



Ця публікація видана в межах Ініціативи з розвитку екологічної політики й адвокації в Україні, що здійснюється Міжнародним фондом "Відродження" за фінансової підтримки Швеції. Думки, висновки чи рекомендації належать авторам цього видання і не обов'язково відображають погляди Уряду Швеції. Відповідальність за зміст видання несе виключно Громадська організація «Флора».

Зелінський С.Е.
*доктор наук з державного управління, доцент,
директор Регіонального центру підвищення
кваліфікації Кіровоградської області
s_zel@ukr.net*

Радіаційна безпека та екологічний вплив уранових виробництв в Україні

Зміст

Прийняті скорочення і аббревіатури.....	3
Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1. ПАЛИВНА ОСНОВА АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	5
1. Сучасна атомна енергетика.....	5
2. Принцип роботи АЕС.....	8
3. Ядерний паливний цикл і видобуток урану.....	9
РОЗДІЛ 2. ПИТАННЯ ЯДЕРНОЇ І РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ.....	16
2.1. Визначення ядерної і радіаційної безпеки	16
2.2. Українське нормативно-правове забезпечення ядерного регулювання.....	18
3. Норми іонізуючого опромінення.....	20
4. Поводження з радіоактивними відходами	23
5. Радіаційні відходи від уранових руд.....	26
6. Виклики режиму ядерного регулювання в Україні під час російської агресії.....	27
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ВІДВАЛІВ УРАНОДОБУВАННЯ ТА ХВОСТОСХОВИЩ.....	29
3.1. Радянський урановий радіаційний спадок.....	29
3.2. Забруднення від відвалів уранодобування.....	30
3.3. Деякі екологічні практики управління відвалами гірничовидобувних підприємств.....	34
РОЗДІЛ 4. РАДОНОВА БЕЗПЕКА.....	39
4.1. Радонова безпека населення і її норми.....	39
4.2. Дослідження радонової безпеки в Україні.....	43
4.3. Національні мапи радонового забруднення і сервіси протирадонового забезпечення (зарубіжний досвід).....	49
Висновки	55
Список використаних джерел	57

Прийняті скорочення і аббревіатури

- БЕР (Best Environmental Practices) – найкращі екологічні практики
- CGULS (Coordination Group for Uranium Legacy Sites) – Координаційна група по бувшим урановим об'єктам
- EPA – Environmental Protection Agency (Агенція захисту навколишнього середовища, США)
- ЕРА – Рахунок відновлення навколишнього середовища ЄБРР
- REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) – Регламент з реєстрації, оцінки, авторизації та обмеження виробництва та використання хімічних речовин
- АЕС – атомна електростанція
- АЛАРА – англ. ALARA (As Low As Reasonably Achievable – Настільки низько, наскільки це розумно досяжно)
- Бк – беккерель. Одиниця вимірювання активності радіонукліда
- ВВЕР – водо-водяний енергетичний реактор
- ВДЕ – відновлювані джерела енергії
- ВЯТ – відходи ядерного палива
- ГАЕС – гідроакмулювальна електростанція
- ГЕС – гідроелектростанція
- ГЗК – гірнично-збагачувальний комбінат
- ГМЗ – гідрометалургійний завод
- ДІВ – джерело іонізуючого випромінювання
- ДНЯЗ – Договір про нерозповсюдження ядерної зброї
- ДП – державне підприємство
- ДПР – дочірні продукти розпаду
- ЕРОА – еквівалентна рівноважна об'ємна активність
- ЄБРР – Європейський банк реконструкції і розвитку
- КУРР – Кіровоградський уранорудний район
- МАГАТЕ – Міжнародне агентство з атомної енергії
- МВт – МегаВатт
- мЗв – міліЗіверт
- МКРЗ – Міжнародна комісія з радіологічного захисту
- НРБУ-97 – Норми радіаційної безпеки України
- ПХЗ – Придніпровський хімічний завод
- РАВ – радіоактивні відходів
- Твел – тепловиділяючий елемент
- ТЕС – теплова електростанція
- ТЕЦ – теплоелектроцентраль
- ТПДПП – техногенно-підсилені джерела природного походження
- УКЩ – Український кристалічний щит

Вступ

Незважаючи на трагедії на атомних станціях у Чорнобилі та Фукусімі, і навіть попри протести «зелених», західний світ, у якому дуже обережно ставляться до всіх проектів, пов'язаних з екологічною безпекою, переглядає своє різко негативне ставлення до ядерної енергетики. І хоча Україні доводиться постійно стикатися з наслідками Чорнобильської катастрофи 35-річної давнини, здатність до «виживання» української енергетики значною мірою зумовлена напруженою роботою саме підприємств ядерної енергетики.

Там, де середньому ядерному реактору потрібно 30 кілограм урану, середній ТЕЦ буде потрібно 60 вагонів вугілля або 40 цистерн мазуту. Це створює передумови для розвитку ринку уранової продукції а, отже, впливає на перебудову структури енергоспоживання в розрізі енергобалансу країни. Наприкінці 2021 року в розробленій Міністерством енергетики концепції розвитку атомно-промислового комплексу передбачено розвиток уранових шахт в Україні з метою виходу з 2027 року на повне забезпечення урановою продукцією АЕС країни.

Ядерна енергетика включає роботу кількох дуже різних типів промислових виробництв, кожен з яких характеризується певним потенціалом небезпеки. Небезпека починається з пилом в уранових шахтах, продовжується можливими і реальними дозовими навантаженнями при нормальній роботі, аварійними випадками на ядерних об'єктах і їх впливом на персонал і населення, яке живе неподалік, і закінчується можливим забрудненням ґрунтових вод від захоронених радіоактивних відходів або техногенних аварій і випадків, зумовлених воєнними конфліктами.

Уранодобувні підприємства мають особливості, пов'язані із забезпеченням радіаційної безпеки, оскільки у процесі видобутку та переробки уранових руд у навколишнє середовище надходять природні радіонукліди. Сьогодні уранова промисловість України зосереджена у Дніпропетровській та Кіровоградській областях та представлена трьома діючими шахтами ДП «СхідГЗК» («Інгульська», «Смолинська» та «Новоколятинівська»). Ці області розташовані на УКЩ, геохімічний склад якого по всьому масиву має підвищений вміст природних радіонуклідів уран-радієвого та торієвого рядів. Проведення гірничих робіт та технологічний процес первинної переробки рудної сировини негативно впливають на навколишнє середовище та людину, що не має залишатися поза увагою громадських активістів та громадськості.

Розділ 1. Паливна основа атомної енергетики

1. Сучасна атомна енергетика

В основі атомної енергетики лежить ланцюгова ядерна реакція, пов'язана з поділом ядер урану і великим виділенням енергії. Першу керовану ланцюгову реакцію у 1942 році провів Енріко Фермі в університеті Чикаго, причому тоді керували реактором вручну – пересуванням графітових стрижнів для зміни потоку нейтронів, а перша електростанція була побудована в радянському підмосковному м.Обнінськ у 1954 році.

З того часу атомна енергетика стала стрімко розвиватися і зараз дає близько 11% всесвітньої генерації електроенергії. Згідно з щорічним звітом з атомної енергетики The World Nuclear Industry [1], у 2021 році по всьому світу працювало 415 ядерних реакторів (енергоблоків), на 22 менше, ніж у 2011 році. Ще 53 реактори знаходяться на стадії будівництва, причому приблизно половина з них – у Китаї та Індії.

Наразі ядерні енергетичні реактори працюють у 33 країнах, але лише 14 з них, як і раніше, активно розвивають цю технологію, у тому числі новачки в атомній енергетиці 2020 року – Білорусь та Об'єднані Арабські Емірати.

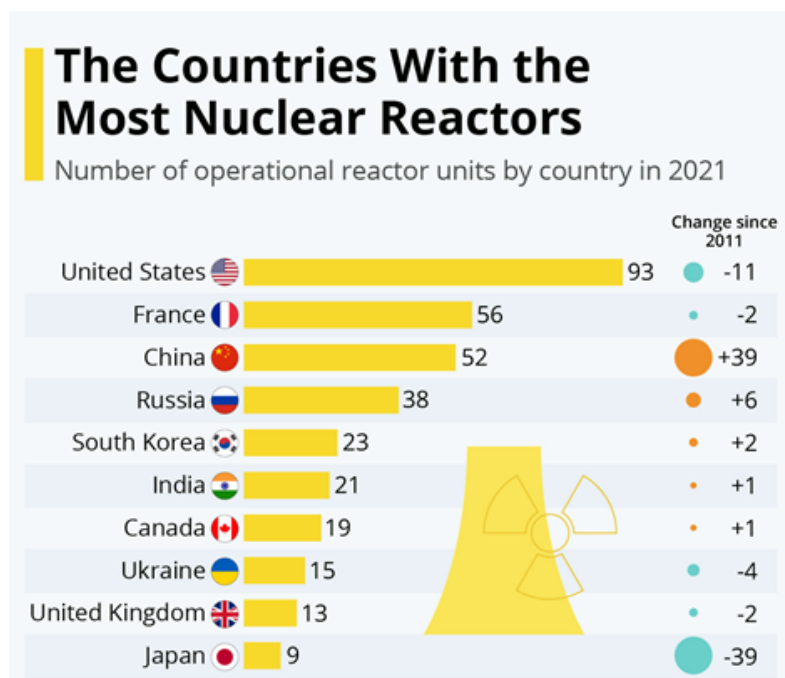
Лідером, як і раніше, залишаються США, де працюють 93 ядерні реактори (рис. 1.1). Можливо, незабаром США наздожене Китай, який активно нарощує кількість атомних електростанцій – лише за рік там було збудовано 39 нових ядерних енергоблоків, а всього у Китаї працює 52 реактори (третє місце у рейтингу).

Другий рядок у рейтингу займає Франція (56 ядерних реакторів), яка поступово скорочує свою атомну енергетику. Росія (38 ядерних реакторів) збудувала за останній рік 6 нових реакторів і зараз перебуває на четвертій сходинці цього рейтингу. Потрібно звернути увагу на той факт, що Японія суттєво скоротила кількість ядерних енергоблоків (39 реакторів).

Сьогодні багато європейських країн серйозно розмірковують і діють у напрямку збільшення частки атомної енергії у своєму енергобалансі. Так, Фінляндія, Чехія, Румунія, Угорщина, Болгарія після нормування ЄС викидів повертаються в бік атомної енергії, щоб врятувати екологію, не знищивши при цьому свою економіку. У Бельгії атомна енергетика становить майже 50% енергії країни, у Чехії та Фінляндії – понад 30%. Фінляндія, до речі, відрізняється також тим, що будує як атомну станцію, так й підземні сховища для відпрацьованого ядерного палива. Така продуманість і робить її однією з найчистіших країн Європи та світу. Польща розмірковує над проектом АЕС на своїй території в найближчим часом.

Атомна енергетика України бере свій початок із 1977 року, коли було введено в експлуатацію перший енергоблок Чорнобильської АЕС. Згідно з планами розвитку атомної енергетики у колишньому Радянському Союзі на території України у період з 1977 до 1989 року планувалося ввести в експлуатацію 16 енергоблоків загальною потужністю 14800 МВт на 5 атомних станціях: Запорізькій (м. Енергодар), Рівненській (м. Вараш),

Хмельницькій (м. Нетішин), Чорнобильській (м. Чорнобиль/Прип'ять)), Південноукраїнській (м. Южноукраїнськ).



*Рис. 1.1. ТОП-10 країн за кількістю ядерних реакторів.
Джерело: The World Nuclear Industry*

Зростаюча потреба в електроенергії сприяла швидкому будівництву енергоблоків: на момент техногенної аварії на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС у квітні 1986 року в Україні перебували в експлуатації 10 енергоблоків, 8 з яких потужністю 1000 МВт. З 1986 року і до 1990 року було введено в експлуатацію ще 6 атомних енергоблоків 1000 МВт кожен: три на Запорізькій АЕС та по одному на Південно-Українській, Рівненській та Хмельницькій АЕС.

Але після аварії на Чорнобильській, у серпні 1990 року Верховна Рада України оголосила мораторій на будівництво та введення в експлуатацію нових атомних енергоблоків. Після скасування Верховною Радою України мораторію виникли питання щодо відновлення та реконструкції недобудованих енергоблоків. У 1993 року було відновлено роботи на 6-му енергоблоці Запорізької АЕС, 4-му енергоблоці Рівненської АЕС та 2-му – Хмельницькій АЕС.

У жовтні 1995 року відбувся енергетичний запуск 6-го енергоблоку Запорізької АЕС. Через рік згідно з постановою Кабінету Міністрів України №1268 було створено Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом».

Чорнобильська АЕС – перша українська АЕС, експлуатацію якої було припинено до закінчення проектного ресурсу. Постановою Кабінету Міністрів України №399 від 25.04.2001 Чорнобильську АЕС виведено зі

складу НАЕК «Енергоатом» і надано статус державного спеціалізованого підприємства.

Сьогодні в експлуатації на АЕС України знаходяться 15 енергоблоків (табл. 1.1.) із загальною встановленою потужністю 13835 МВт.

Ядерна енергетика відіграє велику роль у виробництві електроенергії багатьох розвинених країн. У 2020 році з виробництва енергії в цьому секторі лідирували США, Китай, Франція, Росія та Південна Корея. Також до ТОП-10 країн увійшли Канада, Україна, Німеччина, Іспанія та Швеція. При цьому у Франції на частку атомної енергетики у виробництві електрики припадає понад 70%, в Україні – 51,2%, у Швеції – 29,8%, у Південній Кореї – 29,6%, у Росії – 20,6%, США – 19,7% (рис. 1.2) [2].

Таблиця 1.1. Діючі енергоблоки на українських АЕС

АЕС	Енергоблоки	Тип реакторів
Запорізька	6	6 - ВВЕР-1000
Рівненська	4	2 - ВВЕР-440; 2 - ВВЕР-1000
Хмельницька	2	2 - ВВЕР-1000
Южноукраїнська	3	3 - ВВЕР-1000

Доля атомной энергетики от общего объема производства электроэнергии в стране. 2020 | %



Ranking.kz на основе данных Всемирной ядерной ассоциации

Рис. 1.2. Частка генерованої електроенергії на АЕС в деяких країнах.

Джерело: Ranking.kz

У 2021 році виробництво електроенергії в Україні склало 156,576 млрд. кВт-год, що на 5,2% більше, ніж 2020 року. Так, з початку травня 2021 року в Україні частка електроенергії, виробленої АЕС становить 58,7%, ГЕС та ГАЕС – 10,2%, ВДЕ – 9,1%, ТЕС та ТЕЦ – 20,5% [3].

2.

Принцип роботи АЕС

На АЕС енергія перетворюється трічі:

– ядерна енергія перетворюється на теплову. У середині реактора відбувається ланцюгова реакція поділу урану, процес супроводжується виділенням тепла. Зрозуміло, воно нікуди не зникає, у реакторі є

спеціальний теплоносій, який нагрівається та передає це тепло на парогенератор;

– теплова енергія перетворюється на механічну. У парогенераторі теплоносій нагріває воду, яка перетворюється на пару;

– механічна енергія перетворюється на електричну. Пара обертає турбіну, в результаті і виходить електричний струм (рис. 1.3).

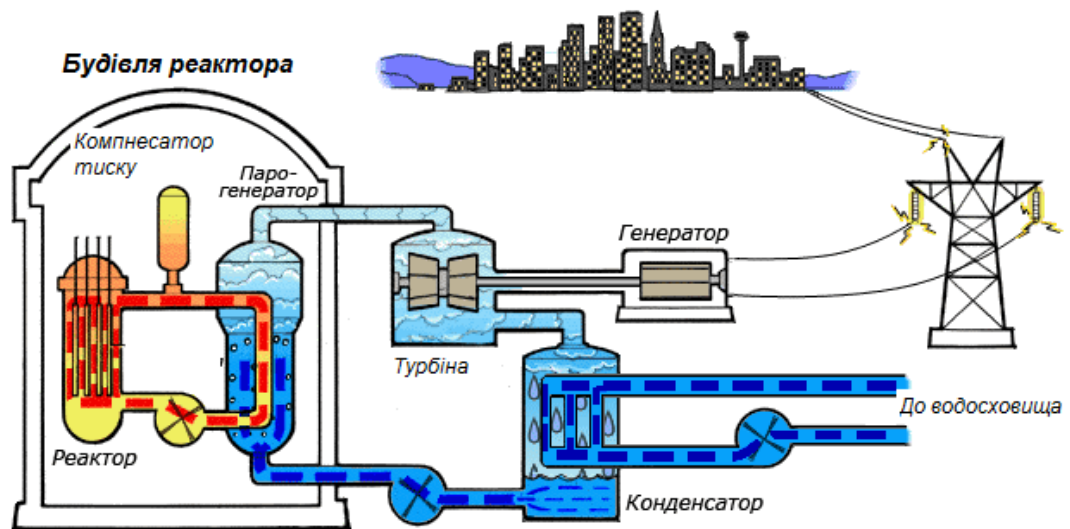


Рис. 1.3. Принцип роботи АЕС

Реактор АЕС є блоком, куди завантажуються ядерне паливо і де протікає керована ланцюгова реакція. Ядерний реактор має сталевий корпус та поміщений у залізобетонну герметичну оболонку.

Простір, у якому безпосередньо відбувається реакція поділу ядер, називається «активною зоною ядерного реактора». У її процесі виділяється велика кількість енергії у вигляді тепла, що нагріває теплоносій. Найчастіше теплоносієм виступає звичайна вода. Щоправда, попередньо її очищають від різних домішок та газів. Вона подається знизу активну зону реактора за допомогою головних циркуляційних насосів. Саме теплоносій передає тепло за межі реактора. Він звертається до замкнутої системи труб – контурів. Перший контур потрібен для того, щоб відібрати тепло у розігрітого реакцією поділу реактора (охолодити його) і передати далі. Перший контур є радіоактивним, але він включає не все обладнання станції, а лише його частина, переважно ядерний реактор.

В активній зоні ядерного реактора знаходиться ядерне паливо і, за рідкісними винятками, так званий сповільнювач. Як правило, у більшості типів реакторів як паливо застосовується уран-235 або плутоній-239.

Для того, щоб можна було використовувати ядерне паливо в реакторі АЕС, його спочатку поміщають у тепловиділяючі елементи – *твели*. Це герметичні трубки зі сталі або цирконієвих сплавів зовнішнім діаметром близько 1 сантиметра і завдовжки від кількох десятків до сотень сантиметрів, заповнені таблетками ядерного палива (рис. 1.4). При цьому в якості палива є

не чистий хімічний елемент, а його сполука, наприклад, оксид урану. Все це відбувається ще на підприємстві, де виробляється ядерне паливо.

Для спрощення обліку та переміщення ядерного палива в реакторі твели збираються в тепловиділяючі збірки по 150–350 штук. Одночасно в активну зону реактора зазвичай міститься 200-450 таких збірок. Встановлюють їх у робочих каналах активної зони реактора АЕС. Саме твели – головний конструктивний елемент активної зони більшості ядерних реакторів. В твелах відбувається розподіл важких ядер, що супроводжується виділенням теплової енергії, яка потім передається теплоносію.



Рис. 1.4. Збірка твелів для реактора типу ВВЕР

Внаслідок роботи ядерного реактора твели перетворюються у високорадіоактивні відходи. Частину з них можна переробити для подальшого використання, частину доводиться тримати у спеціальних сховищах, щоб вони не завдали шкоди людині та навколишньому середовищу.

3. Ядерний паливний цикл і видобуток урану

Основа ядерного палива – *уран* – дуже важкий сріблясто-білий метал. У чистому вигляді він трохи м'якший за сталь, ковкий, гнучкий. Хімічно уран дуже активний: він швидко окислюється на повітрі, покриваючись при цьому веселковою плівкою оксиду. При сильному струшуванні металеві частинки урану починають світитися. Найбільш поширеними видами урану в природі є ізотоп з масою 238 та ізотоп 235. У природному урані вони містяться у співвідношенні приблизно 99,3% та 0,72%. Ядерно-паливний цикл починається із видобутку уранової руди – основної сировини для ядерного палива (рис. 1.5).

