскільки Україна на сучасному етапі не має достатніх власних джерел нафти та газу; необхідність ізоляції високоактивних відходів (ВАВ), що виникають унаслідок переробки відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) і технологічних відходів атомних електростанцій (АЕС); наявність значних обсягів РАВ, накопичених у нашій державі під час експлуатації ядерних установок, у результаті застосування джерел іонізуючого випромінювання, існування розвинутої уранодобувної та переробної промисловості; не-

обхідність реабілітації територій, забруднених радіонуклідами внаслідок Чорнобильської катастрофи; необхідність припинення експлуатації енергоблоків та перетворення об'єкта "Укриття" (ОУ) на екологічно безпечну систему. Зауважимо, що складність ситуація посилюється тим, що в колишньому СРСР основні роботи з ядерних проблем були засекреченими і переважно виконувались за межами України. Це не дало змоги українським спеціалістам набути необхідні наукові й технологічні знання і досвід.

Відповідно до [5–8], **радіоактивні відходи** – це матеріальні об'єкти та субстанції, активність радіонуклідів або радіоактивне забруднення яких перевищує межі, встановлені чинними нормами, за умови, що використання цих об'єктів та субстанцій не передбачається. Залежно від **фізичного стану РАВ** поділяють на *тверді, рідкі і газоподібні*, а згідно з метою класифікації, – на *типи, групи і категорії*. *Короткоіснуючі* відходи (КІВ) – це РАВ, рівень звільнення яких від контролю органу державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки досягається раніше, ніж через 300 років (для *довгоіснуючих* відходів (ДІВ) – через 300 років і більше) [5, 7, 8]. Виділяють також *тип РАВ за узгодженням з органами державного регулювання*. Таку класифікацію РАВ застосовують для прийняття рішення про допустимий тип їх захоронення. У цьому випадку як критерій<sup>1</sup> використовують числові значення референтних дозових рівнів потенційного опромінення, які для КІВ становлять менше 1 мЗв/рік після 300 років їх захоронення, для ДІВ – понад 50 мЗв/рік після 300 років [8, 9].

Виділяють **категорії РАВ, які не підлягають видаленню**, причому їх питому активність беруть за класифікаційний критерій зарахування цих відходів до певної категорії. Для гамма-випромінюючих РАВ з невідомою питомою активністю для класифікації допускають застосування потужності поглинутої у повітрі дози на відстані 0,1 м від подібних відходів: для *низькоактивних* відходів (НАВ) вона становить 1–100 мкГр/год, для *середньоактивних* (САВ) – 100–10 000, для *високоактивних* – понад 10 000 мкГр/год [7, 8].

**Поводження з РАВ** – усі види діяльності (включаючи діяльність, пов'язану із зняттям з експлуатації ядерних установок), що стосуються оперування, обробки, зокрема попередньої, кондиціонування, перевезення, зберігання чи захоронення відходів [10]. За [5], *зберігання РАВ* – це розміщення радіоактивних відходів в об'єкт, у якому забезпечується їх ізоляція від навколишнього природного середовища, фізичний захист і радіаційний моніторинг, а також можливість подальшого вилучення, переробки, перевезення та

захоронення; *захоронення РАВ* – розміщення РАВ в об'єкті, призначеному для поведження з РАВ без наміру їх використання (мається на увазі, що РАВ розміщують на проектний інтервал часу). **Об'єкт, призначений для поведження з РАВ**, – споруда, приміщення або обладнання, призначені для оперування, обробки, зокрема попередньої, кондиціонування, перевезення, зберігання чи захоронення відходів, а також ядерна установка у процесі зняття з експлуатації після визнання її установкою для поведження з РАВ [10].

Нижче детальніше розглянуто дані щодо наявної у нашій державі кількості РАВ різноманітного походження, а також стосовно обсягів можливого їх утворення в майбутньому залежно від різних сценаріїв експлуатації об'єктів господарювання, що у своїй діяльності застосовують радіоактивні матеріали (зокрема АЕС). Таким чином, ці дані, будучи почерпнутими з опублікованих в останні роки наукових праць, вирізняються не лише комплексністю і послідовністю викладення, а й новизною.

Загалом на території України є понад 5000 різних **установ, підприємств та організацій**, діяльність яких призводить до утворення РАВ [11]. Зокрема, вітчизняні **атомні електростанції**, що виробляють до 48 % електроенергії (наша держава займає сьоме місце у світі і п'яте в Європі за кількістю реакторів та їх загальною потужністю) [12], є основними підприємствами, які під час виробничої діяльності утворюють РАВ. На АЕС здійснюють первинну переробку і тимчасове зберігання РАВ. РАВ АЕС складаються з рідких і твердих відходів.

Станом на 01.01.2007 р. [12] у сховищах українських АЕС (крім Чорнобильської АЕС (ЧАЕС), що не експлуатується) накопичено такі об'єми РАВ, основна частина яких не перероблена:

- твердих радіоактивних відходів (ТРВ) – 32 862 м<sup>3</sup> (у тім числі отверджені РАВ);
- рідких радіоактивних відходів (РРВ) – 18 585 м<sup>3</sup>;
- джерел іонізуючого випромінювання, що належать до РАВ, – 3009 одиниць (станом на 01.10.2003 р., за даними [13]).

Під час експлуатації блоків АЕС України з активної зони реакторів ВВЕР-440 і ВВЕР-1000 (ВВЕР – водо-водяний енергетичний реактор) щорічно перевантажують у басейни витримки близько 340 т ВЯП: приблизно 32 т дають два блоки ВВЕР-440 Рівненської АЕС і понад 300 т – 13 блоків ВВЕР-1000, що експлуатуються на всіх діючих АЕС [12]. На теперішній час кількість ВЯП в Україні становить понад 4000 т [14]. На АЕС у басейнах витримки ВЯП зберігають під шаром води протягом 3 років для забезпечення радіаційного захисту і необхідного тепловідводу.

<sup>1</sup> Тут і далі "критерій" – мірило для визначення, оцінки предмета, явища; ознака, взята за основу класифікації.

Відповідно до “Енергетичної стратегії України на період до 2030 року” [15], для заключної стадії ядерного паливного циклу ухвалено “відкладене рішення”, тобто передбачається довгострокове (понад 30 років) зберігання всього ВЯП українських АЕС у сухих контейнерних сховищах. Нині таке сховище експлуатується на Запорізькій АЕС. Заплановано збудувати централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) для Хмельницької, Рівненської і Південноукраїнської АЕС, а також СВЯП-2 ЧАЕС для всього ВЯП реакторів РБМК-1000 (РБМК – реактор большой мощности канальный).

За даними [8], у нашій державі протягом 30 років експлуатації реакторів ВВЕР-440 буде вироблено близько 750 т ВЯП, унаслідок його переробки утвориться приблизно 110 м<sup>3</sup> ошклованих ВАВ. За час експлуатації реакторів ВВЕР-1000 накопичиться близько 8200 т ВЯП [8, 12]. Крім того, ВЯП реакторів РБМК-1000 становить близько 2400 т [12, 16, 17]. За умови, що в Україні не буде подовжено ресурс існуючих реакторів<sup>2</sup>, їх кількість залишиться тією самою, інтенсивність утворення РАВ не зміниться і не впроваджуватимуться нові технології зменшення об’єму відходів, очікують [12], що в період експлуатації вітчизняних АЕС (навіть за винятком ЧАЕС) загалом буде нагромаджено 88 536 м<sup>3</sup> РАВ, зокрема 33 004 м<sup>3</sup> РРВ і 55 532 м<sup>3</sup> ТРВ.

