

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ ТА ГЕОЕКОЛОГІЇ**

На правах рукопису
УДК: 911.9:502

**ДОСВІД УКРАЇНИ ТА ЯПОНІЇ У ВІДНОВЛЕННІ
РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ, НА ПРИКЛАДІ
ЗОН ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ТА ФУКУСІМСЬКОЇ
АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

Галузь знань **10** – Природничі науки
Спеціальність **106** – Географія
Освітня програма **Транскордонне екологічне співробітництво**

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки 4 курсу
освітнього рівня бакалавр
Колеснік Ольги Владиславівни

Науковий керівник:
Корогода Наталія Петрівна
кандидат географічних наук, доцент

КИЇВ - 2024

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ПРИРОДНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1. Геологічний фундамент та рельєф територій дослідження	6
1.2. Кліматичні особливості об'єктів дослідження	9
1.3. Поверхневі та підземні води територій дослідження	10
1.4. Ґрунтовий покрив об'єктів дослідження	12
1.5. Рослинний та тваринний світ територій дослідження	13
РОЗДІЛ 2. НАСЛІДКИ ВІД АВАРІЙ НА ЧАЕС ТА ФУКУСІМА-ДАЇЧІ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ	16
2.1. Наслідки для довкілля від аварії на Чорнобильській АЕС	16
2.2. Наслідки для довкілля від аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі	22
РОЗДІЛ 3. ДОСВІД УКРАЇНИ ТА ЯПОНІЇ ЩОДО ДІЯЛЬНОСТІ В ЗОНАХ ВІДЧУЖЕННЯ ПІСЛЯ АВАРІЙ	29
3.1. Діяльність України в зоні відчуження ЧАЕС в поставарійний період	29
3.2. Діяльність Японії в зоні відчуження Фукусімської АЕС в поставарійний період	33
ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43

ВСТУП

Актуальність теми. Після початку створення атомних електростанцій та виробництва ядерної енергетики, людина з одного боку отримала багато переваг, а з іншого наразила себе на постійну небезпеку. Так у 1986 році відбулася перша і наймасштабніша техногенна катастрофа на Чорнобильській атомній електростанції, а через 25 років в 2011 році відбулася друга за величиною аварія в історії людства на атомній електростанції Фукусіма-Даїчі.

Обидві катастрофи призвели до масштабних радіоактивних викидів, які вплинули на здоров'я сотні тисяч людей та спричинили радіоактивне забруднення навколишнього середовища, а саме: атмосферне, водне, ґрунтове, флори та фауни. Незважаючи на катастрофічні наслідки аварій, людство продовжує активно використовувати “мирний атом”.

Проблеми, що виникають внаслідок радіоактивних катастроф не обмежуються кордонами лише двох країн. Радіоактивне забруднення має глобальні наслідки, і для їх подолання важлива міжнародна співпраця. Дослідження природних умов територій ураження, наслідків, яких вони зазнали та підходів України та Японії до ліквідації та діяльності у зонах відчуження сприяє обміну знаннями та технологіями між країнами, що дозволить удосконалити методи ліквідації наслідків і покращить розуміння ядерної безпеки на глобальному рівні.

Отриманий досвід України та Японії у питання ядерної безпеки може бути корисним для інших країн, які експлуатують або планують будівництво атомних електростанцій. Крім того, наразі світ знаходиться у одному кроці від використання ядерного озброєння, а тенденція до подальшого розвитку та використання ядерної енергетики тільки продовжує свій розвиток.

Досвід з поводження з радіоактивно забрудненими територіями обох країн є унікальним та дуже важливим, не тільки для нашого покоління, а й для наступних. Він містить корисні дані, уроки та висновки, які можуть бути використаними для запобігання або ліквідації аварій, які можуть трапитися у майбутньому. Вивчення та порівняння особливостей радіоактивних катастроф в Україні та Японії дозволить

виявити найефективніші підходи до ліквідації та екологічної реабілітації територій, мінімізувати негативні наслідки для довкілля та забезпечити безпеку населенню.

Таким чином, дослідження даної теми сприятиме поглибленню розуміння тих чи інших наслідків спричинених аваріями на Чорнобильській та Фукусімській атомних електростанціях, діяльності та методів поводження у зонах відчуження.

Об'єкт дослідження зони відчуження Чорнобильської та Фукусімської атомних електростанцій.

Предмет дослідження – геоекологічні аспекти функціонування територій зон відчуження після катастрофи на Чорнобильській та Фукусімській атомних електростанціях.

Мета роботи – дослідити процеси перерозподілу забруднюючих речовин у довкіллі після аварій на атомних електростанціях, а також досвід України та Японії у відновленні територій, що зазнали найбільшого впливу від катастроф у зонах відчуження Чорнобильської та Фукусімської АЕС.

Зважаючи на об'єкт та предмет дослідження для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- дослідити природні умови територій зон відчуження для обґрунтованих висновків про шляхи розповсюдження радіоактивних речовин;
- дослідити наслідки аварій на прикладі двох територій: Чорнобильської та Фукусімської зон відчуження;
- порівняти досвід України та Японії щодо діяльності в зонах відчуження після аварій.

Методи дослідження. При дослідженні процесів перерозподілу забруднюючих речовин у довкіллі після аварій на атомних електростанціях та досвіду України та Японії у відновленні територій, що зазнали найбільшого впливу від катастроф у зонах відчуження Чорнобильської та Фукусімської АЕС будуть використані загальнонаукові методи (аналіз, дедукція, порівняння, узагальнення, моделювання) та загальногеографічний метод (картографічний).