Урану в земній корі приблизно в 1000 разів більше, ніж золота, в 30 разів більше, ніж срібла, і майже стільки ж, скільки свинцю і цинку. Проте лише відносно невелика частина покладів урану сконцентрована в родовищах, де вміст урану в сотні разів перевищує його середній вміст в земній корі. Поклади уранових руд розташовані не рівномірно по всій земній кулі.

Нині лише 28 країн світу видобувають цінну сировину у своїх надрах. Основна маса світових запасів урану у світі розташована у 10 країнах (табл. 1.2). В той же час потрібно зазначити, що за різними оцінками, в Україні ресурсна база уранових руд становить близько 560 тис. т, а підтвержені запаси – 270 тис. т [4].

Світові запаси урану різняться за цінними категоріями собівартості видобутку: до \$40 за кг, до \$80/кг, до \$130/кг і до \$260/кг. За даними «Червоної книги» МАГАТЕ, з 2015 року середньозважена вартість запасів в світі урану дещо зростає: приблизно з \$102/кг до \$107/кг.



Рис. 1.5. Ядерний паливний цикл

Таблиця 1.2. Світові запаси урану у 2020 році
Джерело: Всесвітня ядерна асоціація (WNA)

Країна	Запаси (тонн)	Частка в світі	Країна	Запаси (тонн)	Частка в світі
Австралія	1 692 700	28 %	Нігер	276 400	4 %
Казахстан	906 800	15 %	Китай	248 900	4 %
Канада	564 900	9 %	Монголія	143 500	2 %
Росія	486 000	8 %	Узбекистан	132 300	2 %
Намібія	448 300	7 %	Україна	108 700	2 %
ПАР	320 900	5 %	Інші	541 600	5 %
Бразилія	276 800	5 %			

Уранові поклади класифікують по категоріях, що характеризують ступінь їх технологічної розвіданості. В основному застосовуються дві

категорії: розвідані або достовірні запаси і вірогідні або можливі запаси. Вірогідні або можливі запаси складають близько 1,6 млн. т за ціною до \$80 за кг і близько 1,1 млн. т за ціною \$80-130 за кг.

Загалом в Україні до Державного балансу корисних копалин занесені 17 родовищ, з яких 14 розташовуються у Кіровоградській області, 2 – у Миколаївській та 1 – у Дніпропетровській, а загалом розвідано 21 родовище із значними запасами руди, що містить 0,1% урану. Сьогодні розробляються чотири (Мічуринське, Центральне, Ватутинське і Новокостянтинівське) (рис. 1.6), які знадяться в Кіровоградській області (Кіровоградський уранорудний район – КУРР). Найбільш перспективними для розробки залишаються Новоконстантинівське, Західна зона Центрального, Северинське, Докучаєвське, Партизанське, а також гідрогенні Апрельське і Сафонівське. Розвідані і попередньо оцінені ресурси урану КУРР складають понад 100 тис. т, з яких близько половини оцінюються як рентабельні (до \$80 за 1 кг урану) [5]. Нині Україна за запасами урану посідає одне з перших місць у Європі.

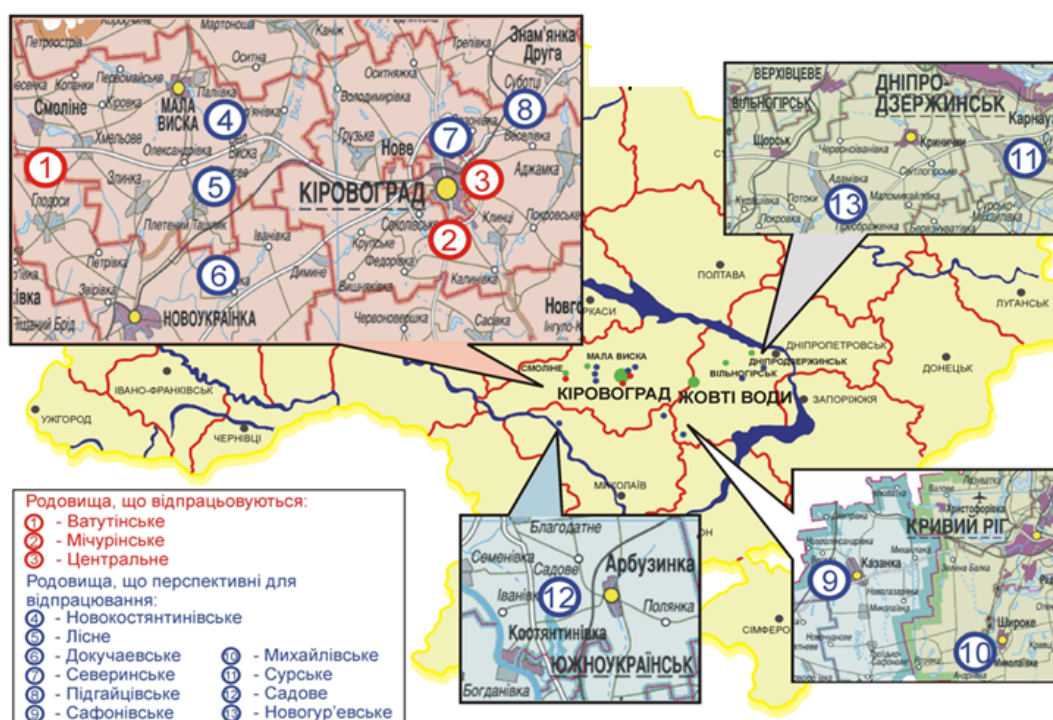


Рис. 1.6. Основні уранові родовища в Україні. Джерело: uatom.org

При видобуванні руди із вмістом урану 0,1% для отримання 1 т оксиду урану U_3O_8 (уранового концентрату) необхідно видобути приблизно 1000 т руди, не рахуючи колосальної кількості порожньої породи від розкритих і прохідницьких виїмок. Таку величезну масу руди краще всього переробляти і збагачувати в безпосередній близькості від копальні. В даний час вважають економічно доцільне переробляти руди із вмістом оксиду урану від 0,05-0,07%.

Для видобутку уранової руди може використовуватись один із способів:

– *Кар'єрний (відкритий)*. Використовується, якщо уранова руда лежить неглибоко (до 500 м). Це дешевий спосіб з мінімумом впливу радіації. Відкрите повітря трохи допомагає від радону та уранового пилу. Цей спосіб видобутку урану вважається абсолютно безпечним (табл. 1.3.);

Таблиця 1.3. Порівняння навантажень на навколишнє середовище при відкритому та підземному способах видобутку урану

Екологічна точка зору	Кар'єрний видобуток	Підземний видобуток
Використання землі	Досить велика площа порушеної землі	Площа порушеної землі менша, ніж при відкритому способі
Ділянка під відвалами розкривних порід	Велика ділянка розміщення відходів розкривних порід, дороги для навантаження та транспортування, збирання поверхневого стоку в колектори, запилення, можливе естетичне порушення (зміна ландшафту)	Не потрібно надземного розміщення відходів розкривних порід або ця площа менша, ніж при відкритому способі (колектори поверхневого стоку, дороги, запилення), можливе естетичне порушення
Хвости (наземні хвостосховища)	Великі обсяги хвостів збагачення, якщо обробляється великий обсяг гірничої маси	Об'єм хвостів збагачення зазвичай менше, ніж при відкритому способі
Скарги населення	Потреба у великій площі для відкритого видобутку та розміщення розкривних порід, очищення вод, запилення	Можливе розміщення розкривних порід на поверхні землі, безконтрольне поширення інфільтруючих вод, можливий перелив шахтних вод, шум, вібрація
Обвалення землі	Малоймовірно	Можливо
Шум	Рух з кар'єру до ділянки розміщення відвалів розкривних порід та збагачувального цеху, надземна дробарка	Зазвичай невеликий або взагалі відсутній (підземний рух та дроблення)
Шум від вентиляції копальні	Ні	Шум, що утворюється, вимагає ретельного планування (часу) і заходів захисту від шуму.
Вибухові роботи	Шум та вібрація (ретельне планування)	Шум та вібрація можливі, якщо видобуток на неглибоких горизонтах
Запилення	Транспортування руди та розкривних порід з кар'єру, вибухові роботи в кар'єрі	Можливо, якщо транспортування матеріалу на поверхні землі

Водовідлив	Об'єм води може бути більшим, залежить від опадів, поверхневого стоку, підземного притоку (тріщинуватість масиву гірських порід) у кар'єр. Вода може бути поганої якості та містити залишки вибухових речовин, твердих частинок, розчинні шкідливі метали та/або металоїди. Вода може окислятися.	Кількість води зазвичай не змінюється. Вода може бути поганої якості та містити залишки вибухових речовин, твердих частинок, розчинні шкідливі метали та/або металоїди. Вода може окислятися.
------------	---	---

– *Шахтний (підземний)*. Розрахований на випадки, коли уранова руда залягає глибше 500 м. Як правило, понад 2 км шахти не будують, тому що це є неефективним за ціновим критерієм. При видобутку уранової руди на глибині активно проявляється радон, що впливає на техніку безпеки та ускладнений механізм видобутку (табл. 1.3);

– *Підземне вилуговування*. Значно відрізняється від перших двох способів. Спочатку до уранового покладу буриться свердловина (не глибше 600 м), а потім до неї починає подаватися розчин сірчаної кислоти, який зв'язує частинки урану (вилуговування). Отриманий розчин викачується на поверхню і з нього витягується уран. Переваги цього способу полягають у значному спрощенні організації процесу видобутку. Радон і пил перестає турбувати і працівників, і населення. Загалом цей метод вважається перспективним, але поки використовується приблизно на 15% родовищ у світовій урановій галузі.

Роботи з видобутку (підземним способом) та переробки уранових руд в Україні здійснює одне підприємство – ДП «СхідГЗК». До його складу входять шахта «Смолінська» (працює з 1973 року), яка розробляє Ватутінське родовище, та шахта «Інгульська» (працює з 1969 року), що розробляє Мічурінське та Центральне родовища. Новокостянтинівське родовище за запасами урану – 93626 т (вміст урану в руді 0,14%), входить до десятки найбільших родовищ світу. Його планується розробляти до глибини 700 м вертикальними шахтами. Резервним є Северинське родовище.

Запаси українських родовищ перебувають у різних цінових діапазонах: найбільш конкурентний – до \$80/кг – це шахта «Новокостянтинівська»; інші в дорогих – до \$130/кг та до \$260/кг. Три родовища майже відпрацьовано: на Ватутінському, у категорії «до \$130/кг», залишилося до 2000 т концентрату, тому шахту «Смолінську» вже готують до виведення з експлуатації, який заплановано на 2023 рік. На Мічурінському залишилося 3000 т, а на Центральному – 6800 т, а шахту «Інгульську» планують закрити 2025-27 року. Обидві шахти – із категорії «до \$260/кг».

Крім державного підприємства «СхідГЗК», в майбутньому видобутком урану планують займатися і приватні компанії. Зокрема, це «Атомні енергетичні системи України» (АЕСУ) співвласника мережі супермаркетів

«АТБ» Г.Буткевича. В 2017 році АЕСУ отримала ліцензії на розробку чотирьох українських уранових родовищ: Сафонівське, Михайлівське (Миколаївська область), Сурське та Новогуровське (Дніпропетровська область) (див. рис. 1.6).

Після видобутку уранових руд здійснюється їх переробка і отримання уранового концентрату (U_3O_8) (рис. 1.7). Уранову руду спочатку необхідно подрібнити, розбавити водою та видалити зайве. Далі до суміші додають сірчану кислоту для проведення процесу вилуговування. В ході цієї реакції одержують осад солей урану жовтого кольору. Нарешті, уран із домішками очищається на аффінажному виробництві. Тільки після цього отримується закис-окис урану (U_3O_8), яким і торгують на торговельних майданчиках та біржах.

Далі за допомогою газових центрифуг здійснюється одержання збагаченого урану, а після досягнення необхідної концентрації з діоксиду урану пресують так звані *таблетки*. Їх виробляють за допомогою мастильних матеріалів, які видаляються під час випалення в печах при температурі до 1000 градусів. З цих таблеток власне і збираються збірки для твелів (див. рис. 1.4), які безпосередньо застосовуються в реакторах АЕС. За виробленням енергії одна таблетка урану дорівнює одній тонні нафти!

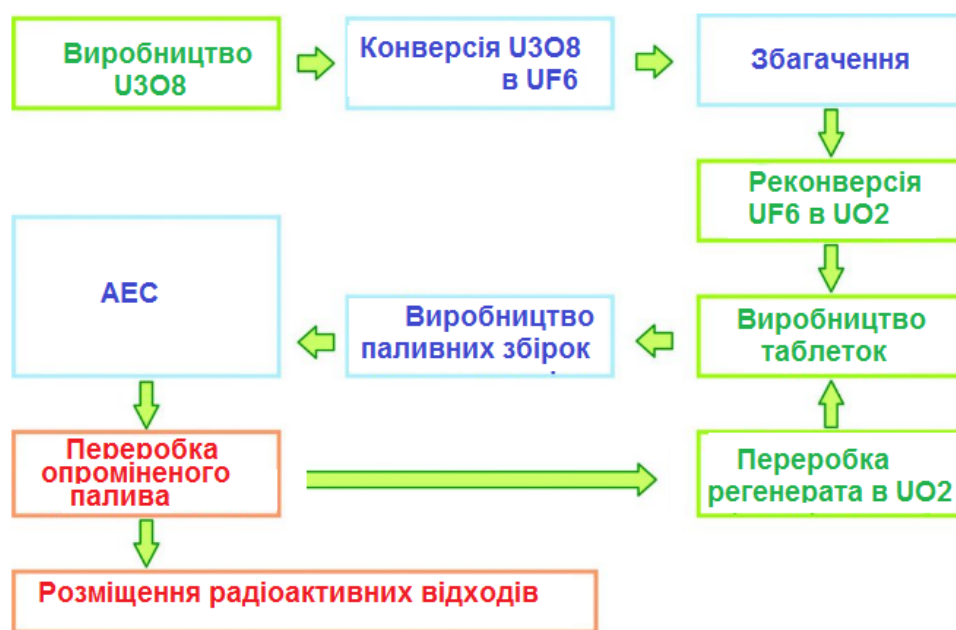


Рис. 1.7. Схематичне представлення ядерного паливного циклу

Створення заводу з виробництва ядерного палива для реакторів ВВЕР-1000 є одним з пріоритетних завдань розвитку ядерної енергетики, обумовлених «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року», Державною цільовою економічною програмою «Ядерне паливо України» і рядом інших урядових рішень, прийнятих на виконання «Енергетичної стратегії».

Введення в експлуатацію заводу з виробництва ядерного палива сприятиме зменшенню залежності ядерної енергетики України від зовнішніх постачальників ядерного палива та підвищенню енергетичної безпеки країни.

Згідно з вимогами законодавства ДК «Ядерне паливо» було розроблено «Техніко-економічне обґрунтування будівництва заводу з виробництва ядерного палива» в рамках якого була підтверджена необхідність спорудження цієї установки та обрано майданчик (з трьох можливих) для розміщення заводу: м. Славутич, смт. Смоліне та м. Жовті води. Більш вигідне географічне розташування майданчика смт. Смоліне, яке дозволяє мінімізувати відстань перевезення ядерного палива на АЕС України, схилило шальки терезів на користь цього селища. Але ці плани так і залишились на папері.

За виробництвом уранового концентрату Україна входить в першу десятку країн в світі (табл. 1.4). Переробка уранових руд і отримання уранового концентрату («жовтий кек») здійснюється на Гідрометалургійному заводі (ГМЗ) в м. Жовті Води (Дніпропетровська область), який входить до складу ДП «СхідГЗК». Відходи (хвости) збагачення уранових руд зберігаються у спеціально обладнаному хвостосховищі «Балка «Щербаківська» (5 км від м. Жовті Води). Станом на кінець 2013 року у хвостосховищі «Балка «Щербаківська» було накопичено близько 40 млн. т відходів уранового виробництва.

Загалом потреба в урановому оксидному концентраті для українських АЕС становить 2,5 тис. т на рік. Реактор потужністю 1000 МВт, працюючи з навантаженням близько 80%, потребує 20 т ядерного палива із вмістом 3,5% урану-235. Щоб отримати такий обсяг ядерного палива, необхідно провести збагачення приблизно 153 т природного урану.

Таблиця 1.4. ТОП-10 країн за виробництвом паливного урану (U_3O_8).

Джерело: Всесвітня ядерна асоціація (WNA)

№	Країна	2015, т	2016, т	2017, т	2018, т	2019, т	2020, т	Частка в світі, 2020 год, %
1	Казахстан	23607	24689	23321	21705	22808	19477	41 %
2	Австралія	5654	6315	5882	6517	6613	6203	13 %
3	Намібія	2993	3654	4224	5525	5476	5413	11 %
4	Канада	13325	14039	13116	7001	6938	3885	8 %
5	Узбекистан	2385	3325	3400	3450	3500	3500	7 %
6	Нігер	4116	3479	3449	2911	2983	2991	6 %
7	Росія	3055	3004	2917	2904	2911	2846	6 %
8	Китай	1616	1616	1692	1885	1885	1885	4 %
9	Україна	1200	808	707	790	800	744	1 %
10	Індія	385	385	421	423	308	400	0,8 %

Розділ 2. Питання ядерної і радіаційної безпеки

2.1. Визначення ядерної і радіаційної безпеки

Законом України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» (див. нижче) визначено, що *ядерна безпека* – це дотримання норм, правил, стандартів та умов використання ядерних матеріалів, що забезпечують радіаційну безпеку.

В свою чергу, *радіаційна безпека* – це дотримання допустимих меж радіаційного впливу на персонал, населення та навколишнє природне середовище, встановлених нормами, правилами та стандартами з безпеки.

Відповідно до ст. 5 цього Закону державна політика у сфері використання ядерної енергії та радіаційного захисту реалізується шляхом, зокрема, створення оптимальної системи державного регулювання питань ядерної та радіаційної безпеки, тобто регулювання із врахуванням диференційованого підходу до вимог безпеки в залежності від потенційної ядерної та радіаційної небезпеки, яку має конкретний вид діяльності з конкретними установками (джерелами).

Одним з найважливіших завдань органів регулювання ядерної безпеки з самого початку стало формування концепції безпеки ядерних установок, цілей, принципів і критеріїв їх безпеки. Будь-яка промислова діяльність спирається на систему нормативних документів, що дозволяє погоджувати діяльність багатьох підприємств, організацій і окремих осіб в часі і просторі. Нормативні документи є продуктом спільної діяльності науки і практики. На початку свого шляху ядерна енергетика не мала практичного досвіду, та і результати наукових досліджень ще не дозволяли мати досить обґрунтованої основи для спеціалізованої нормативної бази. Основна філософія, яка спочатку покладена в основу безпеки ядерної енергетики, – висока якість систем і елементів, висока кваліфікація персоналу, що повинне було запобігти надзвичайним ситуаціям.

Багато в чому доводилося спиратися на досвід і стандарти суміжних галузей: енергетики, хімічної і металургійної промисловості, військового машинобудування. «Власні» нормативні документи, в першу чергу, розроблялися для специфічних аспектів ядерної енергетики – фізика реакторів, радіаційне матеріалознавство, радіаційний захист тощо. Передбачалося, що висока якість дозволить обмежити можливі ушкодження систем, що створюються для відведення тепла, що виділяється ядерним паливом течєю кінцевих розмірів.

При аналізі безпеки АЕС усі її пристрої і системи повинні розділятися на три групи: пристрої нормальної експлуатації, захисні пристрої і пристрої локалізації. Основа ядерної безпеки – висока якість систем нормальної експлуатації, захисні пристрої для попередження виходу з ладу систем нормальної експлуатації, пристрої локалізації, що обмежують поширення радіоактивних речовин, висока кваліфікація персоналу.

При цьому вся система радіаційної безпеки побудована на трьох основних засадах:

– принцип *обґрунтування* визначає, що будь-яке рішення, пов'язане з опроміненням, має бути обґрунтовано, тобто приносити більше користі, ніж шкоди;

– принцип *оптимізації* вимагає, щоб опромінення людини завжди утримувалося настільки низькому рівні наскільки це розумно досягне;

– принцип *нормування* полягає в тому, що при будь-якому запланованому опроміненні людини (крім медичної) повинні дотримуватися встановлених законодавством граничних значень дози.