У зв’язку з тим що, згідно з законодавством України [5], ВЯП не є РАВ, воно підлягає зберіганню. Оскільки ВЯП містить низку цінних компонентів для виробництва стабільних ізотопів і свіжого палива, у подальшому проводять його радіохімічну переробку. За схемою, що існувала до розпаду СРСР, ВЯП блоків ВВЕР мали направляти на радіохімічні заводи Росії: паливо ВВЕР-440 – в Озерськ (колишній Челябінськ-65; виробниче об’єднання (ВО) “Маяк”, завод РТ-1, переробку почато у 1986 р.), а паливо ВВЕР-1000 – у м. Красноярськ-26 (Сибірський хімкомбінат, завод РТ-2, що будують) [7]. За даними [16], ступінь готовності заводу РТ-2 становила лише 30 %. ВЯП реакторів РБМК, враховуючи меншу в них концентрацію продуктів ділення і величину тепловіддачі, не потребує обов’язкової радіохімічної переробки. Таким чином, ВЯП реакторів РБМК-1000 ЧАЕС тривалий термін зберігають у стаціонарних сховищах. Загалом, за даними [14], на цей час з України до Російської Федерації (РФ) на переробку відправлено близько третини ВЯП реакторів ВВЕР-440 і ВВЕР-1000.

Практично в усіх країнах, де ведеться переробка ВЯП, кінцевим продуктом є ошкловані ВАВ, що залиті у металеві каністри (питома сумарна активність цих відходів 40–50 Ки/л). За

переробки 1 т ВЯП отримують від 200 до 400 л ошклованої матриці в каністрах [7, 14].

Після 25–30-річної витримки на підприємстві, де проводили переробку, згідно з контрактами, каністри з ВАВ потрібно повертати у країни-відправники ВЯП. Отже, незалежно від того, яке рішення буде ухвалено Україною щодо заключної стадії ядерного паливного циклу, перші ВАВ після переробки з РФ мають надійти до нашої держави вже у 2013 р. Відповідно до даних попередньої оцінки [16], за дотримання цієї технології з РФ до України до 2025 р. може бути повернено близько 1150 м<sup>3</sup> ошклованих ВАВ (за даними [8], їх об’єм може становити 1240 м<sup>3</sup>). Переробивши все накопичене ВЯП, Україна на довготривалі зберігання (захоронення) у спеціальних сховищах має отримати приблизно 10 тис. м<sup>3</sup> ВАВ (попередні оцінки [7]). Разом з тим для прийому таких відходів у нашій державі відсутні вимоги до тимчасового їх зберігання, а також відповідна інфраструктура.

На цей час важко точно оцінити обсяги ВАВ і ДІВ, що утворюватимуться у разі зняття з експлуатації ядерних установок вітчизняних АЕС, оскільки відповідні проекти ще не розроблено. За попередньою оцінкою, у майбутньому за демонтажу ядерних блоків<sup>2</sup> Рівненської (1-й блок – уже у 2010 р.), Південноукраїнської (1-й блок – уже у 2012 р.), Запорізької (1-й блок у 2014 р.) та Хмельницької (1-й блок у 2017 р.) АЕС очікують [7] отримання 145,6 тис. м<sup>3</sup> РАВ (за оцінками [8] – 76 тис. м<sup>3</sup>). Вони являтимуть собою внутрішньокорпусне устаткування реакторів (бетон, металокожухи тощо). З них 13,0 тис. м<sup>3</sup> – це САВ і ВАВ з довгоіснуючими радіонуклідами [7] (за даними [8] об’єм їх сягне 15,0 тис. м<sup>3</sup>, а за підрахунками [12] – лише 7 тис. м<sup>3</sup>). Крім того, приблизно 114 т ВАВ може утворитись у разі зняття з експлуатації трьох блоків ЧАЕС [12].

Однак, згідно з прийнятою “Енергетичною стратегією України на період до 2030 року” [15], заплановано продовжити на 15 років ресурс реакторів, що експлуатуються, а також побудувати і ввести в експлуатацію замість нові енергоблоки. Відповідно, очікується не лише подальше зростання виробництва електроенергії на АЕС (до 219 млрд кВт · год у 2030 р. порівняно з виробленими 90,3 млрд кВт · год у 2006 р. [12]), а й збільшення обсягів річного утворення РАВ і прискорення темпів їх накопичення. Зокрема, за даними [12], загальна кількість лише ВЯП реакторів ВВЕР становитиме близько 40 000 т.

У процесі *видобутку та переробки уранових руд* на нині діючих об’єктах цієї промисловості України, які належать до підприємств ядерного паливного циклу, станом на 01.01.2006 р. [18] на-

<sup>2</sup> Згідно з міжнародною практикою і попередніми оцінками, очікуваний надпроектний термін подовження експлуатації діючих енергоблоків може становити 10–15 років.

громаджено відходів переробки зазначеної сировини загальним обсягом приблизно 60 млн т. Їх сумарна активність становить  $450 \cdot 10^{12}$  Бк. Відповідно до [11, 13, 19], відходи розміщені у хвостосховищах загальною площею 542 га. Так, лише у хвостосховищі «Балка «Щ»» Гідрометалургійного заводу Східного гірничозбагачувального комбінату, яке розташоване на 1,5 км на південь від м. Жовті Води в межах балки Щербаківська (притока р. Жовта), зберігається 34 млн т відходів уранового виробництва активністю  $357,5 \cdot 10^{12}$  Бк [20]. Станом на 01.10.2008 р. хвостосховище заповнено на 84 % [21].

ВО «Придніпровський хімічний завод» (м. Дніпродзержинськ) у період з 1949 по 1991 р. переробляло доменний шлак, урановмісні концентрати та уранову руду. У результаті діяльності цього колишнього підприємства у його 9 хвостосховищах накопичено до 42 млн т відходів переробки уранових руд загальною активністю  $2,7 \cdot 10^{15}$  Бк (середня питома активність 6,4 кБк/кг). Причому два з цих 9 хвостосховищ розташовані поза територією ВО. Це сховища відходів уранового виробництва «ДП-6» (сховище демонтованих конструкцій домни № 6, площа 1,8 га) та «База С» (колишній склад уранової руди, площа 25 га). Зокрема, в них нагромаджено до 0,2 млн т відходів уранового виробництва загальною активністю  $4,4 \cdot 10^{14}$  Бк (середня питома активність 2,2 МБк/кг) [22]. Загальна площа 9 хвостосховищ 2,43 млн м<sup>2</sup>, а двох сховищ відходів уранового виробництва – 0,25 млн м<sup>2</sup>. Потужність експозиційної дози на поверхні хвостосховищ становить від 30 до 35 000 мкР/год (за норми 100 мкР/год).

В Україні, як і в інших країнах світу, у промисловості, медицині, сільському господарстві, науково-дослідній роботі, навчанні та інших галузях народного господарства широко експлуатують установки, що не входять до ядерного паливного циклу. Наприклад, наукові центри у містах Київ і Севастополь експлуатують дослідницькі реактори. Проте у переважній більшості установок застосовують *джерела іонізуючого випромінювання*. Їх використовують у вигляді радіоактивних речовин або пристроїв, що генерують іонізуюче випромінювання. За даними [13], у нашій державі діяльність, пов'язану із застосуванням джерел іонізуючого випромінювання, здійснювали 978 підприємств, установ і організацій немедицинного профілю та понад 2,2 тис. медичних закладів. Наприклад, усі нафтопроводи контролюють на якість зварних з'єднань за допомогою таких джерел, 100 % медичного разового обладнання стерилізують на гамма-установках, джерела використовують у технологічних процесах на цукрозаводах, тютюнових фабриках, заводах безалкогольних напоїв, дуже ефективним є їх застосування для діагностики та лікування онко-

логічних захворювань тощо. Загалом у нашій державі існує понад 25 тис. таких джерел [22] і понад 18 тис. приладів іонізуючого випромінювання, які використовують на більше ніж 7 тис. підприємствах [18]. Найбільш техногенно напруженими регіонами щодо кількості підприємств, які застосовують джерела іонізуючого випромінювання, є Дніпропетровська, Донецька, Харківська, Луганська, Миколаївська, Одеська області.

Таким чином, постає проблема утилізації та подальшого захоронення відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання, які за різних обставин не були передані на збереження до спеціалізованих підприємств. Так, згідно з [20], на підприємстві відкритого акціонерного товариства (ВАТ) «Електрон-Газ» (м. Жовті Води) зберігають 17 996 одиниць джерел іонізуючого та нейтронного випромінювання сумарною активністю 14 675 Кі, більшу частину яких накопичено у 1990–1991 рр. Загалом спеціалізовану діяльність щодо поводження з РАВ, що утворились за застосування джерел іонізуючого випромінювання у народному господарстві, в Україні виконує Державне об'єднання «Радон» (УкрДО «Радон»). Нині міжобласними спеціалізованими комбінатами цього об'єднання (Харківським, Київським, Одеським, Львівським, Дніпропетровським) у пунктах захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) припинено відповідне захоронення РАВ і відходів у вигляді відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання. Всі відходи, що надходять, перебувають на збереженні з метою їх вивезення в майбутньому до спеціалізованих сховищ. За даними [12], у сховищах спецкомбінатів міститься приблизно 5600 м<sup>3</sup> РАВ неядерного сектора (промисловість, медичні й наукові заклади), а також близько 272 000 відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання. Загальна активність РАВ УкрДО «Радон» на 01.01.2006 р. становила  $3,07 \cdot 10^{16}$  Бк [12]. На цей час проблематично оцінити, які з них є ВАВ і ДІВ [4].

За даними [20, 23], у *зоні відчуження і зоні безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВ)* загальний об'єм утворених унаслідок аварії на ЧАЕС РАВ (техніка, конструкції, тимчасові захоронення), надзвичайно різноманітних за радіонуклідним станом та рівнем питомої активності, становить близько 2,8 млн м<sup>3</sup> (без урахування ОУ та відходів зняття з експлуатації ЧАЕС). З них у ПЗРВ «Підлісний», «Буряківка», «Рудий Ліс» і «Стара будбаза» та пунктах тимчасової локалізації радіоактивних відходів кількістю понад 800 у 24 районах міститься більше 2,0 млн м<sup>3</sup> РАВ із загальною активністю близько  $7,4 \cdot 10^{15}$  Бк [22] (за оцінкою [7] – 2,3 млн м<sup>3</sup> і  $7,7 \cdot 10^{15}$  Бк або 210 тис. Кі відповідно). З них у ПЗРВ зосереджено до 12 500 м<sup>3</sup> ДІВ (майже всі у ПЗРВ «Підлісний») [4].

Загальна активність радіоактивних речовин у природних об'єктах ЗВ (у поверхневому шарі ґрунту, донних відкладах водойм, рослинності тощо) становить понад  $8,5 \cdot 10^{15}$  Бк. Загальний об'єм радіоактивно забруднених матеріалів, зосереджених у ЗВ, 11 млн м<sup>3</sup> [22] (за даними [24, 25] – 1,1 млрд м<sup>3</sup>). Основні з них належать до короткоіснуючих НАВ і САВ.

На об'єкті “Укриття”, який є зруйнованим 4-м блоком ЧАЕС, що внаслідок аварії втратив усі функціональні властивості енергоблока, а також на його промисловому майданчику, за матеріалами [22], зосереджено від 400 000 до 1 740 000 м<sup>3</sup> РАВ (за даними [12], власне на ОУ – понад 600 000 м<sup>3</sup>). Станом на початок 2006 р. їх загальна активність дорівнювала приблизно  $4,1 \cdot 10^{17}$  Бк. З цих відходів, що зберігаються на ОУ, щонайменше 44 000 м<sup>3</sup> належать до ВАВ і ДІВ [12, 17], близько  $2 \cdot 10^5$  т – до НАВ [25].

Під час аварії ядерні матеріали були рознесені по багатьох приміщеннях ОУ, і на сьогодні вони є головним джерелом радіаційної та ядерної небезпеки. Власне у зруйнованому 4-му енергоблоці за різними оцінками зосереджено до 214 т ядерного палива, яке міститься у паливовмісних матеріалах (ПВМ) [18]. Наявність на об'єкті такої кількості збагаченого урану і трансуранових ізотопів потенційно може призвести до виникнення самопідтримуваної ланцюгової реакції [11].

На ОУ відбувається також постійне накопичення вод атмосферного, ґрунтового, конденсаційного й технологічного походження. У результаті взаємодії вод з радіоактивними матеріалами утворюються РРВ. З приміщень об'єкта, до яких є доступ, щорічно відкачують до 900 м<sup>3</sup> РРВ, які транспортують до системи переробки і зберігання РРВ на ЧАЕС [22]. Нині у сховищах ЧАЕС міститься приблизно 20 000 м<sup>3</sup> РРВ і 2500 м<sup>3</sup> ТРВ [12]. За зняття з експлуатації і демонтажу технологічного устаткування 1–3 енергоблоків станції може утворитись близько 7000 т металевих РАВ.

Під час аварії і робіт щодо ліквідації її наслідків на промисловому майданчику навколо 4-го блока ЧАЕС утворилась товща радіоактивно забруднених ґрунтів. Потужність експозиційної дози від активного шару ґрунтів у свердловинах на глибині від 2 до 10 м досягає 6–10 Р/год. Кількість ядерного палива у ґрунтах становить близько 0,75 т [23]. За оцінками авторів цієї публікації, з-поміж РАВ, які представлені техногенними ґрунтами, до НАВ і САВ віднесено 286 тис. м<sup>3</sup>, або 536 тис. т. Кількість ВАВ дорівнює 15 тис. м<sup>3</sup>.

На промайданчику ЧАЕС є 4 ядерні установки: реактори першого, другого і третього енергоблоків з типом реактора РБМК-1000 та СВЯП-1. Усього на ЧАЕС зберігається 21 284

відпрацьовані паливні збірки, у тім числі 53 дефектні збірки, які мають значні механічні ушкодження (15 603 у СВЯП-1 і 5681 на енергоблоках) [18]. Як ми зазначили, кількість ВЯП реакторів РБМК-1000, яке зберігається на майданчику ЧАЕС, становить майже 2400 т [12, 16, 17]. Разом з тим, згідно з [26], передбачена можливість збереження як РАВ певних типів ВЯП чи деяких його партій, наприклад, палива реакторів РБМК-1000 або пошкоджених тепловидільних збірок [4].

Крім описаних місцями концентрації вказаних відходів за межами ЗВ на сьогодні є сформовані в період проведення дезактиваційних робіт (1987–1989) *організовані пункти збору РАВ і відходів дезактивації* в Київській, Житомирській і, частково, Чернігівській областях. Загальна їх кількість – 59, у тім числі 47 сховищ і 12 пунктів спеціальної обробки техніки [7]. Однак даних щодо наявних у цих пунктах відходів, за винятком їх сумарної активності, вкрай мало. Автори праці [12] приблизно оцінюють обсяги РАВ у них у 170 000 м<sup>3</sup>.

Внаслідок аварії на ЧАЕС значна частина радіонуклідів дуже швидко накопичувалась донними відкладами і завислими наносами *об'єктів дніпровської водної системи*. Серед усіх водойм дніпровського каскаду найбільш забрудненими <sup>137</sup>Cs (та іншими радіонуклідами) виявились донні відклади у Київському водосховищі. За даними [27], станом на 01.01.1995 р. запаси <sup>137</sup>Cs у донних відкладах цього водосховища оцінено у  $7,96 \cdot 10^{13}$  Бк (середня щільність забруднення  $8,63 \cdot 10^{10}$  Бк/км<sup>2</sup>). Усього в каскаді запаси <sup>137</sup>Cs становили  $15,6 \cdot 10^{13}$  Бк. Припускають [23], що і на 2005 р. ці величини суттєво не змінилися.