Найголовнішим із перерахованих є принцип оптимізації, який у публікаціях Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) названий душею та серцем системи радіаційної безпеки. Практичне використання принципу оптимізації на початку 1980-х років дозволило істотно знизити дози персоналу навіть за зростання виробництва.

Області регулювання радіаційної безпеки є:

– *джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ)* – будь-які об'єкти, які можуть створити дозу опромінення у людини або групи людей. Ними можуть бути як саме природне тло, так і пристрої, що містять радіоактивний матеріал або генерують випромінювання;

– *ситуації опромінення*, наприклад, плановане опромінення від джерела, що створюється, або аварійне опромінення, що виникло несподівано;

– *категорії опромінення*: професійне опромінення, опромінення населення та медичне опромінення.

Радіаційна безпека населення переважно забезпечується обмеженням впливу від різних джерел ДІВ. Так для АЕС встановлено квоти на опромінення у розмірі 0,25 мЗв/рік середньої дози осіб із населення (для нових АЕС – 0,1 мЗв/рік). Ці обмеження встановлені з урахуванням усіх скидів у навколишнє середовище за нормальної експлуатації ядерного об'єкта.

Щодо природного опромінення (рис. 2.1) загалом обмеження не встановлюються, проте обмежуються окремі природні джерела випромінювання. Наприклад, це вміст природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та утримання радону у житлових приміщеннях.

Хоча медичне опромінення виконується для принесення користі людині і тут можуть запроваджуватися обмеження, які стосуються переважно профілактичного обстеження здорових осіб.

У разі серйозних радіаційних аварій може знадобитися екстрений захист населення у вигляді обмеження споживання харчових продуктів, йодної профілактики, і навіть тимчасового укриття чи евакуації.

Сучасний етап у розвитку норм радіаційної безпеки розпочався достатньо давно (у 1958 році) з випуском офіційної першої публікації МКРЗ. Вперше було сформульовано основний принцип радіаційної безпеки, який передбачає отримання настільки низьких доз наскільки це можна досягти, нині відомий як АЛАРА (англ. ALARA – As Low As Reasonably Achievable).

Нині допустимі рівні опромінення було знижено до 50 мЗв на рік для персоналу і 5 мЗв на рік для населення (нині це 20 мЗв і 1 мЗв відповідно).

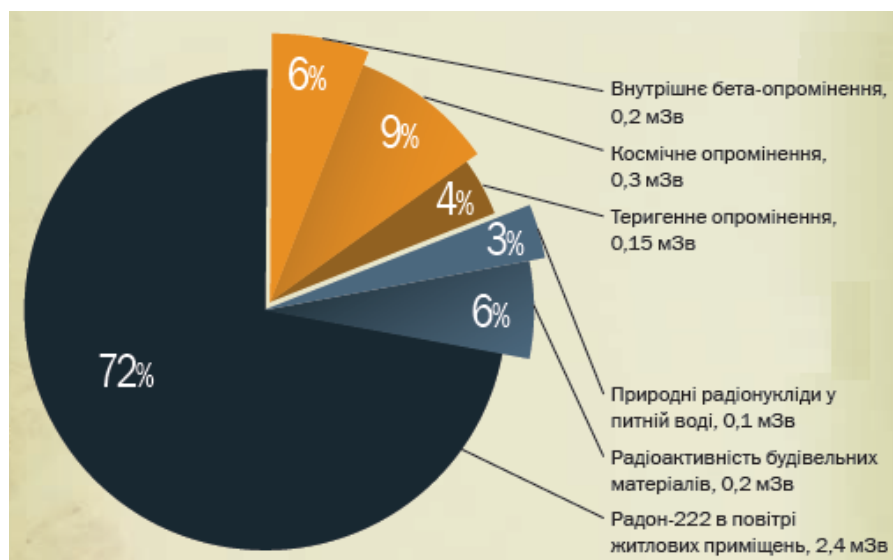


Рис. 2.1. Структура середньорічної дози опромінювання населення України

2.2. Українське нормативно-правове забезпечення ядерного регулювання

В 1991 році із здобуттям незалежності Україна стала отримала потужний арсенал ядерної зброї та 14 ядерних реакторів. На той час практично була відсутня національна нормативно-правова база, яка б регулювала питання, пов'язані з правами, обов'язками, відповідальністю учасників відносин у сфері використання ядерної енергії. Першим кроком на шляху до створення правової бази для діяльності у цій сфері стало затвердження на початку 1994 року Верховною Радою України «Концепції державного регулювання безпеки та управління ядерною галуззю в Україні» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3871-12#Text>), яка визначала основи державного регулювання безпеки використання ядерної енергії.

Наступним кроком стало ухвалення Верховною Радою України базового з погляду вирішення проблем безпечного використання ядерної енергії та радіаційної безпеки Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційної безпеки» 1995 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80#Text>). Цей закон визначає пріоритет безпеки людини та навколишнього середовища, права та обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, а також регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання тощо.

Поява вищезгаданого закону сприяла подальшому розвитку ядерного законодавства України, зокрема ухваленню законів України:

– «Про поводження з радіоактивними відходами» 1995 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/255/95-%D0%B2%D1%80#Text>);

- «Про видобування та переробку уранових руд» 1997 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/645/97-%D0%B2%D1%80#Text>);
- «Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань» 1998 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80#Text>);
- «Про загальні принципи подальшої експлуатації та зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблоку цієї АЕС на екологічно безпечну систему» 1998 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/309-14#Text>);
- «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» 2000 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1370-14#Text>);
- «Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання» 2000 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2064-14#Text>);
- «Про цивільну відповідальність за ядерну шкоду та її фінансове забезпечення» 2001 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2893-14#Text>);
- «Про впорядкування питань, пов'язаних з із забезпеченням ядерної безпеки» 2004 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1868-15#Text>);
- «Про порядок прийняття рішень про розміщення, проектування, будівництві ядерних установок та об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами, які мають загальнодержавне значення» 2005 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2861-15#Text>) тощо.

Частиною національного ядерного законодавства стала ціла низка міжнародних актів, до яких приєдналася Україна. Це насамперед Договір про нерозповсюдження ядерної зброї (ДНЯЗ), до якого Україна приєдналася у грудні 1994 року як неядерна держава (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_098#Text). Відповідно до ст. 3 ДНЯЗ кожна з країн-учасниць, яка не володіє ядерною зброєю, зобов'язана укласти угоду з МАГАТЕ щодо застосування гарантій нерозповсюдження ядерного матеріалу. В 1995 році Україна підписала таку угоду, а Верховна Рада України її ратифікувала у грудні 1997 року.

Віденська конвенція про цивільну відповідальність за ядерні збитки від 1963 року (<https://ips.ligazakon.net/document/mu63k05u?an=37557>) встановлює абсолютну відповідальність оператора за ядерні збитки. Для України ця Конвенція набула чинності з 1996 року.

Також у сфері ядерного і радіаційного регулювання Україна керується такими конвенціями:

- «Конвенції про допомогу у разі ядерної аварії або радіаційної аварійної ситуації» 1986 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3339-11#Text>);
- «Конвенції про оперативне сповіщення про ядерну аварію» 1986 року (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3339-11#Text>);
- «Конвенції про фізичний захист ядерного матеріалу» 1993 року (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_024#Text);
- «Конвенції про ядерну безпеку» 1997 року (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_023#Text);

- «Об'єднаної конвенції про безпеку з відпрацьованим паливом та про безпеку поводження з радіоактивними відходами» 2000 року (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_335#Text).

Угода про асоціацію України з ЄС 2014 року передбачала водночас і угоду з Європейським Співтовариством з атомної енергії (Євратом). Відповідно, в Угоді зафіксовано зобов'язання України виконати кілька директив Ради Європи/Євратом:

- №117/2006 про нагляд та контроль за перевезеннями радіоактивних відходів та відпрацьованого палива (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_005-06#n2);

- №70/2011 про впровадження рамки Співтовариства для відповідального та безпечного управління відпрацьованим паливом та радіоактивними відходами;

- №59/2013 основні норм безпеки для захисту від загроз, зумовлених впливом іонізуючого випромінювання;

- №87/2014 про встановлення рамок Співтовариства для ядерної безпеки ядерних установок;

- 96/29/Євратом містить основні стандарти безпеки Євратом;

- 2013/51/Євратом (радіоактивні речовини в питній воді). Ця директива встановлює вимоги до охорони здоров'я населення по відношенню до радіоактивних речовин у воді, призначеної для споживання людиною.

В Україні основним уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань регулювання безпеки використання ядерної енергії та радіаційної безпеки є Державна інспекція ядерного регулювання України (*Держатомрегулювання*) (<http://www.snrc.gov.ua>). Відповідно до міжнародних вимог на Держатомрегулювання як регулюючий орган покладено відповідальність за видачу офіційних дозволів, здійснення регулюючих дій, розгляду та оцінок, проведення інспекцій та застосування санкцій, а також запровадження принципів, критеріїв, положень та принципів у сфері безпеки. Крім того, Держатомрегулювання готує і публікує «Щорічні доповіді про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні».

2.3. Норми іонізуючого опромінення

Ст. 3 закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» забезпечує кожній людині, яка проживає або тимчасово перебуває на території України, право на захист від впливу іонізуючого випромінювання. Ст. 5 цього закону визначає, що основна дозова межа індивідуального опромінення населення не повинна перевищувати 1 (один) мілізіверт (мЗв) (114 мілірентген (мР), або 0,114 Р) ефективної дози опромінення за рік, при цьому середньорічні ефективні дози опромінення людини, віднесеної до критичної групи, не повинні перевищувати встановлених основних дозових меж опромінення незалежно від умов та шляхів формування цих доз.

У радіаційній безпеці найбільший інтерес становить кількісна оцінка впливу випромінювання на людину. *Базова дозиметрична величина*

(поглинена доза) погано підходить для цієї мети, оскільки ризик виникнення спадкових та онкологічних наслідків залежить серед іншого від виду іонізуючого випромінювання та від радіочутливості органів і тканин людини. Для визначення отриманої людиною дози з урахуванням вищезгаданих факторів запроваджено спеціальну величину - *ефективну дозу*. Вона враховує як вид випромінювання так і радіочутливість органів за допомогою застосування зважувальних коефіцієнтів випромінювання та зважувальних коефіцієнтів тканини. Ефективна доза розраховується з використанням спеціальних антропоморфних моделей (фантомів) і відноситься до певної усередненої «умовної людини».

Основне призначення ефективної дози - це облік доз та стеження за дотриманням встановлених меж опромінення. Так як ефективна доза розраховується для умовної моделі людини і використовує усереднені, вибрані з широкого спектра експериментальних даних коефіцієнти, вона не може бути точною, індивідуальною оцінкою ризику появи ускладнень для конкретної людини. З іншого боку, останні дослідження показують, що існують люди з підвищеною чутливістю до радіаційно-індукованого раку, і, можливо, в майбутньому це буде відображено у вимогах радіаційної безпеки. Інше обмеження пов'язано з тим, що покладені в основу ефективної дози коефіцієнти, що зважують, обрані для оцінки стохастичних ефектів при малих дозах. Для решти випадків вони будуть іншими, тому ефективна доза практично не застосовується при перевищенні законодавчо встановлених меж дози і, тим більше, при дозах, що викликають тканинні реакції.

Основним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення, як для окремої людини, так і українського суспільства взагалі є Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), затверджені постановою Головного санітарного лікаря України від 01.12.1997 №62 (<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>).

Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02.02.2005 №54 (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05#Text>) встановлюються такі категорії осіб, які зазнають опромінення:

– *категорія А* (персонал) – особи, які постійно, чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань (ліміт ефективної дози – 20 мЗв/рік);

– *категорія Б* (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць в приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення (ліміт ефективної дози – 2 мЗв/рік);

– *категорія В* – все населення (ліміт ефективної дози – 1 мЗв/рік).

З лімітом дози порівнюється сума ефективних доз опромінення від усіх індустриальних джерел випромінювання. До цієї суми не включають:

– дозу, яку одержують від природних джерел випромінювання;

- дозу опромінення від техногенно-підсилених джерел природного походження;
- дозу, яку одержують при медичному обстеженні або лікуванні;
- дозу, що пов'язана з аварійним опроміненням населення (підпункт 5.1.3 НРБУ-97).

На жаль, в Україні великі ефективні дози одержують мешканці на територіях, які постраждали від Чорнобильської аварії: Житомирська – 5 мЗв/рік та Київська область – 4,6 мЗв/рік. Для критичних груп населення максимальні значення ефективних доз характерні для Житомирської (5,6 мЗв/рік), Черкаської (5,5), Тернопільської (7,4), Миколаївської (6,3) та Івано-Франківської (6,2) областей. Підвищені значення дози опромінення спостерігаються у містах: Херсон (7,6 мЗв/рік), Тернопіль (7,4), Черкаси (7), Вінниця (5,4), Одеса (5,1), Донецьк (4,3), Жовті Води (4,8), Вільногірськ (4,6) та Кам'янське (3,8) [35].

Компенсація за перевищення річної основної дозової межі опромінення надається особам, які проживають або тимчасово перебувають на території України, у випадках:

- опромінення, зумовленого впливом практичної діяльності;
- помилкового або неправомірного опромінення пацієнтів при медичному втручанні;
- вимушеного споживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування та питної води;
- радіаційно небезпечних умов проживання, праці та навчання.

Компенсація за перевищення річної основної дозової межі опромінення встановлюється у розмірі 1,2 неоподаткованого мінімуму доходів громадян за кожний мілізіверт перевищення встановленої допустимої межі опромінення (ст. 19 закону України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання»).

Підставою для виплати компенсації особам за перевищення річної основної дозової межі опромінення є зафіксований *районним (міським) дозовим реєстром опромінення* факт перевищення річної основної дозової межі опромінення не з власної вини особи.

Відшкодуванню підлягає шкода, заподіяна внаслідок впливу іонізуючого випромінювання життю та здоров'ю людей, а також майну фізичних осіб. У разі смерті особи, що настала внаслідок впливу іонізуючого випромінювання, право на відшкодування шкоди мають особи, які перебували на утриманні померлого або мали на день його смерті право на одержання від нього коштів на утримання, а також дитина померлого, яка народилася після його смерті.

Спори щодо виплат компенсації за перевищення річної основної дозової межі опромінення та відшкодування шкоди, заподіяної внаслідок впливу іонізуючого випромінювання, розглядаються в судовому порядку.

Наміри створення єдиного державного реєстру доз індивідуального опромінення відомі ще від початку 1990-х років. Потребу такої бази даних зумовлює широке використання Україною атомної енергії та ДІВ в мирних

цілях. Це не тільки застосування радіації в медицині (рентгенівська діагностика, комп'ютерна томографія, променева терапія, інтервенційна радіологія, ядерна медицина), а й робота персоналу АЕС, підприємств Чорнобильської зони відчуження, підприємств уранодобувної промисловості, поводження з радіоактивними відходами тощо.

2.4. Поводження з радіоактивними відходами

Приблизно 95% радіоактивних відходів (РАВ) в Україні продукують вітчизняні АЕС і видобувні підприємства. При цьому важливо зазначити що РАВ утворюються на всіх етапах ядерного паливного циклу (див. рис. 1.5). Найбільш небезпечними є РАВ, які утворюються на АЕС: газоподібні, рідкі та тверді.

Згідно з законом України «Про поводження з радіоактивними відходами» радіоактивні відходи поділяються на такі класи: дуже низькоактивні; низькоактивні; середньоактивні; високоактивні.

Ст. 17 цього Закону передбачено, що зберігання та захоронення РАВ дозволяється виключно у спеціально призначених для цього сховищах відповідного типу, а саме: поверхневому сховищі, приповерхневому сховищі, сховищі для захоронення радіоактивних відходів на середніх глибинах, геологічному сховищі. Тип сховища для захоронення радіоактивних відходів визначається відповідно до класу радіоактивних відходів.

Радіоактивні відходи підлягають захороненню з обов'язковим переведенням їх у форму, що гарантує виконання норм і правил з ядерної та радіаційної безпеки.

Відпрацьовані закриті ДІВ залежно від їх характеристик можуть бути захороненні у сховищах різного типу.

Державний облік РАВ ведеться з метою їх виявлення, уникнення неконтрольованого накопичення та забезпечення оперативного контролю за місцезнаходженням і переміщенням, умовами їх зберігання та захоронення.

Державна система обліку та контролю за переміщенням та накопиченням РАВ складається з двох головних елементів:

– *Державний реєстр РАВ.* Одним з елементів єдиної державної системи обліку та інвентаризації РАВ і являє собою послідовний поточний запис актів спеціальної форми про утворення, фізико-хімічний склад, обсяги, властивості, а також перевезення, зберігання та захоронення радіоактивних відходів;

– *Державний кадастр сховищ РАВ та переліку місць їх тимчасового зберігання.* Це зведення систематизованих відомостей про об'єкти, призначені для зберігання чи захоронення РАВ.

Ведення Державного реєстру РАВ та Державного кадастру сховищ РАВ здійснює головний інформаційно-аналітичний центр державної системи обліку РАВ на базі підприємства «Об'єднання «Радон», до якого надходить інформація з регіональних центрів обліку РАВ. Регіональні центри діють на базі міжобласних філій «Об'єднання «Радон» та спецпідприємства «Комплекс» НВО «Прип'ять».

Утворення рідких РАВ на АЕС пов'язане з особливостями технологічного процесу та не передбаченими цим процесом протіканнями рідких радіоактивних середовищ, система поводження з рідких РАВ складається, загалом, з джерел їх утворення та установок зберігання й переробки.

Країни з розвиненою ядерною енергетикою дотримуються різних концепцій поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) та РАВ:

- *стабілізація* – спеціальна переробка ВЯП з подальшою фіксацією радіонуклідів у нерозчинних матрицях, пристосованих для тривалого зберігання;

- *захоронення*. У цьому випадку поводження з ВЯП аналогічне технології поводження з високоактивними відходами (щодо ВЯП таке остаточне видалення називається «прямим» остаточним захороненням). При цьому передбачена певна витримка ВЯП і його подальше поховання в глибоких геологічних формаціях;

- *відкладене рішення* – довгострокове зберігання ВЯП, що дозволяє прийняти рішення про їх подальше використання через певний час у разі позитивних передумов (наявність ефективних технологій, економічні фактори). Україна також прийняла рішення про такий шлях поводження з ВЯП;

- *переробка ВЯП* для видобутку з нього компонентів і речовин, використання яких економічно доцільне. Цей шлях реалізується в Росії.

Сьогодні в світі гостро стоїть проблема вибору місць поховання РАВ. Всесвітня організація з питань ядерної енергії (Global Nuclear Energy Partnership) проаналізувала низку можливостей: захоронення РАВ на дні океану; переміщення в космос; вивіз РАВ на віддалені безлюдні острови; будівництво могильників у крижаних товщах Антарктиди або Гренландії; будівництво підземних сховищ в стабільних геологічних формаціях. Останньому варіанту в даний час віддається найбільша перевага.

Наприклад, Швеція не передбачає використання (переробку) ядерного палива після вивантаження його з реакторів. Згідно з державною політикою, після вивантаження з реакторів і витримки в пристанційних сховищах відходи повинні бути розміщені та ізольовані у кристалічних породах. Радіоактивні відходи, які довго живуть, планують розмістити у пункті геологічного захоронення на глибині близько 300 м. Короткоживучі РАВ зберігаються неподалік від АЕС «Форсмарк» на глибині близько 60 м під дном Балтійського моря.

У Фінляндії, як і в Швеції, затверджена стратегія прямого захоронення ВЯП, тобто відпрацьоване ядерне паливо віднесене до категорії РАВ. Радіоактивні відходи розміщують на глибині 60-110 м на майданчиках «Ловіса» та «Олкілуото». ВЯП планується інкапсулювати та розмістити в пункті геологічного захоронення на глибині 500 м в скельних породах на майданчику «Онкало» поблизу АЕС «Олкілуото».

Німеччина не здійснює переробку ВЯП, але користується послугами Франції та Великобританії для переробки свого відпрацьованого палива.

Проте у Німеччині є три майданчики для захоронення РАВ з незначним залишковим тепловиділенням (майданчика «Конрад», «Асі-2» та «Морслебен»), а також два майданчики для поверхневого зберігання РАВ: «Горлебен» (радіоактивні відходи з високим рівнем тепловиділення і ВЯП) та «Ахаус».

Ядерна програма Франції передбачає закритий ядерний паливний цикл, тому ВЯП не відноситься до категорії відходів. В даний час у Франції напрацьовано близько 1460000 м³ радіоактивних відходів різних категорій. Частина з них вже розміщена у пунктах захоронення.

З 2023 року Україна має приймати на зберігання оскловані продукти переробки відпрацьованого ядерного палива (високоактивні радіоактивні) з трьох своїх атомних станцій – Рівненської, Хмельницької та Південно-Української. Свого часу Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» відправила це паливо до Росії. Російські атомники здійснили його переробку, залишивши собі певну частину радіоактивних матеріалів, придатних для повторного використання у промисловості або інших сферах. До України ж повернуться непридатні для використання матеріали, оброблені до прийняттого рівня радіаційної безпеки.

Перероблені відходи мають потрапити на територію України у 2023 році, а до того часу в Чорнобильській зоні має бути збудоване спеціальне сховище.

Крім проблем РАВ від АЕС, в Україні є багато питань щодо інших джерел радіації та ДІВ. Зокрема, у 2020 році в рамках проекту «Ліквідація могильника РАВ на території військової частини Міністерства оборони України, смт. Цибулеве Кіровоградської області» у рамках Імплементативної Угоди України та НАТО за підтримки Трастового фонду НАТО із захоронення радіоактивних відходів було виконано роботи з ліквідації небезпечного радянського спадку. Основну частину РАВ було упаковано в контейнери та розміщено на спеціальному майданчику, що знаходиться на території пункту захоронення радіоактивних відходів «Буряківка» (під Чорнобилем).

У с. Буда Яворівського району (16 км від Львова) розміщений Міжобласний спеціалізований пункт Державної корпорації «Українське державне об'єднання «Радон», куди з 1989 року заводять промислові і медичні радіоактивні відходи із семи областей Західної України, є найбільшим накопичувачем відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання у Львівській області.

На сьогодні у львівському сховищі накопичено 1300 т (2 108 м³ твердих і 480 м³ рідких РАВ) промислових підприємств, медичних установ і науково-дослідних лабораторій. Водночас тут зберігають 164,3 тис. одиниць джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ).

2.5. Радіаційні відходи від уранових руд

Значна частина об'єктів «ядерної спадщини» пов'язана із забрудненням природними радіонуклідами. Насамперед, це об'єкти видобутку та збагачення

урану – шахти, копальні, промислові майданчики заводів, відвали та хвостосховища (об'єкти уранової спадщини) (див. розділ 3).

З усього ядерного паливного циклу (див. рис. 1.5) видобуток і переробка уранових руд, саме те, що здійснюється в Україні, для населення дає найбільший обсяг РАВ, які за фізичним станом поділяються на тверді та рідкі. Специфічна особливість уранового та торієвого виробництва – наявність у всіх видах відходів радіонуклідів із великим періодом напіврозпаду. Зазвичай промислове вміст урану в рудах перебуває у інтервалі 0,02-0,03%. Руди з меншою концентрацією цього радіоактивного елемента вважаються позабалансовими. «Порожні» породи містять тисячні частки відсотка урану. Останні дві категорії мінеральної речовини, як і самі балансові руди, відносяться до матеріалів, що становлять небезпеку для навколишнього середовища, оскільки вони на відстані 10 см від поверхні створюють потужність еквівалентної дози більше 0,1 мЗв/рік.

Відвали порожніх порід займають на копальнях і кар'єрах багато тисяч квадратних метрів і є джерелами локального забруднення місцевості. В результаті вітрової ерозії відбувається здування пилу з поверхні відвалів, а також твердих продуктів розпаду радону, що постійно виділяється, і перенесення цього матеріалу на значні відстані. Відвали позабалансових руд і порожньої породи піддаються постійному впливу атмосферних опадів, які вилуговують радіонукліди і забруднюють ними ґрунтові води та гідрографічну мережу, що, зрештою, призводить до наднормативного забруднення радіоактивними речовинами донних відкладень.

Додаткове джерело забруднення довкілля – рідкі відходи, до яких належать шахтні води, насичені радіонуклідами.

Науковці доводять, що сьогодні більшість шахт, відвалів і хвостосховищ знаходяться в неналежному, з точки зору радіаційної безпеки, стані [6-14]. Небезпека представляє розмив цих відвалів і хвостосховища дощовими та паводковими водами, а також рознесення вітром радіоактивного пилу, причому більшість хвостосховищ знаходяться поблизу річок, воду яких використовує місцеве населення і в заплавах яких випасається худоба.

Іншою ланкою уранового виробництва є збагачувальні підприємства та заводи з гідрометалургійної переробки радіоактивних руд, де головний вид відходів – хвости переробки рудної маси, які насичені радіоактивними компонентами. Весь цей матеріал видаляється в намівні хвостосховища, які є невід'ємною частиною гідрометалургійного виробництва урану та торію та головним джерелом місцевого забруднення навколишнього середовища радіонуклідами. Навколо хвостосховища з часом утворюється як наземний, так і підземний ореол поширення радіонуклідів.

Крім того, радіоактивні руди часто транспортуються залізницею, де не виключені грубі порушення техніки безпеки.

2.6. Виклики режиму ядерного регулювання в Україні під час російської агресії

У 2014 році основні виклики режиму ядерного регулювання в Україні були пов'язані із зовнішньою загрозою – анексією Автономної Республіки Крим та військовими діями на Донбасі. Міжнародна спільнота визнала факт порушення положень Будапештського меморандуму по відношенню до України.

Через зовнішню агресію, Україна втратила регулюючий контроль на територіях Автономної Республіки Крим (АРК) та окремих територіях Донецької та Луганської областей. Зв'язок із Кримською державною інспекцією з ядерної та радіаційної безпеки фактично було втрачено у травні-червні, а з вересня 2014 року вона офіційно перейшла у підпорядкування Ростехнадзора Російської Федерації. Південно-східна державна інспекція з ядерної та радіаційної безпеки що була розташована у м. Донецьк, продовжувала свою роботу та у грудні 2014 році її було переведено до м. Запоріжжя.

Потрібно зазначити, що на території АРК розташовані такі ядерні об'єкти як дослідницький реактор ДР-100 Севастопольського національного університету ядерної енергії і промисловості та дві підкритичні збірки на низько збагаченому та природному урані. Крім того, на території АРК знаходиться кілька підприємств та лікувальних закладів, у яких використовуються прилади та контейнери із радіаційним захистом із збідненого урану.

У зоні так званих ДНР та ЛНР, немає ядерних установок, є лише ядерні матеріали у невеликих кількостях у вигляді радіаційного захисту контейнерів для транспортування та зберігання радіоактивних відходів та апаратів променевої терапії у онкологічних клініках.

Широкомасштабна російська агресія, розпочата 24 лютого 2022 року, стала найбільш небезпечним викликом у світовій атомній енергетиці.

В лютому-березні після захоплення непрацюючої Чорнобильської АЕС виникла критична ситуація щодо розповсюдження радіоактивного пилу. Спостерігалася тенденція сталого погіршення низки показників. Окупант грубо порушував вимоги радіаційної безпеки та санітарно-пропускного режиму на АЕС та в зоні відчуження.

Запорізька АЕС і м.Енергодар захоплені окупантами вже півроку перебувають під контролем російських військових формувань. Всі 6 енергоблоків Запорізької АЕС обслуговуються українським персоналом, зміни мають можливість ротації. Формально окупанти не втручаються в роботу АЕС, проте всі технічні рішення персонал вимушений погоджувати з командуванням загарбників. Увесь персонал по прибутті на станцію ретельно перевіряється військовими.

Останній місяць став напруженим на захопленій Запорізькій АЕС із за обстрілі в окупантами території станції. Крім колосальних економічних збитків (за оцінками ДП «Енергоатом», 18 млрд. грн.), посилюється загроза неконтрольованих процесів на Запорізькій АЕС, що може привести до радіаційного забруднення територій Запорізької і Дніпропетровської областей.

У серпні 2022 року Міністр закордонних справ України Дмитро Кулеба звернувся із листом до Генерального директора МАГАТЕ Рафаеля Гроссі та Генерального секретаря ООН Антоніу Гутерреша із закликом відправити міжнародну місію під проводом МАГАТЕ та за участі військових експертів ООН для оцінки загроз ядерній безпеці та захищеності Запорізької АЕС, які спричинила окупація та мілітаризація станції російською армією.

Країни G7 через спільну заяву їх міністрів закордонних справ закликали Росію негайно повернути контроль над Запорізькою АЕС Україні, звільнити інші атомні об'єкти, а також вивести війська за межі міжнародно визнаних українських кордонів. І тим не менш, напруженість в цьому безпековому ядерному питанні станом на початок вересня 2022 року залишається.

Розділ 3. Екологічний вплив відвалів урановидобування та хвостосховищ

3.1. Радянський урановий радіаційний спадок

Одним із перших у СРСР підприємств з переробки уранової сировини було виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ) у м.Дніпродзержинськ (зараз м.Кам'янське) Дніпропетровської області, який було введено в експлуатацію ще у 1947 році. З розвалом СРСР його основна діяльність із виробництва урану була припинена, але залишилися велике хвостосховище відходів уранового виробництва [7; 15].

Промайданчик колишнього ПХЗ з переробки уранових руд це:

- хвостосховища: «Західне», «Центральний Яр», «Південно-Східне», «Дніпровське», «Сухачівське», «Лантанова фракція»;
- сховища відходів уранового виробництва «База С», ДП-6; будівля № 103 (цех для одержання закису-окису урану з азотнокислих розчинів).

Відходи-хвостосховища складалася у прилеглих до ПХЗ глиняних кар'єрах та ярах, які для цього були спеціально підготовлені. Хвостосховища є джерелом забруднення підземних вод. Розміщення хвостосховищ «Західне», «Дніпровське», «Південно-східне» та «Центральний Яр» (табл. 3.1) поблизу р.Дніпро у разі значного водонасичення внаслідок підтоплення ґрунтовими водами може призвести до їхнього сповзання схилом та створення надзвичайної ситуації для користувачів річкової води.

У хвостосховищах ПХЗ накопичено до 42 млн. т відходів від переробки уранових руд загальною активністю радіонуклідів урану $3,2 \times 10^{15}$ Бк (середня питома активність радіонуклідів урану – 76 кБк/кг). Загальна площа хвостосховищ 2,77 млн. м². Потужність експозиційної дози знаходиться в межах до 350 мкЗв/рік [7; 15].

Таблиця 3.1. Характеристика основних хвостосховищ колишнього «ПХЗ» та рівні радіаційного ризику від них. Джерело [16]

Назва об'єкту	Площа, га	Маса відходів, Мт	Об'єм відходів, 10 ⁶ м ³	Загальна активність, ТБк
«Західне»	6,0	0,77	0,35	180
«Центральний Яр»	2,4	0,22	0,10	104
«Південно-східне»	3,6	0,33	0,15	67
«Дніпровське»	73,0	12,0	5,9	1400
Хв. «Лантанова фракція»	0,06	0,0066	0,0033	130
Доменна піч № 6	0,2	0,04	0,02	330
База С (колишній склад уранової руди)	25,0	0,3	0,15	440

Хв. «Сухачівське»	160,0	27,6	13,0	980
-------------------	-------	------	------	-----

Радон (Rn^{222}) та його дочірні продукти розпаду роблять основний внесок у формування дози опромінення та, відповідно, радіаційних ризиків для населення Кам'янської промислово-міської агломерації. Щорічно з хвостосховищ ПХЗ у повітря надходить $2,13 \times 10^{13}$ Бк, а зі сховищ уранового виробництва – $2,3 \times 10^{13}$ Бк радону. Після ексхаляції радону з хвостосховищ дифузійно-конвективним шляхом він поширюється в приземному шарі атмосфери, створюючи радононебезпечну обстановку навколо хвостосховища.

Наприклад, основні стратегічні цілі реабілітації і розвитку проммайданчика ПХЗ запропоновано в роботі [17].

Як зазначалося вище (див. підрозділ 1.3) в Кіровоградській області 3 уранових родовища майже відпрацьовано (Ватутинське – шахта «Смолінська» та Мічурінське і Центральне – шахта «Інгульська»). Але багато РАВ залишилось від роботи Великосеверинівської шахти, яка здійснювала роботи по розробці Северинського родовища (5 км від м.Кропивницький).

У 1987 році була розроблена програма з конверсії, і Северинське родовище було переведено в режим мокрої консервації. Однак консервація шахти залишила на поверхні близько 130 тис. т відвалів [18]. Правовий режим консервації, у діючому вітчизняному законодавстві закріплений ст. 12 Закону України «Про видобування і переробку уранових руд».

Отже консервація Северинського родовища, мала відбуватись відповідно до плану, який мав би містити певні заходи щодо дезактивації та рекультивації земель, а також поводження з РАВ, які утворились в наслідок функціонування Великосеверинівської шахти. Таким чином, промислові відходи, що залишились навколо цього урановидобувного об'єкту можуть знаходитись там впродовж невизначеного часу.

3.2. Забруднення від відвалів урановидобування

Ядерна індустрія утворює відходи на уранових шахтах та кар'єрах (у відвали йде уран природного ізотопного складу), збагачувальних заводах та аффінажних виробництвах (рис. 3.1). Відвали відпрацьованої породи та хвостосховища є джерелами надходження радіонуклідів у природні води; забруднення підземних та поверхневих вод отруйними нерадіоактивними речовинами, такими як важкі метали та реагенти, що використовуються при переробці руди, внаслідок ерозії систем хвостосховищ та розсіювання токсинів вітром та водою. В даний час проблема відвалів актуальна як для Європи, так і для України, де накопичилися значні відвали уранових руд [19].

Руди УКЩ бідні: за низького вмісту урану в породах – 99,9% руди йде у відходи. Крім урану, «хвости» містять усі елементи уранового ряду, тобто 85% радіоактивності, що була у руді: довгоживучі продукти розпаду урану (торій-230 і радій-2260 під час переробки не видаляються. Оскільки уран не може бути в ході перемелювання руди повністю відокремлений від порожньої

породи, 10-15% його відправляється у відвали. Процес зменшення радіаційної активності «хвостів» та відвалів може тривати мільйон років.

Крім радіоактивних елементів, «хвости» містять низку токсичних речовин, які раніше були присутні у руді. Наприклад, миш'як, а також хімікалії, що використовуються при видобутку руди. Якщо руда містить пірит (FeS_2), то в покладах відходів при проникненні опадів і кисню виникають кислоти, що стимулюють вилуговування забруднювачів, погіршується якість ізолюючого шару, що підстилає, і тим самим збільшується вихід токсинів в ґрунтову воду («кислотний гірський дренаж»).

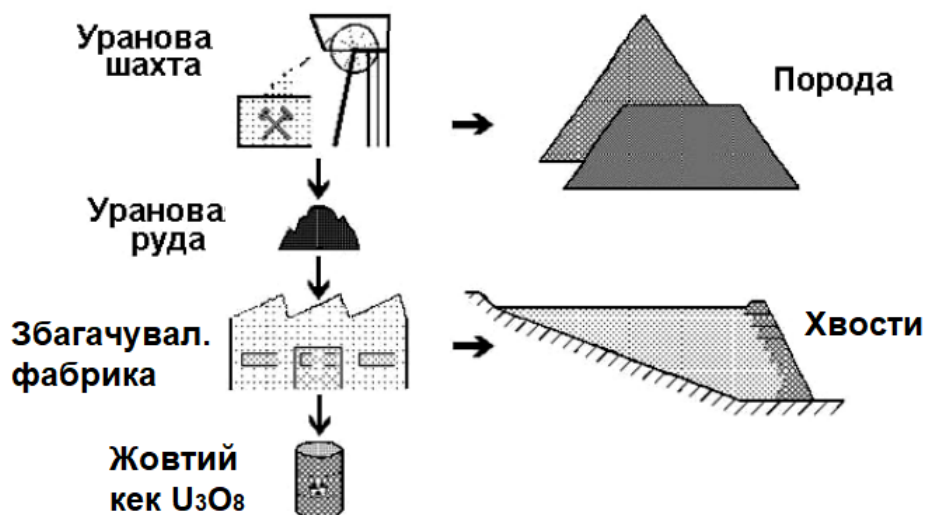


Рис. 3.1. Схема видобутку і переробки урану та формування відходів

Змив і просочування радіонуклідів з хвостосховищ, шахт та інших забруднених ділянок підвищує їхню концентрацію у місцевих річках та питній воді. Головну роль міграції радіонуклідів грає водна ерозія відходів під впливом опадів.

Важливо зазначити, що уран міститься не тільки у відвалах уранових шахт, відвали теплових електростанцій на вугіллі також містять уран у перспективних кількостях при їх рециклінгу (повторному використанні). Наприклад, у «хвостах» китайських вугільних станцій знаходиться 0,28 кг урану в одній тонні вугільних відвалів, отже переробка 5 млн. т відвалів може дати 1500 т урану, і цей уран може забезпечувати китайську атомну енергетику [20].

При розгляді питання екологічної безпеки урановидобувних територій першочергова увага звертається на наявність низькорадіоактивних матеріалів. Такі матеріали називаються радіоактивними матеріалами природного походження, а в Україні використовується термін техногенно-підсилені джерела природного походження (ТПДПП). За визначенням НРБУ-97 ТПДПП – це ДІВ природного походження, які в результаті господарської та виробничої діяльності людини були піддані концентруванню або збільшилися їхня доступність, внаслідок чого утворилося додаткове до природного радіаційного фону опромінювання.

Від уранових хвостосховищ виходить два види небезпеки. Перший – це радіація, але якщо хвостосховища законсервувати, то від них не буде серйозної загрози. Друга небезпека полягає в тому, що якщо на хвостосховищі сходять зсув, то він це хвостосховище «видавлює», а маса, що міститься в ньому, потрапляє в річки, і виникає ризик забруднення води.

Джерела радіаційного впливу на довкілля різноманітні і ґрунтовно висвітлені в багатьох публікаціях [21-23]: це аерозольні, пилові, рідкі, тверді низькоактивні відходи РАВ видобувного і збагачувального комплексів уранових шахт та родовищ. Території, в межах яких відбуваються процеси видобування та перероблення радіоактивної сировини, зазнають радіоактивного забруднення різного ступеню.

В роботі [24] проаналізовано вплив на довкілля від відходів промислової розробки уранових родовищ, що являють собою подрібнений мінеральний концентрат, збагачений ураном, торієм та важкими металами в Кіровоградській області. Зокрема в цій роботі зазначено, що контрастність руд (співвідношення середнього вмісту урану у рудах і вміщуючи породах) змінюється від 77-84 (Мічуринське) до 302-376 г/т (Новокостянтинівське і Северинське) родовища. За даними [25] з'ясувалось, що всі відвали Інгульської шахти є слабо рудними, тобто вміст урану майже в усіх пробах не перевищує 0,01%.

В результаті дослідження [24] для відвалів Інгульської шахти (радіус 290 м) побудовано чотири ізолінії середньорічних доз за рахунок винесення пилу з відвалів шахт зі значеннями величин від 3 до 6 мкбер/рік (1 мкбер = 1 мкР). На межі відвалу за рахунок винесення пилу людина може отримати дозу 6 мкбер/рік (рис. 3.2). За рахунок рози вітрів ізолінії доз витягнуті в напрямку на південний схід. На відстані 0,8 км від центру відвалу дози знаходяться на рівні 3 мкбер/рік.



Рис. 3.2. Радіаційні дози уранових шахт Кіровоградщини. Джерело [24]

Для відвалів Смолінської шахти (радіус 280 м) побудовано чотири ізолінії середньорічних доз зі значеннями величин від 11 до 6 мкбер/рік. На

межі відвалу за рахунок винесення пилу людина може отримати дозу 11 мкбер/рік. За рахунок рози вітрів ізолінії доз витягнуті в напрямку на південний схід. На відстані 0,8 км від центру відвалу дози знаходяться на рівні 6 мкбер/рік (див рис. 3.2).