Загалом значна частина РАВ чорнобильського походження зберігається в умовах, які не повною мірою відповідають нормам, правилам і стандартам радіаційної безпеки.

Деяка кількість РАВ зберігається також на відповідних *об'єктах Міністерства оборони і Прикордонної служби* України.

Таким чином, підсумовуючи аналіз наявних обсягів РАВ в Україні, доходимо висновку, що за матеріалами різних авторів вони різняться. Це пояснюється тим, що різними дослідницькими колективами у підрахунках були використані різні, іноді істотно відмінні вихідні дані (можливо, у деяких випадках дещо застарілі або неточні), а також різні методики обчислення об'ємів відходів. Все ж результати всіх фахівців свідчать, що обсяги РАВ є значними, їх кількість з року в рік зростає. Так, лише найнебезпечніших ВАВ і ДІВ до 2025 р. у нашій державі буде накопичено до 62 000 м<sup>3</sup> [4, 28] (за оцінками [12] – близько 56 000 м<sup>3</sup>). Тому зрозумілими є існування комплексу проблем, пов'язаних з видаленням РАВ з біосфери, а також актуальність їх розв'язання. У

цьому контексті зупинимось на огляді результатів деяких методологічних напрацювань.

**Проблеми геологічної ізоляції РАВ.** У розвинутих країнах світу практикують дві **форми ізоляції РАВ** – зберігання і захоронення, аргументовані низкою економічних і соціально-політичних чинників. Зокрема, **зберігання** передбачає подальшу можливість переробки відходів у майбутньому в міру впровадження ефективних технологій утилізації та ліквідації. Для деяких категорій РАВ (зокрема тепловидільних) ця форма ізоляції протягом певного часу є обов'язковою. Загалом зберігання характеризується порівняно невеликими капітальними вкладеннями і досить великими, з огляду на сотні років експлуатації, постійними витратами, включно з їх фізичним захистом [4]. Крім того, існують ризики повторного забруднення довкілля у випадку різноманітних надзвичайних ситуацій (наприклад, падіння літаків) або втручання людського чинника (терористичні акти, військові дії тощо).

Натомість **захоронення** потребує значних капіталовкладень, проте експлуатаційні витрати практично обмежуються природоохоронним контролем. На підставі виконаного аналізу [4] підраховано, що через певний проміжок часу захоронення РАВ в Україні стає економічно більш виправданим порівняно з їх зберіганням. Більш того, кошти, які нині економлять на захороненні, відбирають у наших нащадків.

Технологія захоронення концептуально відрізняється від технології зберігання. Остання ґрунтується на герметичній ізоляції РАВ від біосфери. Технологія захоронення виходить з визнання неможливості попередити розсіювання радіонуклідів із штучних упаковок на тривалу перспективу через те, що корозія у будь-якому випадку рано чи пізно порушить їхню герметичність і, як наслідок, почнеться дисперсія або розбавлення радіонуклідів у вмісному середовищі. Тому геологічним формаціям надається роль природного бар'єра, в межах якого відбуватиметься дуже повільне розсіювання радіонуклідів до безпечного рівня. Ізоляційні властивості геологічного середовища мають гарантувати цей рівень. Значений принцип забезпечення безпеки сформувався поступово у противагу принципу герметичної ізоляції.

Передовою світовою практикою напрацьовано **головні напрями захоронення**: приповерхневе і глибоке, із застосуванням геологічних формацій. Захоронення поверхневе (**приповерхневе**) – вид захоронення РАВ у спорудах, що розташовані на поверхні або у поверхневих шарах землі, коли товщина захисного покриття становить декілька метрів, або захоронення у виробках на глибині декількох десятків метрів від поверхні [8]. Захоронення **глибинне** (у стабільних геологіч-

них формаціях) – вид захоронення РАВ, який використовує систему інженерних і природних бар'єрів, що розташовані на глибині сотень метрів від поверхні землі (і глибше), з метою тривалої (на період часу, порівнянний з часом життя сотень майбутніх людських поколінь) ізоляції РАВ від попадання у біосферу.

Вибір **типу сховища** для **захоронення РАВ** (поверхневе або геологічне) пов'язаний із властивостями відходів (їх питомою активністю, радіонуклідним складом, потужністю дози випромінювання, терміном їх контролю органами державного регулювання). Сховища **приповерхневого** типу створюють для ізоляції НАВ і короткоіснуючих САВ. Згідно з прийнятими у більшості європейських країн стратегіями, рекомендується, щоб захоронення короткоіснуючих НАВ і САВ було здійснено якнайшвидше. У цей самий період необхідно виконувати роботи з проектування і будівництва сховищ для проміжного зберігання ДІВ і ВАВ. Проте слід пам'ятати, що у майбутньому приповерхневі сховища можуть становити небезпеку для довкілля з огляду на ймовірність впливу низки деструктивних геологічних явищ і процесів.

ДІВ підлягають захороненню лише у твердому стані, у **стабільних геологічних формаціях**, з обов'язковим переведенням їх у вибухо-, пожежо- і ядернобезпечну форму, що гарантує локалізацію відходів у межах гірничого відводу надр [5]. Зрозуміло, що у сховищі геологічного типу також потрібно захоронювати найнебезпечніші для навколишнього природного середовища ВАВ. Зазначені формації мають бути здатними виконувати функцію довготривалого просторово-розвинутого бар'єра. Таке концептуальне положення підтримується рішеннями Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) при ООН. Цим агентством розроблені загальні риси методології вибору і вивчення ділянок для розміщення об'єктів ізоляції ВАВ і довгоіснуючих САВ (підземних експериментальних лабораторій і власне сховищ), відповідні критерії та технічні умови, які передові країни враховують і розвивають в їх національних програмах поводження з РАВ і проектування сховищ, проте робиться це з огляду на конкретні економічні, геологічні, екологічні, соціальні, політичні умови. Втім технологія підземного захоронення ВАВ на цей час ще не впроваджена ніде у світі. В Україні РАВ усіх типів і рівнів активності перебувають на зберіганні. Захоронення забезпечено для дуже обмеженої частини відходів. Єдиною площадкою для захоронення в державі є створений у 1987 р. ПЗРВ “Буряківка” в межах ЗВ, де захоронюють НАВ і САВ чорнобильського походження (експлуатація сховища досі триває). За даними [12], у ньому розміщено до  $7,0 \cdot 10^5$  м<sup>3</sup> РАВ сумарною активністю  $2,45 \cdot 10^{15}$  Бк.

Нижче детальніше розглянуто деякі методологічні аспекти захоронення РАВ, оскільки прикладна сторона нашої публікації (характеристика практичних можливостей методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у процесі вибору придатних площ) присвячена саме цій формі їхньої ізоляції. Отже, за рекомендаціями МАГАТЕ, узагальненими у праці [29], **методологія вибору й оцінювання ділянок** включає три основні способи: розробка системи критеріїв виключення–вибору, створення комплексу моделей геологічного об'єкта та побудова оцінювальної моделі об'єкта (за результатами порівняння системи критеріїв та моделі геологічного утворення). Тут критерії – це комплекс обмежувальних умов стосовно можливості цільового використання об'єктів–кандидатів. Модель – цільове адекватне відображення в певному масштабі основних характеристик об'єкта. На певних етапах робіт окремі моделі ніби “приміряють” щодо відповідних критеріїв і за результатами цієї “примірки” оцінюють.

Згідно з прийнятою методологією, а також на основі досвіду передових країн з подальшою деталізацією і адаптацією до конкретних умов України найсуттєвішими **критеріями оцінки районів** для вибору і ранжування місця створення геологічного сховища було визначено [7, 29–32] такі (регіональний рівень вибору).