Для відвалів Новокостянтинівської шахти (радіус 87 м) побудовано чотири ізолінії середньорічних доз зі значеннями величин від 1,4 до 0,8 мкбер/рік. Оскільки відвали даної шахти почали складувати набагато пізніше відвалів попередніх двох шахт, то розміри і дози, одержувані від винесення пилу значно менші. Як впливає з наведених даних від винесення пилу з відвалів до приблизно 1 км величини доз приблизно дорівнюватимуть 1 мкбер/рік (див рис. 3.2).

На основі отриманих даних дослідники оцінили радіаційний ризик смерті за все життя відповідності із [26]. З наведених даних [24] випливає, що максимальний ризик смерті очікується поблизу відвалів Смолінської шахти, небагато менший ризик смерті очікується поблизу Інгульської шахти, ще значно менший – поблизу відвалів Новокостянтинівської шахти. Величина ризику смерті поблизу меж відвалів перебуває на рівні приблизно 10^{-9} /рік. У НРБУ-97 зазначається, що ризик зневажливо малий, якщо ймовірність смерті менша за 10^{-6} /рік або $7 \cdot 10^{-5}$ за все життя.

За результатами проведених вимірювань в дослідженні [27] проведено розрахунки доз опромінення населення повітряним шляхом формування дози. Виконання робіт з моніторингу повітряного середовища в районах уранодобувних підприємств було розпочато у 2008 році на Інгульській шахті, яка складається з двох територіально рознесених шахт: шахти «Інгульська» та шахти «Центральна». Було встановлено, що дози опромінення змінюються для різних вікових груп населення від 20,8 до 22,2 мкЗв для шахти «Центральна» та від 48,2 до 51,8 мкЗв для шахти «Інгульська». Ці ефективні дози опромінення населення не перевищують встановлених квот повітряним шляхом опромінення відповідно до НРБУ-97 і рівних 120 мкЗв/рік.

В дослідженні [28] встановлено, що максимально можливе сумарне індивідуальне дозове навантаження на населення, яке проживає в зоні впливу шахт «Інгульська», становить 0,951 мЗв/рік, шахта «Смолинська» – 0,722 мЗв/рік. Максимальне ефективне індивідуальне дозове навантаження населення від діючих об'єктів ДП «СхідГЗК2» вбирається у 0,12 мЗв/год, що відповідає нормам НРБУ-97. Показано, що покращення екологічної обстановки на майданчиках гірничих підприємств досягається завдяки проведенню планувальних заходів, що передбачають: ізоляцію поверхні відвалів ґрунторослинним шаром, рекультивацію забруднених радіонуклідами у процесі виробничої діяльності локальних ділянок площею 20 тис. м².

Також в цьому дослідженні рекомендовано «сухе» складування хвостів замість традиційного наливного способу. При заповненні пов'язаними хвостами всієї існуючої площі дзеркала хвостосховища на висоту 10 м та продуктивності ГМЗ до 1,5 млн. т на рік продовжується термін його експлуатації на 50 років.

В той же час інший підхід щодо радіаційної оцінки відвалів здійснено, наприклад, в роботі [29], де показано, що найбільш активні відвали в Ельконському уранорудному районі на території Південної Якутії за радіаційними параметрами наближаються до радіоактивних руд, при цьому потужність їх експозиційної дози становить 1600-2150 мкР/рік, ефективна питома активність – 20441-23640 Бк/кг, а вміст урану 1637-1888 мг/кг (1,6-1,9 г/т). Ранжування відвалів, що вивчаються, за ступенем радіаційної небезпеки показало, що 12 відвалів з 31 (39%) відносяться до категорії безпечних, 6 (19%) – до категорії потенційно-небезпечних, а 5 і 8 (16% і 26%) – відповідно до категорій небезпечних та особливо небезпечних.

3.3. Деякі екологічні практики управління відвалами гірничодобувних підприємств

Вважається, що найпростіше вирішення проблеми відходів гірничого видобування – повернення їх туди, звідки їх взяли – у підземні гірничі виробки, кар'єри тощо. Однак це не найкраще рішення. Повернення відходів у підземну шахту часто неприйнятний вибір: після зупинки насосів, матеріал опиниться у прямому контакті із ґрунтовою водою. До того ж лише частина старих штолень доступна. Теж можна сказати і про ідею повернення відходів у кар'єри. Поховання в гірничих виробках можливе, якщо через наявність природних або штучних гідроізолюючих шарів, контакт відходів та ґрунтової води повністю виключений. Попередня переробка відходів перед захороненням методами гідрометалургії знизить негативний вплив на довкілля та повітря.

У міжнародній практиці під реабілітацією навколишнього середовища в районах розміщення колишніх уранових виробництв мається на увазі не тільки очищення проммайданчиків колишніх виробництв, створення ґрунтових покриттів відвалів збіднених руд або хвостосховищ, розбирання забруднених будівель, дезактивація обладнання або просто огороження таких територій. Реабілітація (відновлення), так само, як і ремедіація (зниження ризиків та доз опромінення) – тривалий процес соціально виправданого повернення забруднених територій у корисне використання та суспільно прийнятний естетичний стан.

Але питання рекультивациі відвалів видобутку урану важливе і з точки зору вивільнення землі. Наприклад, якщо прибрати відвали шахти «Інгульська», яка знаходиться за кільцевою дорогою м.Кропивницький, то вивільниться більше 26 га землі.

В Україні, Росії та країнах Центральної Азії досі основним документом щодо планування та здійснення рекультивациі колишніх уранових виробництв залишаються «Санітарні правила щодо ліквідації, консервації та перепрофілювання колишніх уранових виробництв» (СП-ЛКП-91) або їх модифікації, які містять багато рекомендацій, критеріїв та вимог, що не відповідають сучасним міжнародним стандартам. Крім того, після випуску у 2007 році чергових рекомендацій Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ-103), а також низки документів МАГАТЕ щодо здійснення

реабілітаційних заходів стало очевидним, що критерії неможливо знайти універсальними [16].

Достатньо актуальною є проблема для територій видобутку і переробки урану в країнах Центральної Азії [30]. У хвостосховищах та гірських відвалах на території Казахстану, Киргизстану, Узбекистану та Таджикистану знаходиться 812,6 млн. т відходів. Загалом у Центральній Азії 48 хвостосховищ із радіоактивними відходами загальною масою близько 450 млн. тонн. З них 3 хвостосховища (масою 246,2 млн. т) розташовані в Казахстані, 34 (77,3 млн. т) – у Киргизії, 10 (55 млн. т) – у Таджикистані та одне (66 млн. тонн) – в Узбекистані. Тому впродовж 10 років у цьому регіоні проводили дослідження щодо оцінки впливу уранових відходів на навколишнє середовище. Наприклад, представництво Європейського Союзу (ЄС) в Киргизії повідомило про закінчення дослідження і підготовку техніко-економічні обґрунтування робіт з рекультивациі на семи об'єктах: Майлі-Суу (Майлуу-Суу, Майлі-Сай, Майли-Суу), Мін-Куш, Шекафтар (Киргизія), Істіклол, Дігмай (Таджикистан), Чаркесар та Янгібад (Узбекистан). На дослідження ЄС виділив 16 млн. євро, а тепер має намір дати гроші і на рекультивацию.

У 2019 році збори вкладників ERA ЄБРР затвердили фінансування рекультивациі Мін-Куша (3 млн. євро для всіх об'єктів, крім хвостосховищ) та Шекафтара (3 млн. євро) у Киргизстані. Роботи з рекультивациі на майданчику Шекафтар розпочалися у липні 2020 року, а на майданчику Мін-Куш – у жовтні 2020 року. Рекультивация Майлуу-Суу, що оцінюється в 26 млн. євро, залежить від наявності коштів на рахунку ERA. Очікується, що рішення зборів вкладників про фінансування рекультивациі Майлуу-Суу буде ухвалено у 2022 році.

Важливо зазначити, що у 2012 році для сприяння застосуванню ефективного та скоординованого підходу до рекультивациі було створено Координаційну групу з колишніх уранових об'єктів (CGULS), покликану сприяти співпраці між державами – членами МАГАТЕ, які зіткнулися з проблемою уранової спадщини, та національними та міжнародними організаціями, які беруть участь в управлінні майданчиками уранової спадщини, їх рекультивациі або регульовальному нагляді за ними. Відповідно до кола ведення CGULS членами CGULS є Казахстан, Киргизстан, Таджикистан, Узбекистан та Україна. На жаль, відповідних рішень щодо фінансування рекультивациі українських відвалів урановидобування і переробки з боку ЄБРР немає.

У країнах ЄС усі реабілітаційні проекти передбачали хоча б часткове відновлення ландшафтів на місці колишніх уранових виробництв до суспільно прийняттого рівня комфортності населення на прилеглих територіях. Наприклад, при реабілітації об'єктів підприємства «Вісмут» у Німеччині стояло завдання не лише привести у безпечний стан місця складування відходів уранового виробництва, закриття старих шахт та очищення територій, а й практично повного відновлення всіх техногенно порушених ландшафтів. Сьогодні ця програма, яка була розпочата ще у 1990

році, завершена. У неї було вкладено, за різними оцінками, €3-5 млрд, причому значну частку коштів витрачено на соціальні виплати та відновлення естетики навколишнього середовища, що гармонійно вписується в ландшафт прилеглих територій.

Ще один яскравий приклад ліквідації наслідків від видобутку урану та реабілітації забруднених територій, що компенсуються державою – Чехія (приблизно \$3 млрд.). Суттєві відмінності у вартості програм визначаються лише запланованим кінцевим станом та рівнем соціальної прийнятності очікуваного результату реабілітації.

Один із напрямів у рекультивації відвалів урановидобування є рециклінг. В свій час на відвалі Смолінської шахти введено в експлуатацію сортувальний комплекс «Алтайт», в основі роботи якого принцип глибокої сепарації радіометричної радіоактивних руд. Комплекс «Алтайт» дозволяє фактично повністю вибрати радіоактивність з відвалів гірських порід та відокремити чисту породу для використання як будівельний матеріал 2-го класу для автодорожнього та промислового будівництва.

Завдяки впровадженню нових сепараторів на рудосортувальних фабриках шахт «СзідГЗК» вже вдалося в 1,5-2 рази знизити вміст урану в «хвостах», що вивозяться у відвали. Так, якщо у 2005 році з однієї тонни відходів на Смолінській шахті викидалося 180 г урану, то вдалося досягти показника у 110 г/т. Вміст урану у відходах Інгульської шахти вдалося знизити з 200 г на тонну до 150.

Удосконалення технології збагачення руд дозволило за 2 роки одержати додатково 28 т урану, відповідно зменшивши навантаження на довкілля.

Паралельно з розробкою та впровадженням нових сепараторів, на цьому українському підприємстві було відпрацьовано ефективну технологію рекультивації відвалів, яка була апробована на макетному зразку і потім лягла в основу комплексу «Алтайт», що дозволить знизити вміст урану в породі до 60 г/т, що є екологічно безпечним показником.

Крім того, це дозволить щорічно рекультивувати 1 млн. т відвалів, при цьому додатково отримувати 110 т концентрату природного урану, 363 тис. т будівельного щебню та 84 тис. т піщаної фракції для гідрозакладки.

В Україні є група компаній, яка пропонує ефективне рішення щодо утилізації уранових відвалів та рекультивації території під урановими відвалами у два етапи:

- біолугання урану з відвалів та сорбція урану на іонообмінній смолі;
- рекультивація території за допомогою органічних добрив, одержуваних на основі власних біотехнологій [31].

Ця технологія під назвою «Біолюкс ПРО» дозволяє вилучати з відвалів порід уран з порід, що мають малий вміст урану у своєму складі; вилучати інші метали, у тому числі рідкісних та рідкісноземельних. Після мікробіологічної обробки гірничої порода може використовуватись як будівельний матеріал. Також забезпечується зниження витрат електроенергії проти традиційними способами вилучення урану та зменшуються витрати кислоти у 3-4 рази порівняно з традиційними способами вилучення урану.

Цікавими для застосування могли б бути деякі методологічні інструменти. Наприклад, Регламент з реєстрації, оцінки, авторизації та обмеження виробництва та використання хімічних речовин (REACH – Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), який набув чинності у 2007 році, націлений на покращення існуючої раніше системи регулювання використання хімікатів у ЄС. REACH покладає більше, ніж раніше відповідальності на промислові підприємства за всі небезпечні дії, пов'язані з ризиками, яким може зазнати здоров'я людини та стан довкілля (http://guidance.echa.europa.eu/about_reach_fi.htm).

Відповідно до Регламенту REACH промислове підприємство несе основну відповідальність за запобігання ризикам від хімічних речовин. Воно має надати користувачам хімікатів належні відомості про безпеку. Застосування процедури REACH передбачає використання ряду інструментів та методів. Деякі з них існували і раніше, інші ж розроблені для застосування регламенту REACH:

- оцінка безпеки стосується всіх хімічних речовин, які виробляються або імпортуються до країни в обсязі не менше 10 т на рік, для забезпечення безпеки використання цих речовин;
- сценарії схильності використовуються для виявлення чутливості людей та навколишнього середовища до хімічних речовин та розробки належних способів управління ризиками впливу цих речовин;
- класифікація та маркування пов'язані з оцінкою небезпеки речовини або препарату та з оповіщенням про небезпеку за допомогою маркування. Класифікація хімічних речовин призводить до деяких зобов'язань, як, наприклад, зобов'язання надання кінцевим споживачам інструкції щодо безпечного застосування реагенту.

В Фінляндії використовується набір найкращих екологічних практик (BER), що дозволяє забезпечити засновану на принципах сталого розвитку гірничо-промислову діяльність як дбайливе відповідальне використання природних ресурсів для забезпечення достатності сировини, її рециклінгу та доступності зараз і в майбутньому. Це передбачає повне та збалансоване використання найважливіших природних ресурсів, їх охорону, а також збалансований та відповідальний спосіб дій, коли беруться до уваги як короткострокові, так і довгострокові екологічні, соціальні, економічні та адміністративні аспекти. Найкраща екологічна практика в гірничодобувній промисловості – це образ чи метод дій, з якого гірничодобувна діяльність, що утворюються у своїй викиди, їх екологічний вплив зберігаються локальним лише на рівні, який допустимо місцевих і регіональних співтовариств. У визначенні допустимого рівня (грунтуючись на законодавстві) береться до уваги можливий вплив на місцевих жителів, життєздатність та різноманіття природи, а також ландшафт.

«Найкращі екологічні практики» містять рекомендації та інформацію про найкращі способи та методи здійснення гірничодобувної діяльності. У першому розділі розглядаються питання найкращих практик у плануванні та управлінні гірничодобувним проектом. У другому розділі описується

найкращий підхід у геологорозвідці, у третьому – у період проектування, будівництва, відкриття та виробничої діяльності рудника, а у четвертому – під час закриття та рекультивації копальні.

Розділ 4. Радонова безпека

4.1. Радонова безпека населення і її норми

Радон – це радіоактивний газ, який повсюдно поширений у природі. Він майже в 7,5 разів важчий за повітря, добре розчиняється у воді, не має кольору, смаку і запаху. Радон утворюється в результаті природного радіоактивного розпаду урану, тому радон знаходиться у високій концентрації в ґрунті та скельних породах, що містять радіоактивні елементи. Радон може виділятися також з ґрунтів, що містять певні типи промислових відходів, таких як порода гірничо-збагачувальних підприємств і шахт.

Існує три природних ізотопи радону: *радон-222* (період напіврозпаду 3,8 доби; ряд розпаду урану-238), *радон-220*, або *торон* (період напіврозпаду 56 секунд; ряд розпаду торію-232), *радон-219*, або *актинон* (період напіврозпаду 4 секунди; ряд розпаду урану-235).

На відкритому просторі концентрація радону настільки низька, що зазвичай не викликає занепокоєння. Однак усередині закритих обсягів (таких, як житло) радон накопичується. Рівень утримання радону у приміщенні визначається як складом будівельних матеріалів, так і концентрацією радону у ґрунті під будівлею (рис. 4.1). Ще одне джерело надходження радону в житлові приміщення – вода та природний газ (табл. 4.1).

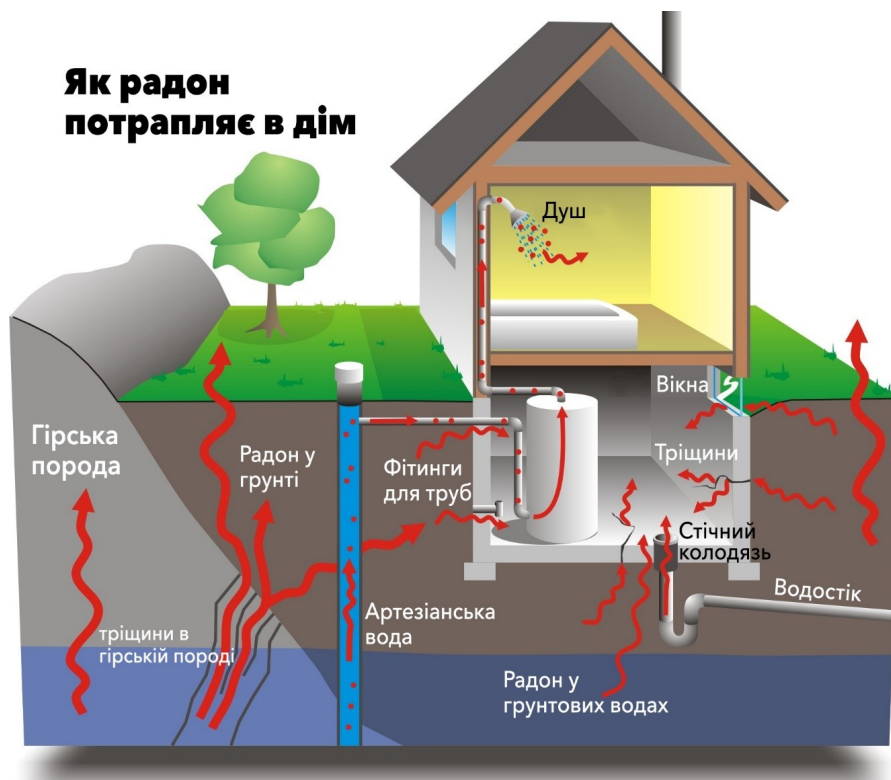


Рис. 4.1. Надходження радону до будівлі. Джерело: uatom.org

Об'ємна активність радону в поверхневих водах дуже низька, зазвичай нижче 1 Бк/л. У ґрунтових водах об'ємна активність змінюється від 1 до 50

Бк/л у підземних водоносних пластах, від 10 до 300 Бк/л у свердловинах, та від 100 до 1000 Бк/л у кристалічних породах.

Через свою низьку реакційну властивість радон сам по собі не становить серйозної загрози здоров'ю. Проте, радіотоксичність його дочірніх продуктів розпаду (ДПР) – короткоживучих ізотопів полонію, вісмуту, свинцю – дуже висока. Основну частину дози, обумовлену радоном, людина отримує, перебуваючи в закритому, непродітованому приміщенні. У зонах з помірним кліматом концентрація радону в закритому приміщенні приблизно в 8 разів вище, ніж у зовнішньому повітрі.

За оцінками вчених радон-222, з погляду вкладу в сумарну дозу опромінення, в 20 разів потужніший за інші ізотопи. Цей ізотоп вивчається більше за інших і називається просто *радоном*. Основними джерелами радону є ґрунт та будівельні матеріали (див. табл. 4.2).

Таблиця 4.1. Потрапляння радону до будинку. Джерело [32]

Джерела радону в будинку	Частка від загального надходження, %
Ґрунт та породи під будівлею	70
Зовнішнє повітря	13
Будівельні матеріали	7
Вода	5
Природний газ	4

Необхідно зазначити, що сумарно від усіх джерел опромінення до аварії на Чорнобильській АЕС і після неї населення України отримує в середньому близько 6-7 мЗв/рік. Протягом середнього періоду життя (60-70 років) людини сумарна доза може бути оцінена 300-500 мЗв. Для половини жителів накопичені за життя дози опромінення становлять близько 350-400 мЗв. Причому з цих доз їх 75-80% обумовлені впливом радону (див. рис 2.1).