- **Критерії безпеки (техніко-геологічні):** тектонічні, неотектонічні, сейсмологічні, формаційної приналежності, гідрогеологічні, геохімічні, геомеханічні, геоморфологічні, гідрологічні, кліматичні, перспективності щодо родовищ корисних копалин.
- **Соціально-політичні критерії:** демографічні, економічні, забрудненість території внаслідок Чорнобильської катастрофи.
- **Техніко-економічні критерії:** вартість спорудження, технологічні складності.

Для оцінки перспективних геологічних об'єктів за бальною схемою **груп техніко-геологічних критеріїв**, або еколого-гірничо-геологічних [29], ранжирувано таким чином.

- I. **Основна, критично-визначальна** – тектонічний, структурний, сейсмічний, неотектонічний, формаційний (характеристика вмісної формації), геологічної перспективності, максимальна оцінка 10 балів.
- II. **Визначально-суттєва** – гідрогеологічний (гідродинамічний), літологічний (і мінералогічний), техногенної завантаженості, максимальна оцінка 8 балів.
- III. **Визначально-впливова** – проникність розрізу, кліматичний, геоморфологічний, гідрологічний, максимальна оцінка 6 балів.
- IV. **Визначальна** – формаційний (характеристика розрізу), геохімічний (зокрема гідрохімічний), максимальна оцінка 4 бали.

Отже, критерій вибору регіону (ділянки, площадки – місця загалом) для захоронення РАВ – це числове значення показника придатності (показника геологічної придатності), що дає змогу прийняти рішення про те, чи задовольняє місце встановленим вимогам і перевагам. Тут вимога – умова, яку обов'язково належить виконати, а перевага – умова, яку бажано виконати незалежно від стадії вибору місця [8]. Важливою особливістю критеріїв є те, що їх визначають кількісно. Кількісні значення критеріїв пов'язані з рівнем вивченості показників придатності місця, тому їх встановлюють за результатами останньої стадії розвідувальних робіт, за результатами виконання оцінки безпеки системи ізоляції РАВ, оцінки впливу сховища на навколишнє середовище і використовують для обґрунтування рішення про вибір місця і проектування сховища РАВ.

З огляду на застосований нами комплекс аерокосмічних досліджень з метою вибору місць ізоляції РАВ нижче детальніше розглянуто еколого-гірничо-геологічні критерії, викладені у [29], за якими оцінено придатність цих місць із залученням даних ДЗЗ. Адже низку критеріальних параметрів визначають або безпосередньо на матеріалах аерокосмічних зйомок (МАКЗ), або опосередковано за комплексом геоіндикаторів в особливостях будови ландшафту земної поверхні. Зокрема, **тектонічний критерій** має враховувати наявність і особливості поширення по площі диз'юнктивних і плікативних структур у межах ділянки, їх ранг, глибину прояву, форми залягання, час закладання, етапи активізації, параметри мікротріщинуватості, прояви діапіризму тощо. Ділянка має бути розташована у межах стійкого, більш-менш монолітного блока земної кори, в геодинамічно стабільних зонах.

**Структурний критерій** (наприклад, для магматичних і метаморфічних формацій стосовно умов Українського щита – УЩ) передбачає розмір і геометрію ділянки, тобто масиву гірських порід (як структурної одиниці, блока з мінімальною щільністю розривних дислокацій), що забезпечує глибину вмісної товщі 500–600 м за товщини перекривних утворень кристалічного фундаменту не менше 300 м з відстанню від обмежувальних диз'юнктивних порушень не менше 3,5 км, а також достатньою відстанню від виражених плікативних форм. Ділянка не має містити зон дроблення і тріщинуватості порід, або ж характер тріщинуватості і зон розущільнення має забезпечувати безпечні фільтраційні їхні параметри.

**Сейсмічний критерій** указує на вибір зон з низьким рівнем сейсмічності. За даними [29], ці зони можуть зазнавати вплив землетрусів з магнітудою не більше 5 та інтенсивністю не вище 7 балів. На думку дослідників [33, 34], придатни-



ми є райони, в межах яких зареєстровано не більше 10 поштовхів.

*Неотектонічний критерій* має оцінювати два аспекти: вертикальні рухи власне структурних одиниць (ділянок, блоків) і характер активності обмежувальних розривних дислокацій. Ділянка має бути розташована на неотектонічно стабільних площах, з виключенням зон активних сучасних рухів, передовсім піднятих, а також занурень. У праці [35] вказано на незначне новітнє підймання або повільне опускання земної кори як сприятливі для здійснення безпечного захоплення умови. Сумарні амплітуди односпрямованих і знакозмінних неоген-четвертинних рухів до 220–220 м можна розглядати як прийнятні. Автори публікацій [33, 34] вважають, що граничні значення четвертинної активності (вертикальні рухи кори) для віднесення району до придатного становлять менше 4 м/10 тис. років. Щодо другого аспекту – наявність неотектонічно активних розломів, інших дислокацій, а також проявів грязьового вулканізму і діапїризму (сольового, глинистого), суміжних з ділянкою, є небажаною.

*Геоморфологічний критерій* визначає сприятливі рівнинні ділянки з мінімальною розчленованістю рельєфу і незначним уклоном поверхні (до 6°) поза площами прояву небезпечних екзогенних процесів – зсувів, карсту, а також долин річок, заболочених, селенебезпечних, лавинонебезпечних зон тощо. Найсприятливішими є вододільні ділянки, а також, з позицій топографії, ділянки з підвищеними абсолютними позначками і з мінімальною (помірною, до 20–30 м) вертикальною розчленованістю. Важливо, що під основними вододілами відбувається переважно низхідний рух підземних вод у багатоповерховій системі водоносних горизонтів [36], а це є одним з найважливіших *гідрогеологічних критеріїв*. Згідно з останнім, відстань водоносних горизонтів від рівня сховища має бути не менше 30 м [29].

*Гідрологічний критерій* оцінює забезпечення достатньої віддаленості об'єкта від поверхневих водойм та їхнього впливу (зважаючи на небезпеку затоплення або підтоплення у разі повеней, аварійних проривів тощо, а також на фактори інфільтрації й дренажу підземних вод).

Загалом передбачається [36], що окремі, менш сприятливі показники геологічного середовища (але, природно, не всі) можуть бути нейтралізовані варіаціями глибини закладення сховища РАВ, його конструкції або спеціальних захисних заходів у його ближній зоні.

Для оцінки об'єктів досліджень застосовують спеціалізований комплекс *моделей гірничо-геологічного блока*: тектонічні, структурні, геодинамічні (зокрема, неотектонічні та сейсмічні), геоморфологічні, літо(петро)логічні, геохімічні, гідро-

геологічні, геомеханічні та інженерно-геологічні, теплофізичні [29, 30, 37]. Вихідним фактичним матеріалом моделювання слугують дані геолого-розвідувальних робіт (бурових, геофізичних, аерокосмічних тощо). Моделі мають урахувати два аспекти: статичний і кінематичний. Останній має охоплювати дві частини: еволюційну та революційну (тобто малоймовірні катастрофічні явища).