В Україні найбільша потенційна небезпека, зумовлена радоном, існує в межах Українського кристалічного щита (УКЩ), а це територія, що тягнеться вздовж середньої течії Дніпра смугою завдовжки понад 1000 км та завширшки близько 250 км (рис. 4.2).

На УКЩ розташовані Житомирська, Вінницька, Кіровоградська та Запорізька області, східні частини Рівненської та Хмельницької області, північно-східні частини Одеської, Київської (правобережжя) та Черкаської областей, північні частини Миколаївської, Дніпропетровської (правобережжя) та Черкаської областей. Тому в будинках на території цих областей часто спостерігається перевищення нормативів щодо радону. Оцінка доз опромінення населення України свідчить про значні варіації радону у приміщеннях будівель [33-36].

На рис. 4.3 наведені середньорічні дози радонового опромінювання по областям України у 2017 році.

Середнє значення активності радону в США в будівлях становить 55 Бк/м³. У повітрі 5% будівель міститься понад 150 Бк/м³ радону, а у 0,1% будівель його активність перевищує 800 Бк/м³. У 3% зі 130 обстежених шкільних будівель рівень радону був вищим за 700 Бк/м³.



Рис. 4.2. Територія УКЩ (позначка I – жовтий колір)

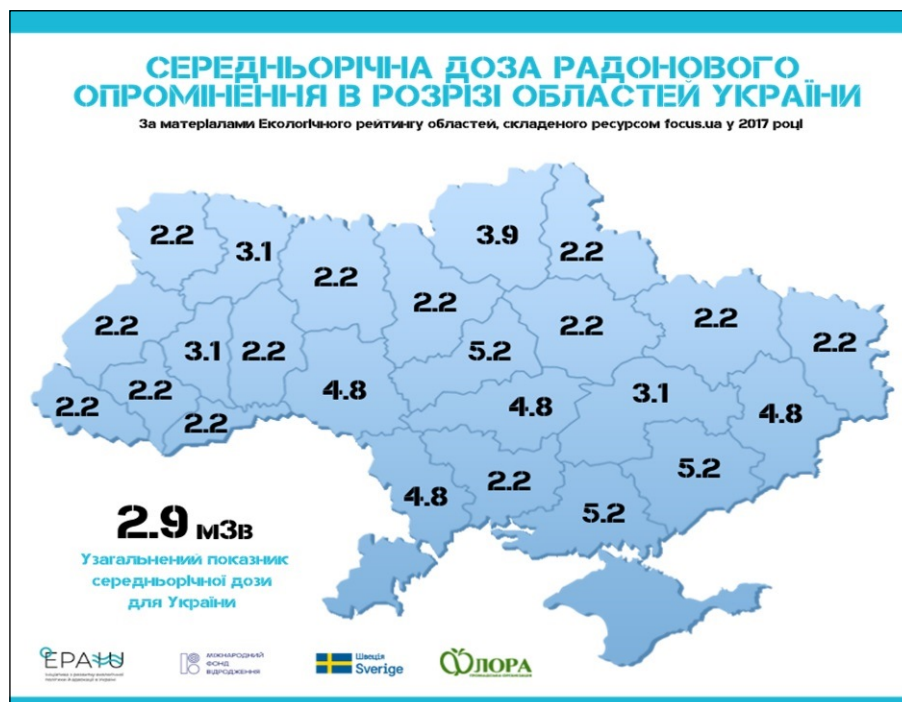


Рис. 4.3. Радонове опромінення українців в розрізі областей.
 Джерело: uatom.org

Концентрації радону до кількох тисяч Бк/м³, що відповідають ефективним дозам до 100 мЗв/рік і більше, виявлені у Фінляндії та Швеції.

У Великій Британії виявлено 20 тис. будівель, де ефективна доза за рахунок радону вище 20 мЗв/рік. У Німеччині середній рівень активності радону у повітрі житлових будинків дорівнює 40 Бк/м³, в 1% обстежених будівель – вище 250 Бк/м³, у 0,1% – вище 600 Бк/м³. У будинках Швеції середня активність радону – 50 Бк/м³, в 10% будівель вона перевищує 100 Бк/м³, а в 1% – 400 Бк/м³ [36].

Дози опромінення від радону населення Росії (90%) не перевищують 2 мЗв/рік. 7,4% населення цієї країни живуть в умовах підвищеного – 2-5 мЗв/рік; 2,5% – високого опромінення від радону – понад 5 мЗв/рік. Один мільйон жителів опромінюється від радону дозою понад 10 мЗв/рік. Близько 200 тисяч жителів зазнають радонового опромінення з рівнем, що перевищує 20 мЗв/рік [36].

Відповідно до чинних нормативних документів контроль впливу радіоактивних речовин у будівельній галузі здійснюється за кількома параметрами:

- ефективна питома активність природних радіонуклідів у будівельних матеріалах та у мінеральній будівельній сировині;
- потужність поглиненої в повітрі дози гамма-випромінювання в приміщеннях будівель і споруд;
- середньорічна еквівалентна рівноважна об'ємна активність радону і торону в повітрі приміщень.

Усі будівельні матеріали, згідно з НРБУ-97 [37], за величиною ефективної питомої активності природних радіонуклідів та можливості їх використання у будівництві поділяються на чотири класи:

- I клас – ефективна питома активність природних радіонуклідів становить трохи більше 370 Бк/кг. Такі будівельні матеріали можуть використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень;
- II клас – ефективна питома активність природних радіонуклідів становить 370-740 Бк/кг. Такі будівельні матеріали можуть використовуватись для дорожнього та промислового будівництва в межах населених пунктів;
- III клас – ефективна питома активність природних радіонуклідів становить 740-1350 Бк/кг. Такі будівельні матеріали можуть використовуватись в межах населених пунктів для будівництва підземних споруд, а також поза населеними пунктами для будівництва доріг, гребель тощо;
- IV клас – ефективна питома активність природних радіонуклідів перевищує 1350 Бк/кг. На використання таких будівельних матеріалів у кожному конкретному випадку потрібний дозвіл Міністерства охорони здоров'я України.

НРБУ-97 встановлено нормативи утримання радону-222 та торону-220 у повітрі приміщень як еквівалентна рівноважна об'ємна активність (ЕРОА) [37]. У випадку, коли будівля або споруда вводяться в експлуатацію після закінчення будівництва або реконструкції, допустимий вміст радону у повітрі приміщень для експлуатації з постійним перебуванням людей становить 50

Бк/м³, а для торону – 3 Бк/м³. Для існуючих будівель та споруд для експлуатації з постійним перебуванням людей рівень утримання радону у повітрі існуючих будівель та споруд рівень утримання радону не повинен перевищувати 100 Бк/м³, а торону – 6 Бк/м³.

Допустимі рівні радону у повітрі приміщень в Україні на щабель жорсткіші, ніж у країнах Європи. Міжнародна Комісія з радіаційного захисту (МКРЗ) пропонує як допустиму для житлових будівель величину об'ємної активності 300 Бк/м³ (ЕРОА = 150 Бк/м³). Той самий референтний рівень для середньої річної концентрації радону у повітрі (за винятком, якщо обставини на національному рівні не вимагають іншого) передбачений Директивою 2013/59/Євратом.

Нині одним із базових документів, що спрямовує зусилля держав-членів ЄС на досягнення стандартів благополуччя населення, у контексті захисту від іонізуючого впливу, у тому числі радону, є Директива Ради Європи № 59/2013. Однією з її вимог є обов'язок держав-членів розробити виважені стратегії для здійснення згаданих стандартів. Як член Ради Європи, Україна також має обов'язок імплементувати вимоги цього документа та забезпечити ефективний захист населення від радонового забруднення.

В 2019 році Кабінет Міністрів України затвердив національний план дій щодо радону, який за своєю змістовною частиною повністю відповідає вимогам Основних стандартів безпеки Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та Євратому. Відповідно до змісту Плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону у житлових та нежитлових будинках, на робочих місцях на 2020-2024 роки [38], у 2020 році Міністерством охорони здоров'я, Держатомрегулюванням та Національною академією медичних наук мали б бути розроблені та затверджені Порядок та Методика проведення моніторингу радону в Україні та повідомлення про радіаційні ризики. При цьому відповідальним суб'єктом проведення моніторингу рівнів радону є місцеві державні адміністрації.

Крім того, передбачено створення системи контролю за якістю та ефективністю проведення протирадонових заходів на рівні держави, формування бази даних щодо рівнів радону в повітрі будинків та реєстру сертифікованих експертів з протирадонових заходів, розроблення санітарного регламенту щодо визначення рівнів дій активності радону на робочих місцях [38]. На жаль, поки немає реальних дій щодо виконання цього Плану.

4.2. Дослідження радонової безпеки в Україні

Методологічні підходи до оцінки радіаційного ризику широко висвітлено в публікаціях Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) (icrp.org/page.asp?id=5).

За даними ряду наукових публікацій, радон як джерело опромінення може викликати не тільки онкологічні захворювання бронхолегеневої системи, але й бути причиною виникнення лейкемії у дітей. У 2015 році МКРЗ видала нові рекомендації (Публікація 126) – доповнення до більш

ранньої Публікації 115, яка була презентована науковій громадськості декількома роками раніше. Це свідчить про підвищену увагу до проблеми радону [39].

Аналізуючи дані пулінгових досліджень, МКРЗ дійшла висновку, що ризик від радону для бронхолегеневої системи людини недооцінений в 1,5 раза, а тому було збільшено відповідні оцінки радіаційних ризиків. Тому в Україні останні 10 років активно проводяться дослідження стану радонового забруднення приміщень, особливо приміщень, для знаходяться діти.

В 2011 році вперше на території України була розпочата регіональна програма по зменшенню доз опромінення населення від радону – програма Кіровоградської облдержадміністрації «Стоп радон». Основні її результати представлені на рис. 4.4: середні значення ЕРОА радону в повітрі обстежених приміщень, та процент зафіксованих перевищень нормативу [40].

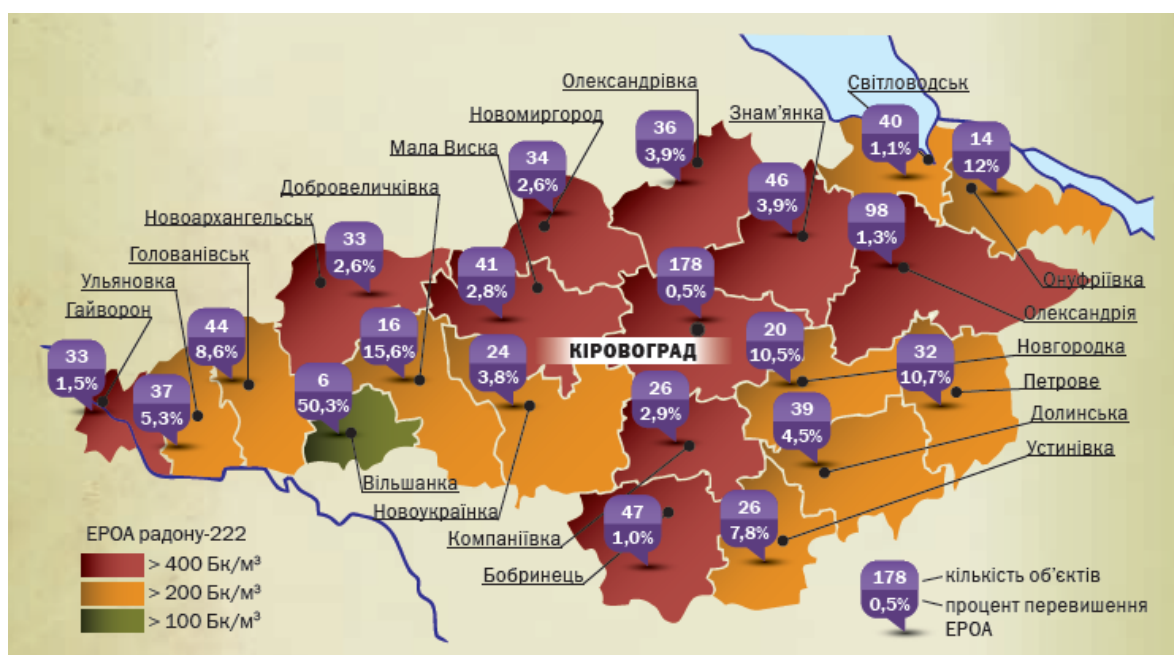


Рис. 4.4. Рівні радону в дитячих дошкільних та шкільних закладах Кіровоградської області (програма «Стоп радон»). Джерело: [36]

Аналіз результатів досліджень рівнів радону показав, що норматив НРБУ-97 перевищується у більше ніж 30% досліджених об'єктів. Зокрема, із 30 обстежених будівель у Маловисківському районі, перевищення нормативу по ЕРОА радона відмічається у 23 будівлях, причому у 8 будівлях спостерігається 5-кратне, а у 3 будівлях 10-кратне перевищення нормативу. У Компаніївському та Гайворонському районах зафіксовано показники активності радону у повітрі приміщень навчальних закладів більше 1000 Бк/м³ та 2300 Бк/м³ відповідно, які є критичними (у 20-46 разів вище за нормовані граничні показники). За отриманими результатами були оцінені прямі збитки для Кіровоградщини, обумовлені радоном.

Встановлено, що Кіровоградщина втрачає до 10 млн. грн. на рік (\$1,25 млн.) [40].

У 2017-2018 роках в рамках обласної програми «Комплексна програма захисту населення Кіровоградської області від впливу іонізуючого випромінювання на 2014-2018 роки» в освітніх і медичних закладах в м.Кропивницький було проведено два дослідження (табл. 4.2).

Вимірювання середньорічної ЕРОА радону в повітрі приміщень будівель дошкільних, шкільних та лікувальних закладів проводились методом пасивної трекової радонетрії фахівцями Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної Академії медичних наук України» (ДУ "ІГЗ НАМНУ").

*Таблиця 4.2. Результати досліджень щодо ЕРОА в м.Кропивницький.
Джерело: звіти «ДУ «ІГЗ НАМНУ»*

2017	2018
<p>1. Проведено вимірювання ЕРОА радону у повітрі приміщень дошкільних, шкільних та лікувальних закладів м. Кропивницький Кіровоградської області (всього 42 об'єкти).</p> <p>2. Встановлено, що по всьому масиву даних діапазон значень ЕРОА радону складає від 12 Бк/м³ (ЗОШ І-ІІІ ступенів № 29, кабінет № 7) до 340 Бк/м³ (музична школа № 3, 1 корпус). Середнє значення ЕРОА радону-222 складає 91 Бк/м³.</p> <p>3. Виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону (50 Бк/м³) у 66,4% досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м³ (норматив для житлових будинків) перевищується у 32,1 % приміщень, рівень понад 200 Бк/м³ – у 9,3 % приміщень.</p>	<p>1. Проведено вимірювання ЕРОА радону у повітрі приміщень навчальних та лікувальних закладів м. Кропивницького (всього 34 об'єкти).</p> <p>2. Встановлено, що по всьому масиву даних діапазон значень ЕРОА радону складає від 25 Бк/м³ (позашкільний центр "Школа мистецтв") до 553 Бк/м³ (музична школа № 3, 1 корпус). Середнє значення ЕРОА радону складає 126 Бк/м³.</p> <p>3. Виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону (50 Бк/м³) у 86,2 % досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м³ (норматив для житлових будинків) перевищується у 53,6 % приміщень, рівень понад 200 Бк/м³ – у 15,2 % приміщень.</p>

У 2017 році виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону-222 (50 Бк/м) у 66,4 % досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м³ (норматив для житлових будинків) перевищується у 32,1 % приміщень, рівень понад 200 Бк/м³ – у 9,3 % приміщень. У 2018 році «радонова картина» дещо погіршилась: виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону-222 (50 Бк/м³) у 86,2 % досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м³ (норматив для житлових будинків) перевищується у 53,6 % приміщень, рівень понад 200 Бк/м³ – у 15,2 % приміщень.

У 2021 році в Кіровоградській області був реалізований пілотний проект для освітніх закладів м.Кропивницький щодо потенціального створення автоматизованого комплексу вимірювання радону в приміщеннях.

Вимірювання об'ємної активності радону здійснювалось інтегральним радіометр радону RADON SCOUT (PGA-1100), дані вимірювання автоматично передавались на сервер з відповідним програмним забезпеченням (рис. 4.5), а місцезнаходження радіометру фіксувалось за допомогою GPS-трекеру. На кожному об'єкті вимірювання проводилось впродовж 5-7 днів.

За даними цього дослідження у 2021 році серед 39 закладів шкільної і дошкільної освіти м.Кропивницький виявлено перевищення радіаційно-гігієнічного нормативу щодо ЕРОА радону (50 Бк/м^3) у 46,1 % досліджених приміщень, з них рівень 100 Бк/м^3 (норматив для житлових будинків) перевищується у 10,2 % приміщень, рівень понад 200 Бк/м^3 – у 12,8 % приміщень. При цьому мінімальне середнє значення ЕРОА становило 14 Бк/м^3 , а максимальне – 297 Бк/м^3 .

В той же час потрібно зазначити, що під час моніторингу рівня радонового забруднення приміщень закладів шкільної і дошкільної освіти спостерігалися значення об'ємної активності радону більше 1800 Бк/м^3 .

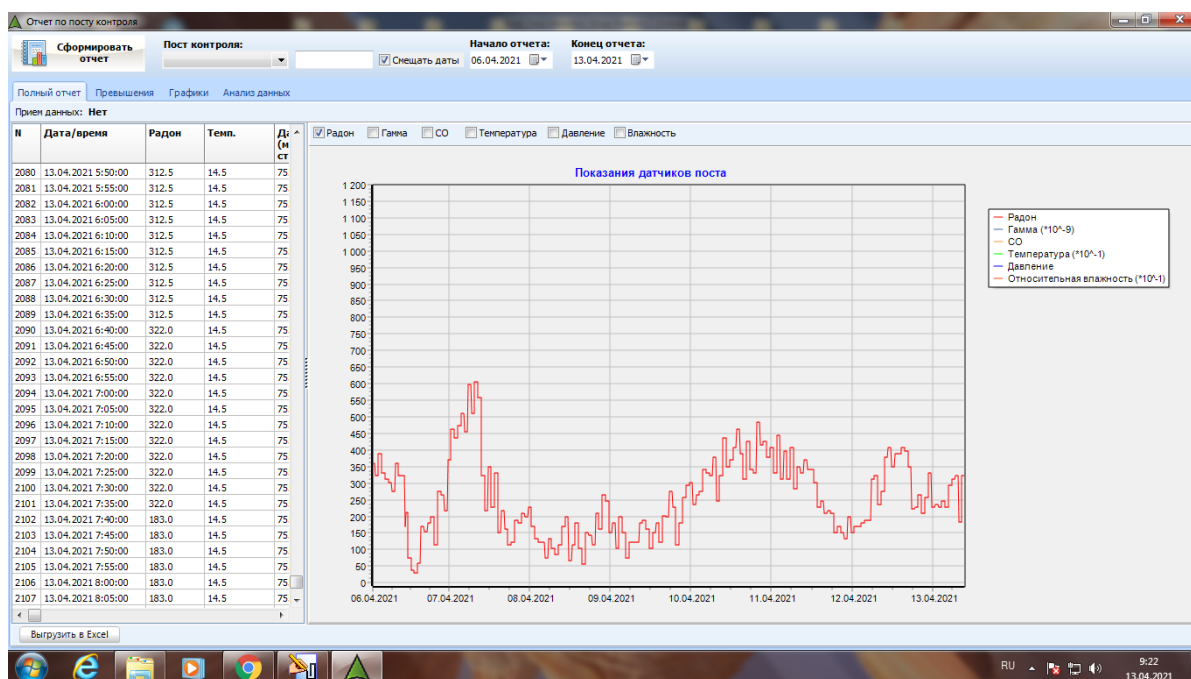


Рис. 4.5. Приклад вимірювання радону і зберігання даних на сервері з подальшим відображення на електронній мапі

В дослідженні [39] на території Запорізької області з метою визначення ЕРОА радону у повітрі житлових приміщень та будівель дошкільних навчальних закладів (ДНЗ) розраховано дози опромінення дітей за дії радону та оцінено відповідні радіаційні ризики виникнення негативних ефектів для дитячого населення. Вимірювання активності радону у повітрі будинків здійснювалось методом пасивної трекової радонометрії з використанням

приладу «Track2010Z». Всього обстежено майже 700 житлових будинків і 221 будівля ДНЗ, проведено 950 вимірювань.