Найбільш об'єктивно та ефективно розвиток процесів геофлюїдодинаміки на новітньому і сучасному етапах тектогенезу досліджують комплексуванням різних видів *дистанційних аерокосмічних зйомок* з наземними геофізичними, геохімічними і гідрогеологічними роботами. Їх доповнюють неотектонічними і морфометричними побудовами, кількісним лінеаментним аналізом. Спільне їх залучення і моделювання процесів енергомасообміну на основі отриманих даних дають змогу уточнювати і деталізувати особливості розломно-блокової будови територій, виявляти основні закономірності системної організації диз'юнктивів, визначити їхні структурно-морфокінематичні та геодинамічні характеристики, виділяти відносно стабільні, монолітні блоки земної кори, задовільні за геометричними параметрами для створення сховищ РАВ, аналізувати безпеку останніх з позицій неотектоніки, а також виявляти несприятливі для ізоляції ділянки розвитку гірських порід з передбачувано високими фільтраційно-ємнісними властивостями, для яких притаманні підвищені значення щільності лінеаментів. При цьому, відповідно до [38], застосовують методичні способи комплексної багаторівневої (багатосхідчастої) геологічної інтерпретації результатів тематичного дешифрування МАКЗ і даних геолого-геофізичних робіт.

За прикладом передових країн стратегія ізоляції РАВ у геологічних формаціях має включати вибір як базових, так і альтернативних ділянок. Останні розглядають на випадок невідповідності пріоритетних (тобто базових) ділянок якимось вирішальним умовам (як, наприклад, це було у Великій Британії, Німеччині та деяких інших країнах). Загалом має бути не менше трьох варіантів розташування сховища.

Отже, загалом типові характеристики, яким мають відповідати геологічні умови сховища, є такими [8]:

- тривала (протягом мільйонів років) геологічна стабільність;
- низька водонасиченість і сповільнений водообмін на глибині розміщення сховища (при цьому бажано показати, що ці характеристики є стабільними протягом сотень тисяч років);
- стабільність геохімічних і гідрогеохімічних умов на глибині розміщення сховища (переважно окисно-відновних умов і складу вод);

- сприятливі гірсько-механічні властивості, що дає змогу побудувати сховище і експлуатувати його протягом декількох десятиліть (або навіть століть).

Відповідно до концепції й програми “Ізоляція РАВ в геологічних формаціях”, створеної в Україні багатогалузевим спеціалізованим творчим колективом [24, 30], принцип довготривалості (понад 10 тис. років) ізоляції РАВ також ґрунтується на уявленні про об’єкт ізоляції відходів (сховище) як інженерно-геологічну систему багатобар’єрного характеру, що містить природні (геологічне середовище) та інженерні бар’єри. Згідно з указаною програмою, на основі спеціальних критеріїв проведено **оцінку території України**. Виділено [30, 32] **три геологічні регіони**, сприятливі для ізоляції РАВ: Український щит, Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ), Північно-Західний Донбас (умовно – Волино-Азовська плита). Намічено [30–32, 39 та ін.] три придатні **типи геологічних формацій**, які розглянуто [35, 40 та ін.] як перспективні в інших регіонах світу: *кристалічні* (тобто магматичні й метаморфічні – в межах УЩ), *соляні* (в межах ДДЗ) і *глинисті*. Останні найбільш поширені в ДДЗ, є у межах Передкарпатського прогину та приазовської частини Причорноморської западини.

ДДЗ має величезне значення для нашої держави як головний її артезіанський басейн і нафтогазоносна провінція, що є водообмінною системою з найбільшими ресурсами прісних питтєвих підземних вод (понад 40 % ресурсів України [24]), зі значною товщиною зони прісних вод (до 1000 м), величезними ресурсами мінеральних вод. Це складна багатоповерхова система взаємозв’язку водоносних горизонтів і активізації розривних порушень. З огляду на це перевагу у виборі основних конкуруючих перспективних площ віддано [24, 30, 39 та ін.] **Українському щиту** в межах його північно-західної (Коростенський масив кристалічних порід) і центральної (Корсунь-Новомиргородський і Східноприазовський масиви) частин.

Однак законодавством України передбачено участь громадян, їх об’єднань, а також місцевих органів державної виконавчої влади і органів місцевого самоврядування в ухваленні рішень щодо розміщення нових сховищ РАВ. Як засвідчує досвід деяких країн (Велика Британія, Німеччина), неврегульованість **соціальних і політичних критеріїв** (аспектів) проблеми розміщення сховища може призвести до призупинення робіт щодо його обґрунтування і будівництва. Тому зрозуміло, що будівництво сховища РАВ геологічного типу, навіть за всіх інших позитивних чинників,

не слід здійснювати у густонаселених районах. Перевагу першочергової оцінки можливості створення такого сховища потрібно надавати незаселеним територіям або таким, що впритул до них наближені.

Розміщення сховища РАВ геологічного типу не має призводити до політичних ускладнень у міждержавних стосунках. Відповідний політичний критерій вимагає, щоб згідно з міжнародною практикою сховище РАВ було розташовано на відстані не ближче, ніж 10 км від державного кордону. При цьому всі висновки щодо безпеки сховища, можливих напрямків і радіуса радіаційного впливу у геологічному середовищі й біосфері мають бути надані відповідним органам сусідніх держав. У них має бути доведено, що радіаційний вплив від глибинного сховища РАВ не досягне їх кордонів ні за яких умов [8].

Ураховуючи ці аргументи, більшість дослідників [4, 7, 8, 36, 41, 42 та ін.] під час вибору ділянок для захоронення РАВ у межах УЩ віддає перевагу одному з районів **Коростенського кристалічного масиву**, а саме території *зони відчуження і зони безумовного (обов’язкового) відселення*, що має площу понад 2600 км<sup>2</sup> і більшою, західною, своєю частиною тектонічно приурочена до північно-східного схилу цієї геоструктури (східна практично належить до схилу південного борту ДДЗ). Це найбільш незаселена територія в Європі, землі якої не використовують у сільськогосподарському вжитку. Крім того, з викладеного аналітичного огляду наявних РАВ в Україні, які підлягають обов’язковій ізоляції у сховищі геологічного типу, впливає, що понад 90 % їхнього обсягу виникли внаслідок Чорнобильської катастрофи і сконцентровані в межах ЗВ [4, 36] (за даними [41] – понад 97 %, за оцінками [8] – понад 80 %). Тут уже існує досить розвинена та перспективна для подальшого розвитку інфраструктура. Тому створення центрального геологічного сховища (ЦГС) РАВ, що мало б ранг національного, “Державною програмою поводження з радіоактивними відходами” [43] передбачено саме в межах ЗВ на базі виробничого комплексу “Вектор”<sup>3</sup>. Спорудження у цьому районі ЦГС також сприятиме розв’язанню низки соціально-економічних проблем, які пов’язані зі зняттям з експлуатації ЧАЕС (передусім мається на увазі перекваліфікація працюючих станції з подальшою зайнятістю їх на сховищі). Таким чином, будівництво такого об’єкта не спричинить соціального протесту, що очікується у разі його створення в будь-якому іншому регіоні України.

За оцінками [4], для ізоляції всієї кількості РАВ в Україні необхідно створити геологічне схо-

<sup>3</sup> Комплекс “Вектор” (комплекс виробництв з дезактивації, транспортування, переробки і захоронення РАВ з територій, що забруднені внаслідок аварії на ЧАЕС) призначено для приповерхневого захоронення короткоіснуючих НАВ і САВ. Перша черга комплексу (56 сховищ) призначена для захоронення відходів загальним об’ємом 530 тис. м<sup>3</sup> [12]. На площадці комплексу вже завершено спорудження перших сховищ (дві секції), отримано ліцензію на їх експлуатацію.

вище об'ємом до 160 000 м<sup>3</sup>. Передбачається [8, 12], що в ньому будуть ізольовані такі технологічні типи РАВ:

- ошкловані ВАВ (продукт радіохімічної переробки в РФ ВЯП українських АЕС);
- ВЯП реакторів РБМК-1000;
- ВАВ, що виникли під час експлуатації АЕС;
- ВАВ і ДІВ, що виникнуть у процесі зняття з експлуатації енергоблоків АЕС;
- ВАВ і ДІВ об'єкта "Укриття" (зокрема ВЯП, фрагменти активної зони реактора і ПВМ);
- ВАВ і ДІВ, що утворились унаслідок Чорнобильської катастрофи і тимчасово локалізовані у сховищах Чорнобильської ЗВ;
- ДІВ, що зберігаються на пунктах захоронення РАВ міжобласних спецкомбінатів УкрДО "Радон", і деякі типи відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання.