Виміри показали, що середньгеометричне значення ЕРОА радону-222 у повітрі житлових приміщень становило 46 Бк/м³, а в ДНЗ – 185 Бк/м³, що більше ніж втричі перевищує діючий гігієнічний норматив. За результатами досліджень середньозважена річна доза опромінювання дітей в житлових приміщеннях була 2,8 мЗв/рік, в ДНЗ – 3,6 мЗв/рік, а середня сумарна річна доза – 6,4 мЗв/рік.

Виходячи з того, що в Запорізькій області проживає 66300 дітей віком від 3 до 6 років, автори дослідження зазначають, що колективна доза опромінення дітей в житлових приміщеннях і будівлях ДНЗ сумарно становила 426,0 люд-Зв, а розрахований радіаційний ризик – 43,7 випадка, тобто майже у 44 осіб за життя є ймовірність виникнення негативних стохастичних ефектів – раку та спадкових захворювань. При розрахунках використано коефіцієнт ризику $10,3 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$, запропонований Публікацією 115 МКРЗ.

Взагалі, питання впливу радону на здоров'я людини є дуже актуальним, і тому проводиться багато різноманітних досліджень.

За даними МОЗ України у 1980-х роках показник захворюваності населення на злоякісні утворення зріс у 3 рази порівняно з 1950-ми роками. У 2003 році смертність на 100 тис. населення від захворювань органів дихання становила – 63,3, а від новоутворень – 194,2 випадки. Це високі величини проти, наприклад, для Нідерландів 24,2 випадків на 100 тис. населення. У 1990–2006 роках у м. Києві, м. Севастополі та Дніпропетровській області високої поширеності набули всі види новоутворень; злоякісні новоутворення спостерігалися у м. Севастополі, Полтавській, Одеській та Кіровоградській областях [41]. Наприклад, у 2019 році в Кіровоградській області онкозахворюваність на 32% перевищувала середньоукраїнські показники та майже на 50% у м. Кропивницький. За статистикою, за 2019 рік захворіли 4461 пацієнтів та померли 1953 жителя Кіровоградщини [42].

Раніше в роботах [35-36] наголошувалось про підвищений рівень захворюваності в ряді областей України, де спостерігаються підвищені величини середньорічної ефективної дози опромінення населення Дніпропетровської, Кіровоградської, Житомирської, Черкаської, Запорізької, Херсонської, Тернопільської, Миколаївської, Луганської та Одеської областей. На Кіровоградщині є райони з високими концентраціями радону в приміщеннях будівель – 20000-50000 Бк/м³. У м. Жовті Води Дніпропетровської області об'ємна активність радону в атмосферному повітрі становить 217-364 Бк/м³ (середній рівень концентрації радону в атмосферному повітрі коливається в діапазоні 5-15 Бк/м³). У м. Жовті Води та м. Вільногірськ концентрація радону у приміщеннях будівель досягає 6000-10000 Бк/м³. Окремі райони м. Жовті Води, в яких розміщені в основному будинки приватного сектора, у східній, найбільш радононебезпечній частині міста, характеризуються підвищеним рівнем захворювання населення.

Там, де було виявлено перевищення нормативів щодо радону, підвищені і коефіцієнти дитячої смертності (КДС), які спостерігалися у 2003 році. Так, у Херсонській області КДС становить 10,7, у Кіровоградській – 10,7, Тернопільській – 9,1, Одеській – 10,6, Черкаській – 10,7, Київській – 7,8 [35].

Ці тренди зберігаються і сьогодні. Найвищі рівні захворюваності на злоякісні новоутворення (ЗН) в 2020 році за стандартизованим показником (світовий стандарт) на 100 тис. населення зареєстровані у Київській, Кіровоградській, Херсонській областях та м. Київ (205,6-222,9), найнижчі – у Закарпатській та Чернівецькій областях (142,1-148,3). Найвищі рівні смертності в 2020 році на 100 тис. населення за стандартизованим показником (світовий стандарт) зареєстровані у Кіровоградській, Харківській, Херсонській, Хмельницькій областях (166,2-171,8) і найнижчі, утричі менші, – в Одеській та Чернівецькій (53,8-54,7), які очевидно не відповідають реальності [43].

Величина ефективної дози внутрішнього опромінення населення, яке працює в умовах посиленого впливу природних джерел, – робітників уранодобувної та переробної промисловості – від радону при інгаляції його з повітрям житлових та виробничих приміщень та при попаданні з питною водою становить 5-40 мЗв/рік. Для цих фахівців основний внесок (до 70%) у дозу від радону у повітрі приміщень будівель, радіоактивності будівельних матеріалів та питної води здійснює радон. Робітники урановидобувної та переробної промисловості отримують подвійне радіаційне навантаження від радону (на робочих місцях та вдома) [36].

Вже після об'єднання Німеччини, коли було відкрито секретні архіви і люди змогли відкрито розповісти про підприємство «Вісмут», стали відомі справжні масштаби цих захворювань. Цей гігантський видобувний та гірничозбагачувальний комбінат був створений відразу після війни у Рудних горах Саксонії у східній частині Німеччини. З 1946 по 1990 роки в шахтах і на збагачувальних підприємствах комбінату працювало, загалом, близько півмільйона східних німців. З них понад 5 тис. «заробили» рак легенів, 15 тис. – силікоз, ще 10 тис. – інші тяжкі професійні захворювання. А скільки всього померло – встановити вже неможливо [43].

З 1991 року захворюваність на рак легенів на уранових шахтах зросла в середньому вдвічі, що свідчить про реальне погіршення радіаційної обстановки на робочих місцях в уранових шахтах, хоча в офіційних звітах по радіаційній безпеці доза персоналу не перевищує 20 мЗв/рік.

4.3. Національні мапи радонового забруднення і сервіси протирадонового забезпечення (зарубіжний досвід)

Поступ радону в приміщення обумовлено, в основному, різним вмістом урану в ґрунтах і породах, їх проникністю для радону, а також специфікою водного режиму ґрунту. При цьому точне визначення концентрації радону в приміщеннях зданий вимагає значних фінансових і тимчасових витрат.

В Публікації 65 МКРЗ один із основних принципів досліджень по радону полягає у встановленні критичних зон радонової безпеки, що дозволяє сконцентрувати зусилля при проведенні протирадонових заходів. До критичних зон, згідно Публікації 65 МКРЗ, відносяться території, на яких 1% приміщень має 10-кратне перевищення середньодержавного значення об'ємної активності радону. Для виявлення критичних зон застосовують картування радонового ризику при використанні в якості параметра об'ємної активності радону в приміщеннях зданих або радонового потенціалу при використанні радону в ґрунті [44].

Останні 20-25 років багато країн здійснювали постійні дослідження, які б фіксували рівень концентрації радону у приміщеннях та ґрунті. Це перший, але дуже важливий крок у боротьбі з радоновим забруднення, тому з'являється розуміння подальших дій і організації протирадонових заходів.

Наприклад, в Німеччині за час створено вже три типи карт радонового забруднення. Перші дві (національна радона мапа і мапа радонового потенціалу) знаходяться за адресою: <https://www.bfs.de/EN/topics/ion/environment/radon/maps/soil-air.html>

Третя мапа радонового потенціалу території Німеччини – це унікальний ресурс, де враховуються не лише результати 4448 польових замірів рівнів концентрації радону, але й деякі інші данні, зокрема, так звані фактори – провісники (predictors), рівень опадів та атмосферні температурні коливання узагальнені за період з 1981-2010 років. Взагалі було враховано 36 таких факторів, які в різній ступені впливають на концентрацію радону, яка потенційно потрапить з ґрунту до приміщень [45].

З метою створення точної карти геогенного радонового потенціалу із високим ступенем точності (у масштабі – 1км x 1км) для візуалізації отриманих даних, науковці застосували спеціальні алгоритми. Згадані алгоритми дозволили збудувати складні взаємозв'язки між факторами впливу, що дало можливість отримати максимально точні дані щодо прогнозованої концентрації радону у приміщенні, фактично у будь-якій точці Німеччини (рис. 4.6).

В США у відкритому доступі існує радона мапа США (рис. 4.7), де вся територія країни розділена на території по рівню наявності збільшеної концентрації радону. Загалом існує три такі зони. Кожен громадянин має можливість придбати спеціальне обладнання для здійснення замірів рівня радону у своєму помешканні. Існує два типи такого обладнання. Перше – для здійснення швидких замірів, яке коштує приблизно \$10-15, друге – для більш тривалого дослідження (radon test kits).

Таке обладнання громадянин отримує поштою. Після отримання результатів він може звернутись до консультантів, які нададуть роз'яснення та запропонують рекомендації. В разі необхідності здійснення заходів зі зменшення рівня радону у помешканні, в США існує спеціальний портал, де для кожної території наводиться перелік сертифікованих компаній, які можуть здійснювати такі заходи (radon mitigation contractor).

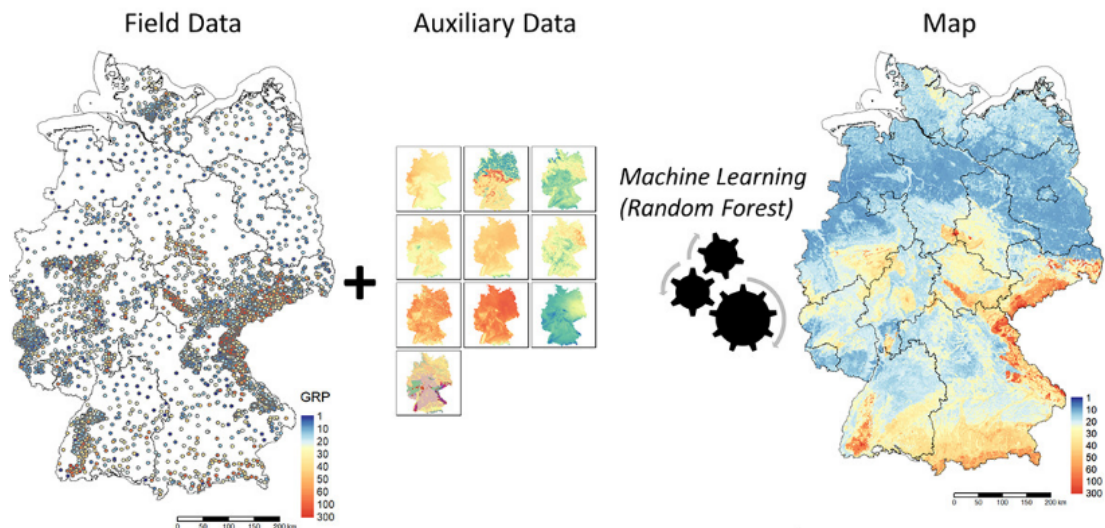


Рис. 4.6. Картування потенціалу геогенного радону для Німеччини за допомогою машинного навчання

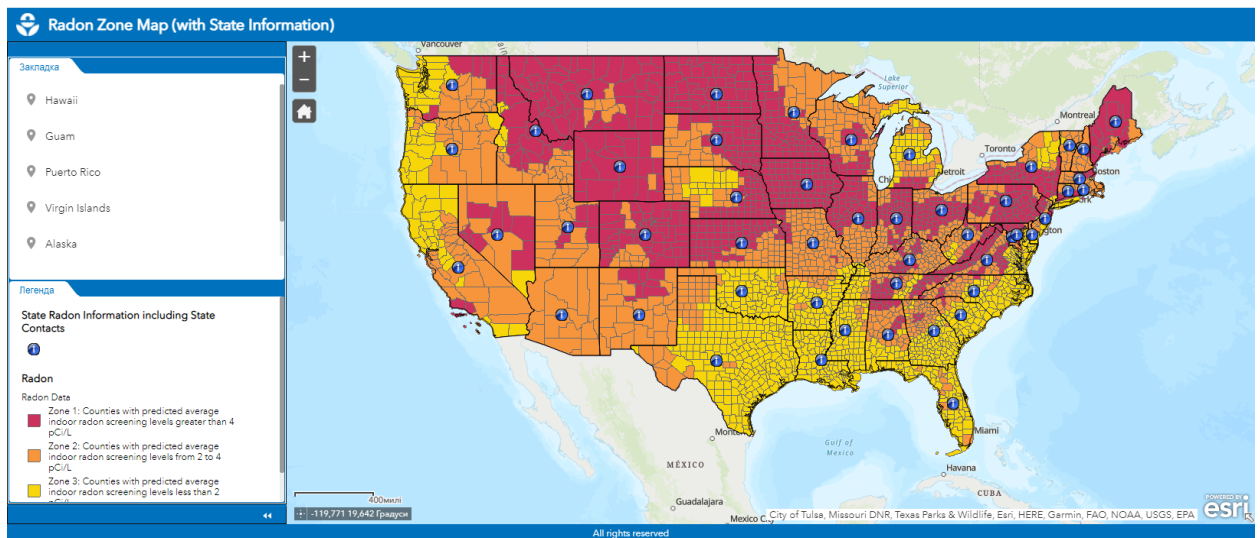


Рис. 4.7. Радонова мапа США

Карту радонових зон в США було розроблено в 1993 році для визначення територій США з найбільшим потенціалом підвищеного рівня радону в приміщеннях на основі даних вимірювань радону в приміщеннях, геології, радіоактивності повітря, параметрів ґрунту та типів фундаменту. Карта радонових зон ЕРА може бути доповнена доступними державними або іншими даними, щоб краще зрозуміти потенціал радону для конкретної території. Додаткові дані тестування на радон можна отримати через мережу відстеження здоров'я навколишнього середовища, онлайн-джерело місцевих своєчасних даних від штатів, що фінансуються Програмою відстеження, і шести національних лабораторій з тестування радону [46]. При цьому є можливість отримати детальну інформацію щодо радонового забруднення територій будь-якого штату (рис. 4.8).

CALIFORNIA - EPA Map of Radon Zones

The purpose of this map is to assist National, State and local organizations to target their resources and to implement radon-resistant building codes.

This map is not intended to determine if a home in a given zone should be tested for radon. Homes with elevated levels of radon have been found in all three zones.

All homes should be tested, regardless of zone designation.

IMPORTANT: Consult the publication entitled "Preliminary Geologic Radon Potential Assessment of California" (USGS Open-file Report 93-292-I) before using this map. See <http://energy.cr.usgs.gov/radon/igrpinfo.html>. This document contains information on radon potential variations within counties. EPA also recommends that this map be supplemented with any available local data in order to further understand and predict the radon potential of a specific area.

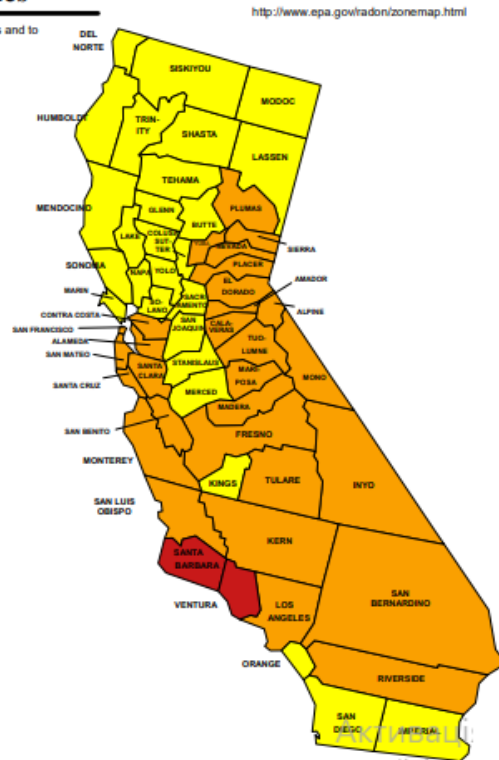


Рис. 4.8. Мапа радонових зон штату Каліфорнії

Аналогічний підхід реалізовано і у Великобританії [47]. На радоновій мапі (рис. 4.9) можна ознайомитись з рівнем радонового забруднення території мешкання. За більш детальної інформацією мешканці можуть звернутися у відповідну службу. Звіт про ризик радону вкаже приблизну ймовірність того що перевищує рівень дії для радону (його вартість £3.90). Звіт про ризик радону покаже вам, чи знаходиться ваш будинок у зоні впливу радону. Якщо це так, то буде рекомендовано виміряти концентрацію радону.

Для вимірювання рівню радону в будівлі (послуга коштує £52,80) мешканець отримає 2 детектора радону: один для вітальні, а інший для спальні, а також інструкції з їх розміщення.

Через 3 місяці детектори повертаються поштою у відповідну службу [47], де їх дані аналізуються, і приблизно через 4 тижні після повернення детекторів мешканцю надаються повні результати. За результатами вимірювання надається консультація щодо протирадонових заходів, а також можливого методу лікування (у разі великих рівнів радону в приміщенні).

У 2015 році завершено дослідження 6 областей Республіки Білорусь і м.Мінськ. Щільність розміщення дозиметрів була обумовлена розподілом населених пунктів на цій території. У середньому рівномірність розміщення дозиметрів відповідає початковим європейським вимогам: клітина 10x10 км [48]. Виміри по областях становили: Брестська – 178 вимірів в 71 населеному пункті), Вітебська – 372 (90), Гомельська – 960 (48) Гродненська – 900 (101), Мінська – 201 (54), Могильовська – 585 (89), м.Мінськ – 398 вимірювань. Всього для складання карти було використано 3594 виміру в 454 населених пунктах [44].



Рис. 4.9. Радонова мапа Великобританії. Джерело: <https://www.ukradon.org/information/ukmaps>

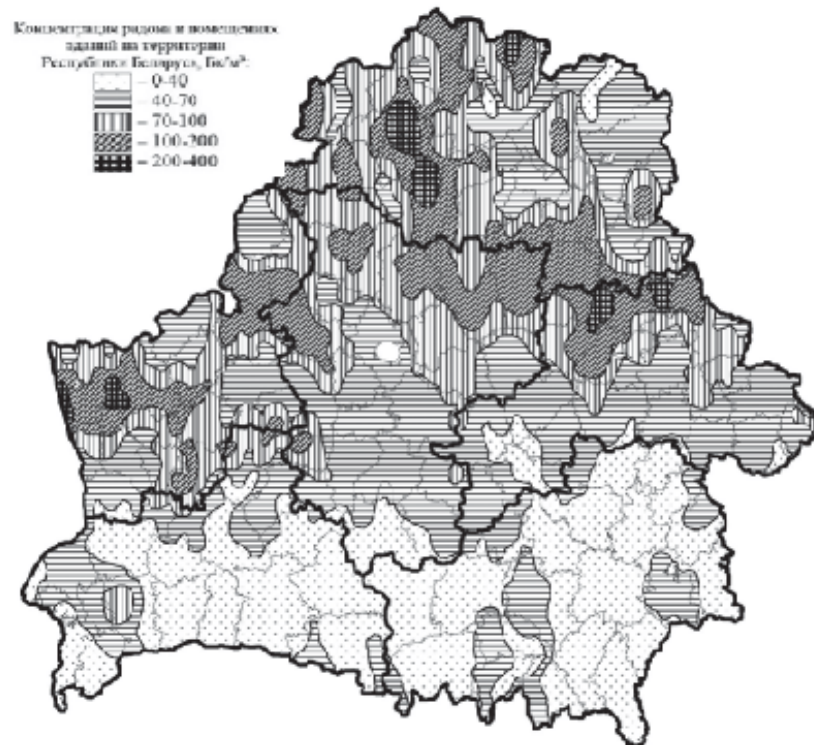


Рис. 4.10. Радонова мапа Республіки Білорусь. Джерело: [44]

У розподілі концентрації радону по території Республіки Білорусь спостерігається істотна неоднорідність (рис. 4.10). В населених пунктах південних і центральних районів (Брестська, Гомельська, південні райони Мінської та південно-західні райони Могильовської області) спостерігаються відносно низькі рівні концентрації радона в приміщеннях, а на території Вітебської, північної Могильовської та західної Гродненської областей середні значення об'ємної активності радона вище в 2-5 раз. На мапі

визначені «радонові плями» з потенційним критичним рівнем радонобезпеки – концентрацією радону в діапазоні 200-400 Бк/м³.