Які ж ділянки у межах ЗВ за геологічними показниками мають перевагу стосовно вибору їх для глибинного захоронення РАВ? Цілком слушно В.М. Шестопалов [36] вважає необхідним у цьому питанні враховувати тріщинуватість докембрійських кристалічних порід, з якою тісно пов'язана їхня проникність. Чим масивніші такі гірські утворення і менша в них тріщинуватість, тим нижчою буде за водної міграції дисперсія (розсіювання) небезпечних радіонуклідів, що можуть потрапити у навколишнє середовище з геологічного сховища, а отже, більшою їх концентрація в тріщинах, які рідко траплятимуться. Визначити виходи таких тріщин у приповерхневій зоні здебільшого практично неможливо. Звичайно, певний приріст інформації з цього приводу надають дані ДЗЗ, на яких відображаються новітньо активізовані флюїдогеодинамічні структури, що мають значну глибину проникнення. Загалом ділянки з виходами кристалічних різновидів на земну поверхню (на території ЗВ вони відсутні) або такі, що перекриті четвертинними відкладами незначної товщини, не є кращими.

Натомість сприятливішими є площі, в межах яких кристалічні породи перекриті шаром гранулярних слабопроникних і водоносних відкладів достатньої товщини. Це пов'язано з такими міркуваннями, а саме: висхідний рух вод, які потенційно можуть бути насиченими радіонуклідами, з окремих тріщин кристалічних утворень в осадові шари, що залягають вище, приводить до значного зубожіння вод цими радіонуклідами у величезному, порівняно зі скельними породами, гранулярному резервуарі [36]. Як наслідок, різко активізуються процеси дисперсії й сорбції радіонуклідів у відкладах осадочного чохла. Тому останні є могутнім додатковим бар'єром на шляхах міграції радіонуклідів у біосферу. Враховуючи наведені погляди, західна частина ЗВ і суміжні ділянки вважаємо більш перспективними для

спорудження в їх межах сховища РАВ у стабільних геологічних формаціях.

Отже, для геологічного захоронення РАВ кристалічні породи докембрію УЩ є однією із сприятливих формацій, вони можуть бути надійним природним бар'єром у разі поширення радіонуклідів з ЦГС у навколишнє середовище, тим самим мінімізувавши їх вплив на довкілля і безпеку життєдіяльності людини. Як найперспективнішу для ізоляції РАВ геоструктуру щита виділяють [4, 7, 8, 36, 41, 42 та ін.] Коростенський масив неопротерозойських кристалічних порід (або плутон), північно-східні схили якого занурюються у напрямку ЗВ.

Геологічну будову ЗВ і прилеглих до неї районів, фактичні дані ДЗЗ і геолого-геофізичних робіт, які застосовано у дослідженнях, а також конкретні результати використання дистанційних аерокосмічних технологій для вибору ділянок і площ, придатних для глибинного захоронення РАВ у межах цієї території, розглянемо у наступних частинах статті.

**Висновки з дослідження.** Процес прогресуючого накопичення небезпечних промислових відходів у нашій державі триває, а ситуація, яка склалась у сфері зберігання РАВ, наближається до критичної межі. ВАВ і середньоактивні ДІВ підлягають остаточному видаленню у глибокі геологічні формації, що є найнадійнішим природним бар'єром поширення радіоактивності, – у геологічне сховище. Переважна кількість РАВ України, що мають бути перероблені та надійно в цих формаціях захоронені, розміщена на території Чорнобильської ЗВ і зберігається без дотримання вимог радіаційного захисту населення і довкілля. У межах ЗВ більшість дослідників й пропонують створити ЦГС. Для вибору необхідного місця насамперед потрібно провести комплекс різноманітних геолого-геофізичних робіт, чільне місце серед яких належить аерокосмогеологічним дослідженням.

1. *Виговська Г.П., Міщенко В.С.* Про стан проблеми відходів // Тр. II Наук.-техн. конф. "Нові технології та обладнання по переробці промислових та побутових відходів і їх медико-екологічне забезпечення" (17–20 лют. 2003 р., смт Східниця). – К.: Знання України, 2003. – С. 8–13.
2. *Міщенко В.С., Виговська Г.П.* Організаційно-економічний механізм поводження з відходами в Україні та шляхи його вдосконалення. – К.: Наук. думка, 2009. – 295 с.
3. *Міщенко В.С.* Зберігання відходів на території підприємств і його нормативно-правове забезпечення // Тр. II наук.-техн. конф. "Нові технології та обладнання по переробці промислових та побутових відходів і їх медико-екологічне забезпечення" (17–20 лют. 2003 р., смт Східниця). – К.: Знання України, 2003. – С. 3–8.

4. Шестопалов В.М., Гошовський С.В., Луцько В.С. та ін. Ізоляція високоактивних і довгоіснуючих радіоактивних відходів в Україні (правовий і технічний статус, стан вирішення, проблеми і перспективи) // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – № 4. – С. 30–35.
5. Закон України “Про поводження з радіоактивними відходами” // Відомості Верховної Ради. – 1995. – № 27. – Ст. 198.
6. *Radioactive waste management glossary*. – Vienna: Int. Atomic Energy Agency, 2003. – 61 p.
7. Авдеев О.К., Кретишин А.А., Леденев А.И. и др. Радиоактивные отходы Украины: состояние, проблемы, решения / Под общ. ред. Э.В. Собоновича. – Киев: Издат. центр “ДрУк”, 2003. – 400 с.
8. Шестопалов В.М., Руденко Ю.Ф., Собонович Э.В. и др. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения). – Киев: НИЦ РПИ НАН Украины, 2006. – 398 с.
9. Голубев В., Демчук В., Жебровская Е. и др. Разработка национальной стратегии и концепции по обращению с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию по обращению с радиоактивными отходами НАЭК “Энергоатом”: Проект ТАСИС U4.03/04. / Под общ. ред. В.М. Шестопалова. – Киев: Промінь, 2008. – Т. 2. – 320 с.
10. Закон України “Про внесення змін до деяких законодавчих актів України з питань використання ядерної енергії та радіаційної безпеки” // Відомості Верховної Ради. – 2000. – № 30. – Ст. 236.
11. Рева Г.В., Патон Б.Є., Луцько В.С. та ін. Стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2002 році. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2003. – 292 с.
12. Голубев В., Демчук В., Жебровская Е. и др. Разработка национальной стратегии и концепции по обращению с радиоактивными отходами в Украине, включая стратегию по обращению с радиоактивными отходами НАЭК “Энергоатом”: Проект ТАСИС U4.03/04 / Под общ. ред. В.М. Шестопалова. – Киев: Промінь, 2008. – Т. 1. – 500 с.
13. Рева Г.В., Поляков С.В., Патон Б.Є. та ін. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2003 році. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2004. – 435 с.
14. Ажажа В.М., Белоус В.А., Габелков С.В. и др. Ядерная энергетика. Обращение с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами / Под ред. И.М. Неклюдова. – Киев: Наук. думка, 2006. – 255 с.
15. *Енергетична стратегія України на період до 2030 року* (Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. № 145-р.). – К., 2006. – 129 с.
16. Bradley D.J. Behind the nuclear curtain: radioactive waste management in the former Soviet Union. – Columbus, Ohio: Battelle Press, 1997. – 452 p.
17. Концепція поводження з РАВ на об’єкті “Укриття”: Рішення урядової комісії з питань комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС від 15.10.1999 р. – Чорнобиль, 1999.
18. Балага В.І., Ігнатенко П.М., Патон Б.Є. та ін. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2006. – 241 с.
19. Жванія Д.В., Ігнатенко П.М., Патон Б.Є. та ін. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2004 році. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2005. – 325 с.
20. Шандра В.М., Філіпчук Г.Г., Данилишин Б.М. та ін. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2008. – 229 с.
21. Шандра В.М., Філіпчук Г.Г., Данилишин Б.М. та ін. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. – К.: МНС України, Мінприроди України, НАН України, 2009. – 257 с.
22. Шуфрич Н.І., Джарти В.Г., Патон Б.Є. та ін. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2007. – 236 с.
23. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України. – К.: Атіка, 2006. – 224 с.
24. Собонович Э.В., Шестопалов В.М., Белевцев Р.Я., Яковлев Б.Г. Состояние проблемы захоронения радиоактивных отходов в Украине и геологические аспекты их изоляции // Проблемы Чорнобильської зони відчуження. – 1996. – Вип. 3. – С. 5–16.
25. Батій В.Г., Божко В.П., Ганенко В.Б. та ін. Сортивання радіоактивних відходів чорнобильського походження // Там само. – 2001. – Вип. 7. – С. 56–71.
26. Закон України “Про ратифікацію Об’єднаної конвенції про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами” // Відомості Верховної Ради. – 2000. – № 31. – Ст. 243.
27. *Радиогеоэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. Т. 1. Мониторинг радиоактивного загрязнения природных вод Украины (обзор исследований, выполненных за период 1986–1996 гг.)* / Под общ. ред. О.В. Войцеховича. – Киев: Чернобыльинтеринформ, 1997. – 309 с.
28. Шибецкий Ю.А. Влияние Стратегии извлечения топливосодержащих материалов и обращения с радиоактивными отходами на создание в Украине инфраструктуры для обращения с длительно существующими отходами // Проблемы Чернобиля: Наук.-техн. зб. – Вип. 10. У 2 ч. (Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. “Об’єкт “Укриття”, 15 років: минуле, сучасне, майбутнє”, 27–30 листоп. 2001 р., м. Славутич). – Чорнобиль: МНТЦ “Укриття” НАН України, Об’єкт “Укриття” ДСП “Чорнобильська АЕС”, 2002. – Ч. 1 – С. 444–453.
29. Хрущов Д.П., Шехунова С.Б., Данишурка Н.А. Ізоляція радіоактивних і небезпечних відходів у геологічному середовищі: методологія та критерії вибору ділянок // Геологія в XXI столітті: Шляхи розвитку та перспективи: Зб. наук. праць. – К.: Знання, 2001. – С. 311–323.
30. Хрущов Д.П., Павловський М.А., Шестопалов В.М. та ін. Проблеми видалення радіоактивних і токсичних відходів в Україні та їх еколого-геологічні аспекти // Геол. журн. – 1996. – № 1–2. – С. 100–106.
31. Деконік Ж.М., Собонович Е.В., Шестопалов В.М., Скворцов В.В. Дослідження можливості поховання радіоактивних відходів у глибоких геологічних форма-

- ціях. Проект “КАССЮПЕЯ” // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 1999. – № 13. – С. 64–66.
32. Хрущов Д.П., Табачний Л.Я., Маторін Є.М., Шехунова С.Б. Процедура вибору ділянок для розміщення сховищ радіоактивних і токсичних відходів // Там само. – 2001. – № 18. – С. 34–39.
  33. *Studies of geology and hydrology in the Basin and Range Province, Southwestern United States, for isolation of high-level radioactive waste.* – Wash. (D. C.): U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1989. – N 1370-A. – 41 p.
  34. *Studies of geology and hydrology in the Basin and Range Province, Southwestern United States, for isolation of high-level radioactive waste.* – Ibid. – 1990. – N 1370-H. – 61 p.
  35. Кочкин Б.Т. Геоэкологический подход к выбору районов захоронения радиоактивных отходов. – М.: Наука, 2005. – 116 с.
  36. Шестопалов В.М. Деякі результати рекогносцирувальних робіт у Чорнобильській зоні відчуження з оцінки можливості ізоляції радіоактивних відходів у сховищах геологічного типу // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2004. – № 1 (23). – С. 33–35.
  37. Хрущов Д.П., Лялько В.И., Харитонов О.М. и др. Изоляция радиоактивных отходов в геологических формациях (геолого-теплофизическая часть). – Киев, 1993. – 60 с. – (Препр. / АН Украины. Ин-т геол. наук; 93-3).
  38. Азімов О.Т. Принципи комплексного аналізу та інтерпретації геолого-геофізичних даних і результатів дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок // Проблемы и перспективы использования геоинформационных технологий в горном деле: Докл. III Междунар. науч.-практ. конф. “Проблемы геоинформатики при комплексном освоении недр” (Днепропетровск, 29–31 окт. 2001 г.). – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2001. – С. 94–100.
  39. Гошовський С.В., Яковлев Є.О., Почтаренко В.І., Беланов В.М. Регіональна оцінка стану геологічного середовища з метою обґрунтування полігонів ізоляції радіоактивних відходів // Тез. докл. междунар. конф. “Экологические проблемы захоронения радиоактивных отходов” (Киев, 9–10 марта 2000 г.). – Киев: ГНЦ РОС НАН и МЧС Украины, 2000. – С. 38–39.
  40. *Geological problems in radioactive waste isolation: Second worldwide review, Lawrence Berkeley laboratory report, LBNL-38915 / Ed. P.A. Witherspoon.* – Berkeley, California 94720 US: Univ. of California, 1996. – 270 p.
  41. Соботович Е.В., Дробін Г.Ф., Римарчук Б.І. та ін. Проблема створення Центрального геологічного сховища радіоактивних відходів // Тез. докл. междунар. конф. “Экологические проблемы захоронения радиоактивных отходов” (Киев, 9–10 марта 2000 г.). – Киев: ГНЦ РОС НАН и МЧС Украины, 2000. – С. 16.
  42. Хрущов Д.П., Громок Л.І. Видалення радіоактивних відходів у сховищах геологічного типу // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2003. – № 2 (22). – С. 44–51.
  43. Постанова Кабінету Міністрів України від 29 квітня 1996 р. № 480 “Про Державну програму поводження з радіоактивними відходами” / <http://waste.com.ua/law/postanova290496-480s.html>.

Надійшла до редакції 11.02.2010 р.

О.Т. Азімов

## ПРОБЛЕМИ ГЕОЛОГІЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ В УКРАЇНІ ТА МОЖЛИВОСТІ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИБОРІ СПРИЯТЛИВИХ ДІЛЯНОК. ЧАСТИНА І. ОБСЯГИ ВІДХОДІВ І МЕТОДОЛОГІЯ ЇХ ВИДАЛЕННЯ З ДОВКІЛЛЯ

Розглянуто особливості поводження з відходами, поточний стан обсягів їх нагромадження в Україні, існуючі науково-методологічні підходи до геологічної ізоляції радіоактивних відходів.

**Ключові слова:** радіоактивні відходи, поводження з відходами, ізоляція відходів, геологічне захоронення, геологічне сховище, критерії вибору ділянок.

А.Т. Азімов

## ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В УКРАИНЕ И ВОЗМОЖНОСТИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ БЛАГОПРИЯТНЫХ УЧАСТКОВ. ЧАСТЬ I. ОБЪЕМЫ ОТХОДОВ И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ УДАЛЕНИЯ ИЗ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассмотрены особенности обращения с отходами, текущее состояние объемов их накопления в Украине, существующие научно-методологические подходы к геологической изоляции радиоактивных отходов.

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, обращение с отходами, изоляция отходов, геологическое захоронение, геологическое хранилище, критерии выбора участков.