Складання радіоекологічного атласу може сприяти виявленню всіх радіаційних факторів на території області, а сам атлас є оперативним ефективним документом для розробки заходів щодо зниження доз опромінення та радіаційного впливу на населення. Наприклад, на території Жамбильської області у Казахстані виявлено десятки ділянок радіоактивного забруднення, які сприяють формуванню високого рівня радіаційного ризику для населення [49].

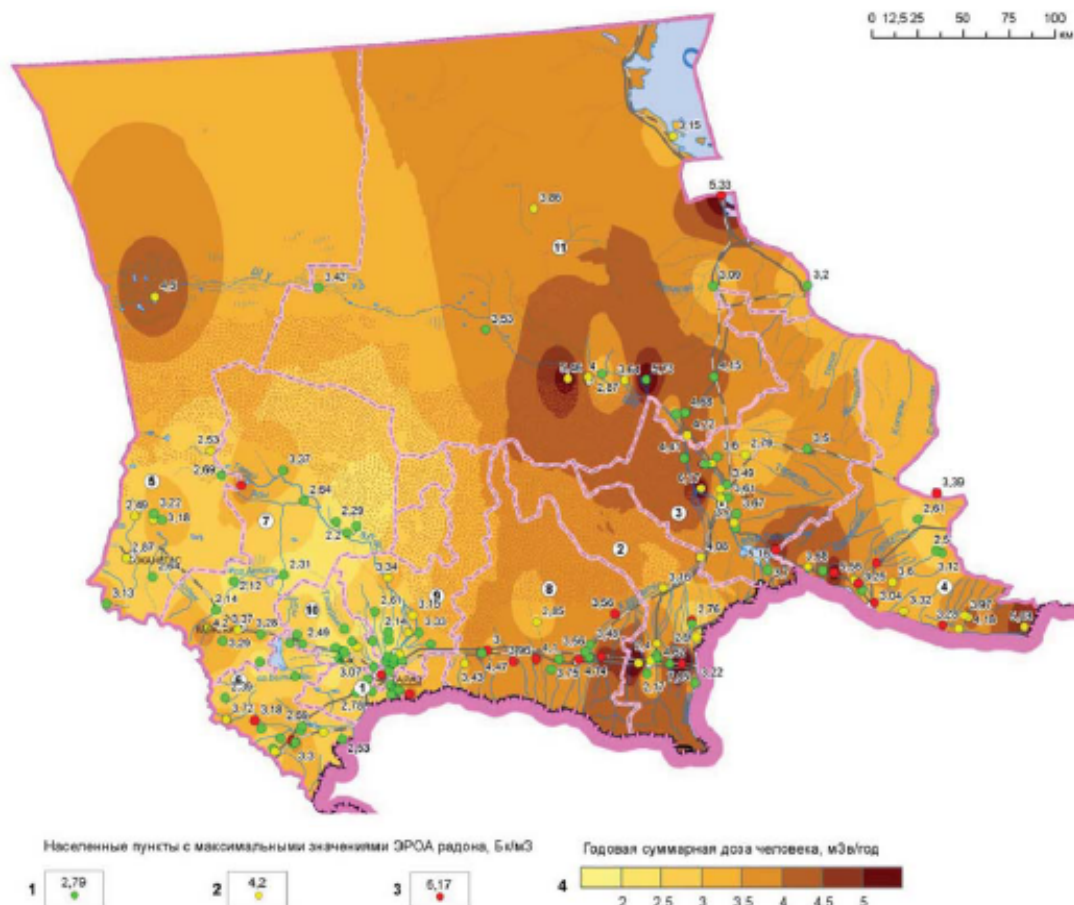


Рис. 4.11. Радоновая карта Жамбильской области Казахстана. Джерело: [49]

Багаторічний матеріал, що накопичувався, за радіаційним станом Жамбильської області, дозволив у період 2011-2013 років провести комплекс узагальнюючих та детальних робіт, метою яких було складання радіоекологічного атласу області з відображенням сучасного радіаційного стану, виявленням основних радіоекологічних проблем та розробкою заходів для їх вирішення на досліджуваній території.

З урахуванням досліджень минулих років у Жамбильській області було проведено радіаційне обстеження 316 селищ та 4 міст. На підставі аналізу побудованих карт та аналітичного матеріалу з урахуванням результатів досліджень минулих років проведено зонування території Жамбильської області за радіаційною напруженістю, відображене в карті сумарних дозових

навантажень (рис. 4.11), що свідчить про те, що в області необхідно проведення детальних досліджень локальних радіаційно небезпечних зон та вжиття заходів щодо зниження ризиків здоров'ю населення від впливу іонізуючого випромінювання від природних та техногенних джерел.

Досвід проведення детальних досліджень радонового забруднення в межах конкретного міста (м.Рівне) і області є і в Україні [50].

Висновки

1. Україна входить в перші «десятки» світу за запасами покладів урану і його за виробництвом та має розвинену атомну енергетичну галузь з 15 ядерними реакторами на 4 АЕС, для яких уран є основним ядерним паливом. Останні декілька років в Україні частка електроенергії, виробленої українськими АЕС, становить 51-58%, що актуалізує питання ядерної і радіаційної безпеки.

2. Сьогодні в Україні державним підприємством «СхідГЗК» розробляються чотири уранових родовища (Мічурінське, Центральне, Ватутінське і Новокостянтинівське), які знадяться в Кіровоградській області, а також є перспектива розробки приватною компанією ще чотирьох в Миколаївській Дніпропетровській областях.

3. Україна як член МАГАТЕ прийняла відповідне національне законодавство у сфері видобування урану, його переробки, ядерної і радіаційної безпеки. Також підтримуються міжнародні конвенції та проводиться гармонізація положень директив ЄС у цій сфері.

4. Норми радіаційної безпеки в Україні (НРБУ-97), які було прийнято ще у 1997 році, вже не відповідають сучасним вимогам, що визначаються в Публікаціях МКРЗ. Відсутність реєстрів індивідуального опромінення як працівників уранової галузі та медичних закладів, так і населення не дозволяє мати реальну картину радіаційної безпеки та застосовувати норми законодавства щодо компенсації надлишкових доз опромінення.

5. В Україні створена державна система обліку та контролю за переміщенням та накопиченням радіоактивних відходів (РАВ) на основі: Державного реєстру РАВ та Державного кадастру сховищ РАВ та переліку місць їх тимчасового зберігання. Також створена система управління відходами ядерного палива, що забезпечує відповідний рівень ядерної безпеки на АЕС.

6. Серед питань радіаційної безпеки і екологічного впливу на довкілля для України найбільш критичними є питання рекультивації уранових відвалів шахт та хвостосховищ гідрометалургійних заводів і радонової безпеки населення, зокрема в Дніпропетровській і Кіровоградській областях.

7. Світовий досвід застосування відходів урановидобутку і вуглевидобутку, показує, що в Україні розробки з утилізації породних відвалів знаходяться на початковому етапі впровадження. Ситуація, що склалася, визначає актуальність пошуку екологічно доцільних технологічних рішень, залучення відходів у виробництво та вилучення корисних компонентів із відвалів гірських порід.

8. Відвали урановидобування слугують джерелом радіоактивного запилення довкілля, коли уран накопичується у пиловатій фракції, де його вміст незначний. Сам факт пилового забруднення в степових районах видобування урану не може не розглядатися з точки зору екологічної небезпеки для здоров'я людини та довкілля. Через руйнування чи відсутність бар'єрів, що перешкоджають поширенню радіонуклідів,

відбувається забруднення природними радіонуклідами об'єктів навколишнього середовища та опромінення населення близько розташованих населених пунктів.

9. Дослідження радонової обстановки та її вплив на населення України є надзвичайною важливістю, що обумовлено додатковим впливом радіаційно-небезпечних чинників на організм людини. Радон та його ДПР роблять основний внесок у формування дози опромінення і, відповідно, радіаційних ризиків для населення, що проживає поблизу об'єктів «уранової спадщини» та інших видів діяльності, внаслідок яких утворилися відходи з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

10. Для обмеження опромінення населення України необхідно організувати обов'язкове радіаційно-гігієнічне обстеження земельних ділянок під різноманітні види діяльності, провести детальне обстеження дитячих установ, житлових та громадських будівель у населених пунктах та, насамперед, розташованих у межах виділених зон радононебезпеки; дослідити радіаційні показники основних джерел питного водопостачання; розробити та провести радонозахисні заходи.

11.3 метою встановлення пріоритетів реабілітаційних заходів в Україні необхідно запровадити радіаційно-гігієнічний паспорт регіону як показник радіаційного благополуччя. Першим кроком на шляху вирішення цієї проблеми є створення системи оперативного контролю, аналізу, оцінки та прогнозування радіаційної обстановки у регіонах України.

12. Окремим напрямом є науково обґрунтовані рішення при розробці сучасної методології радонової безпеки дітей, яка базується на визначенні основних показників впливу факторів довкілля на організм дитини; обґрунтуванні критеріїв стану здоров'я дитячого населення, що залежить від факторів впливу середовища життєдіяльності дітей; вивченні закономірностей і особливостей формування здоров'я дітей як на індивідуальному рівні, так і на рівні громадського здоров'я.

13. В 2019 році Кабінет Міністрів України затвердив національний План заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону у житлових та нежитлових будинках, на робочих місцях на 2020-2024 роки. Також передбачено створення системи контролю за якістю та ефективністю проведення протирадонових заходів на рівні держави, формування бази даних щодо рівнів радону в повітрі будинків та реєстру сертифікованих експертів з протирадонових заходів, розроблення санітарного регламенту щодо визначення рівнів дій активності радону на робочих місцях. Але крім плану, інших заходів поки не проведено.

Список використаних джерел

1. World Nuclear Industry Status Report 2021. (2021). URL: <https://www.worldnuclearreport.org/World-Nuclear-Industry-Status-Report-2021-773.html>
2. Атомная энергетика в Казахстане и мире. (2021). URL: <http://ranking.kz/ru/a/reviews/atomnaya-energetika-v-kazahstane-i-mire-2021>
3. Частка теплової генерації в загальному виробництві електроенергії з 2016 року зменшилась на 5%. (2021). URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=24553872
4. Геннадий Буткевич: «Хочу завести в Україну 1 мільярд долларов». (2019). URL: <https://sensor.net/ru/r3139752>
5. Шаталов М. М. (2015). Уран надр України: геохімія урану та історія створення мінерально-сировинної бази. Вісник НАН України, 10, 50-59.
6. Романович И. К., Кормановская Т. А., Королева Н. А., Лисаченко Э. П., Сапрыкин К. А. (2018). Научное обоснование методических подходов к организации и проведению заключительного радиационного обследования участков территории, реабилитированных после загрязнения природными радионуклидами. Радиационная гигиена, Т.11, № 3, 7-21. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-7-21
7. Лисиченко, Г.В. Ковач В.Е. (2013). Мировой опыт реабилитации бывших урановых производств. Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. 6, 4-12.
8. Махмадалиев Б.Н. (2017). Проблема рекультивации отвалов и радиоактивных отходов хвостохранилищ в Таджикистане. Вестник Таджикского национального университета. Серия социально-экономических и общественных наук. 2-2, 174-177.
9. Крупская Л. Т. Мелконян Р. Г., Майорова Л. П., Голубев Д. А. (2017). Обоснование экологической реабилитации территорий, подвергшихся воздействию объектов накопленного экологического ущерба (хвостохранилищ) в результате прошлой хозяйственной деятельности бывших горных предприятий в Дальневосточном федеральном округе (ДФО). Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 4, 5-15.
10. Тен О. Л. (2015). Радиоэкологическая характеристика объектов размещения радиоактивных отходов уранового производства и рекомендации по ее улучшению. Радиационная гигиена. Т.8, 2, 132-134.
11. Волков В. Г., Павленко В. И., Чесноков А. В., Арустамов А. Э., Козырев Д. В., Пикулина И. В. (2008). Реабилитация объектов переработки уранового сырья. Безопасность окружающей среды. 1, 60-62.
12. Назаров Х. М., Саломов Д. А., Хакимов Н., Рахматов Н. Н., Эрматов Э. А. (2015). Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г. Истиклола Республики Таджикистан. Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-

- математических, химических, геологических и технических наук. 2(159), 87-92.
13. Ключкова Н. В., Салтыков А. С., Авдонин Г. И. (2014). Комплексная радиационно-гигиеническая оценка окружающей среды отработанного уранового месторождения Табошар (Таджикистан). Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сб. науч. трудов. 136-139.
 14. Амосов П. В., Бакланов А. А. (2015). К вопросу оценки интенсивности пыления хвостохранилищ. Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-28): Сборник трудов 28 Международной научной конференции, Саратов, 22-24 апр., 2015, Ярославль, 2-4 июня, 2015, Рязань, 24-26 нояб., Т.1, 3-5.
 15. Дурасова Н. С. Коваленко Г. Д. (2015). Оценка радоноопасности объектов ядерно-топливного цикла на примере хвостохранилищ Приднепровского химического завода. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. Т.30, 3(200), 176-181.
 16. Лисиченко Г. В., Ковач В. Е. Мировой опыт реабилитации бывших урановых производств. (2014). Збірник наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». 6, 4-12.
 17. Сорока Ю. Н. Стратегия реабилитации территории бывшего уранового производства ПО «Приднепровский химический завод». (2017). Геотехнічна механіка. 132, 229-237.
 18. Бочаров-Туз В. В. (2022). Проблеми поводження з промисловими відходами урановидобувних об'єктів у Кіровоградській області. URL: https://rus.lb.ua/blog/volodymyr_bocharov_tuz/502526_problemi_povodzhennya_z_promislovimi.html
 19. Мусич Е. Г., Демихов Ю. Н. (2014). Утилизация отходов урано- и горнодобывающей промышленности методами биогеометаллургии. Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. Випуск 23, 168-178.
 20. Чайников Б. В., Крючкова Л. А. (2004). Практика использования техногенных ресурсов черной и цветной металлургии в России и за рубежом. Москва. 30.
 21. Коваленко Г. Д. (2013). Радиоэкология Украины: Монография. 3-е изд., перераб. и доп. Х.: ИД «Инжек». 344.
 22. Dudar T. V. (2019). Uranium mining and milling facilities legacy sites: Ukraine case study. Environmental Problems/ Екологічні проблеми. Volume 4, Number 4, P.212-218 DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2019.04.212>
 23. Дурасова Н. С., Коваленко Г. Д. (2015). Об'єкти ядерно-паливного циклу як джерела радіаційного впливу на умови життя населення та навколишнє природне середовище // Экология и промышленность. 4, 17-20.
 24. Дудар Т. В., Вітько В. І., Коваленко Г. Д. (2022). Пилове забруднення та оцінка дозових навантажень від відвалів урановидобування. Науково-технічний журнал. №1(21), 49-56.

25. Шумлянський О. В., Субботін А. Г., Бакаржієв А. Х. та ін. (2003). Техногенне забруднення радіоактивними елементами на родовищах корисних копалин. К.: Знання України. 133.
26. Radiation Protection. ICRP Publication 60. (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). N.Y.: Pergamon Press. 197.
27. Сорока Ю. Н. (2012). Основные принципы радиационного мониторинга в районах размещения объектов добычи и переработки урановых руд. Збірник наукових праць НГУ. 39, 195-206.
28. Ляшенко В. И., Чекушина Т. В., Лисовой И. А., Лисовая Т. С. (2019). Экология и промышленность России. Т.23, 3, 60-65.
29. Чевычелов А. П., Собакин П. И., Горохов А. Н. (2019). Радиационно-экологическая оценка отвалов горных пород зоны южная в эльконском ураново-рудном районе (Южная Якутия). Геоэкология. инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 6, 65-78. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019665-78>
30. Стратегический мастер-план. Восстановление окружающей среды на площадках уранового наследия в Центральной Азии. (2017). URL: https://nucleus.iaea.org/sites/connect/CGULSpublic/Strategic%20Master%20Plan/SMP_Russian%20V2021.pdf
31. Веклов В. А., Митраков О. Е., Зайнитдинова Л. И. и др. (2006). Лабораторные исследования по биоокислению сульфидной руды перколяционным способом в шихте с флотоконцентратом. Геотехнология. 3, 50-52.
32. Тимошенко Е. А. (2015). Проблема поступления радона в жилые помещения и пути подавления радонового риска в экологически безопасном доме. Сборник научных трудов: строительство, материаловедение, машиностроение. Вып. 81, 249-255.
33. Комов И. Л., Фролов О. С., Диденко П. И. и др. (2005). Основные проблемы радоновой безопасности. Киев: Логос. 351.
34. Pavlenko T., Los I. (1997). Exposure doses due to indoor radon-222 in Ukraine and basic directions for the desize. Radiation measurement. V.28, 1-6, 733-738.
35. Диденко П. И. Влияние радона на население Украины. (2013). Збірник наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». 5, 60-67.
36. Диденко П. И. (2014). Экологические аспекты воздействия радона на население. Збірник наукових праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист». 6, 72-81.
37. НРБУ-97. (1997). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0208282-97#Text>
38. Про затвердження плану заходів щодо зниження рівня опромінення населення радоном та продуктами його розпаду, мінімізації довгострокових ризиків від поширення радону в житлових та нежитлових будівлях, на робочих місцях на 2020-2024 роки. Розпорядження КМУ від

- 27.11.2019 №1417-p. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1417-2019-%D1%80#Text>
39. Куцак А. В., Севальнев А. І., Костенецький М. І. (2018). Соціально-гігієнічний моніторинг здоров'я дітей в аспекті оцінки радіаційного ризику через радон-222. Громадське здоров'я та проблеми харчування. 1, 32-35.
40. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2012 році (2012). URL: https://snriu.gov.ua/storage/app/sites/1/docs/shorichna_dopovid_pro_stan_yadernou_ta_radiacijnoi_bezpeky/Annual%20Report%202012%20UKR.pdf
41. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2006 році. (2006). Київ. 549.
42. Рак в Україні, 2018-2019. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби. (2020). Бюлетень національного канцерреєстру України №21. URL: ncru.inf.ua/publications/BULL_21/index.htm
43. Рак в Україні, 2020-2021. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби. (2022). Бюлетень національного канцерреєстру України №23. URL: http://www.ncru.inf.ua/publications/BULL_23/PDF/BULL_23.pdf
43. Rainer Karlsch, Zbynek Zeman. Uranium secrets, 2003.
44. Чунихин Л. А., Чеховский А. Л., Дроздов Д. Н. (2016). Карта радоновой опасности территории Республики Беларусь. Радиационная гигиена. 9(4), 43-46. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2016-9-4-43-46>
45. Meyer H., Nussbaum M., Bossew P. (2021). Mapping the geogenic radon potential for Germany by machine learning. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720358204>
46. EPA Maps of Radon Zones and Supporting Documents by State. (2022). URL: <https://www.epa.gov/radon/epa-maps-radon-zones-and-supporting-documents-state>
47. Three steps to manage radon in buildings - check, measure, act. (2022). URL: <https://www.ukradon.org>
48. Friedmann H. (2005). Final results of the Austrian radon project. Health Physics. Vol.89, 4, 339-348.
49. Федоров Г. В., Беркинбаев Г. Д., Каюков П. Г. (2014). Радиозэкологический атлас Жамбылской области Казахстана. Радиационная медицина. Том 7, 4. 56-61.
50. Лебедь О. О., Мислінчук В. О., Андреев О. А. (2017). Радон: моніторинг та геоecологічний аналіз його впливу на екосистему міста Рівного. Монографія. Рівне. РМАНУМ. 208.