Структура роботи. Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, що налічує 36

найменувань, містить 9 ілюстрацій. Основний зміст бакалаврської роботи викладено на 47 сторінках.

РОЗДІЛ 1. ПРИРОДНІ УМОВИ ТЕРИТОРІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Геологічний фундамент та рельєф територій дослідження

Чорнобильська зона відчуження

Територія дослідження розташована в межах Київської області (Іванківський та Поліський райони) в зоні відчуження Чорнобильської АЕС та зони безумовного відселення. Так, на *рис. 1.1* подано схему створену в програму забезпеченні QGIS меж даної зони відчуження. Заповідник є найбільшим об'єктом природно-заповідного фонду (ПЗФ) України, його площа складає 226 964,7 га.

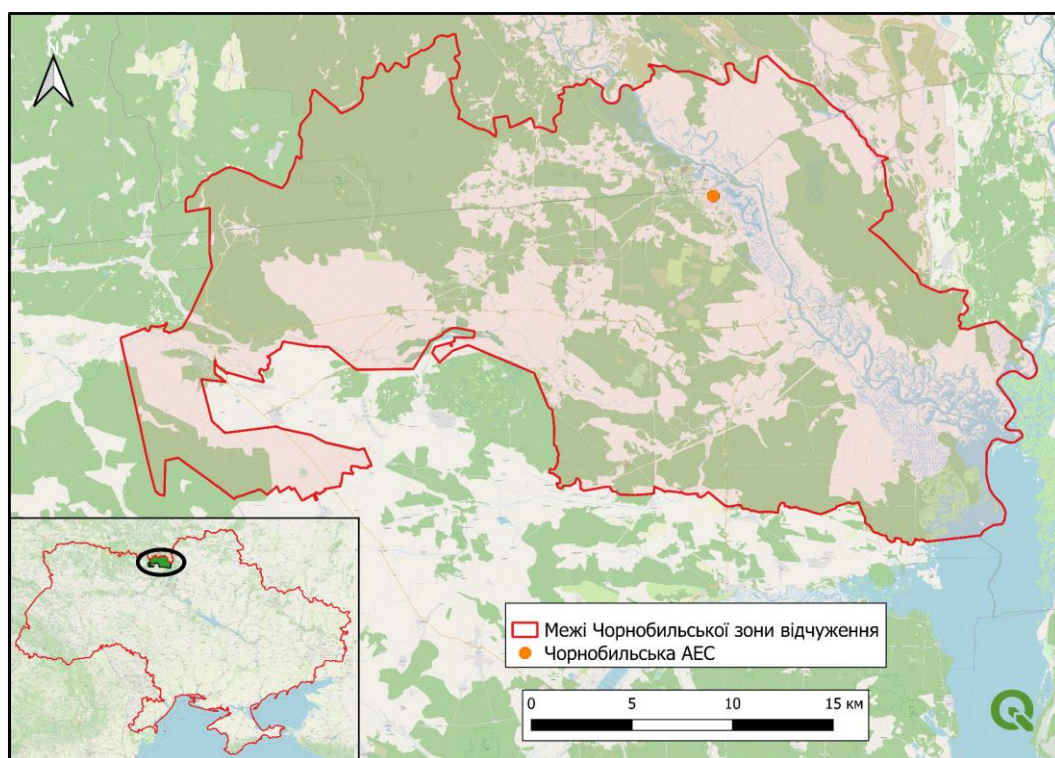


Рис. 1.1 Зона відчуження Чорнобильської АЕС

Зона відчуження розташована у межах Східноєвропейської рівнини і належить до великого Прип'ятського розлому і є прикордонною зоною Українсько та Дніпровсько-Донецького щитів [15].

Ландшафтні комплекси зони ЧАЕС відносяться до класу рівнинних, підкласу низовинних, типу хвойно-широколистянолісових, роду поліських ландшафтних

комплексів пластово-акумулятивних рівнин, родини ландшафтних комплексів низовинно неоген-палеогенових відкладів з потужним антропогенним покривом [13 с. 233].

Північно-західна частина території зони відчуження знаходиться в південно-східних межах Прип'ятського прогину, а на південній частині Брагінсько-Чернігівського виступу кристалічного фундаменту розташовані північні та північно-східні райони. Ця територія є тектонічно активною протягом всієї геологічної історії.

Значну диференціацію природних комплексів зумовлює геоморфологічна будова, а саме антропогенні відкладення із потужністю 20-30 метрів в середньому та 50-60 метрів максимально. За походженням вони відносяться до льодовикових, алювіальних, флювіогляціальних, еолових, делювієвих, озерних та органічних типів. Літологічно це в основному піщані та глинисто-піщані відклади, переважно кристалічних порід з валунами та галькою.

На території зони відчуження присутні також плавно-моренні пасма. У річкових долинах є заплави та акумулятивні тераси з заболоченими угіддями та еоловими формами рельєфу [15].

Фукусімська зона відчуження

Зона відчуження територіально знаходиться у префектурі – Фукусіма. Префектура складається з регіонів Хамадорі, Накадорі та Айдзу. АЕС Фукусіма-Даїчі знаходиться за 220 км північніше від Токіо, на кордоні селищ Футаба та Окума [21 с. 14].

Зона відчуження розташовується в двох регіонах Накадорі та Хамадорі. На *рис. 1.2* подано картосхему створену в програмному забезпеченні QGIS меж префектури та меж безпосередньо зони відчуження. Територія знаходиться на узбережжі Тихого океану – це довга тонка смуга низинної землі з передгір'ями та плато [36].

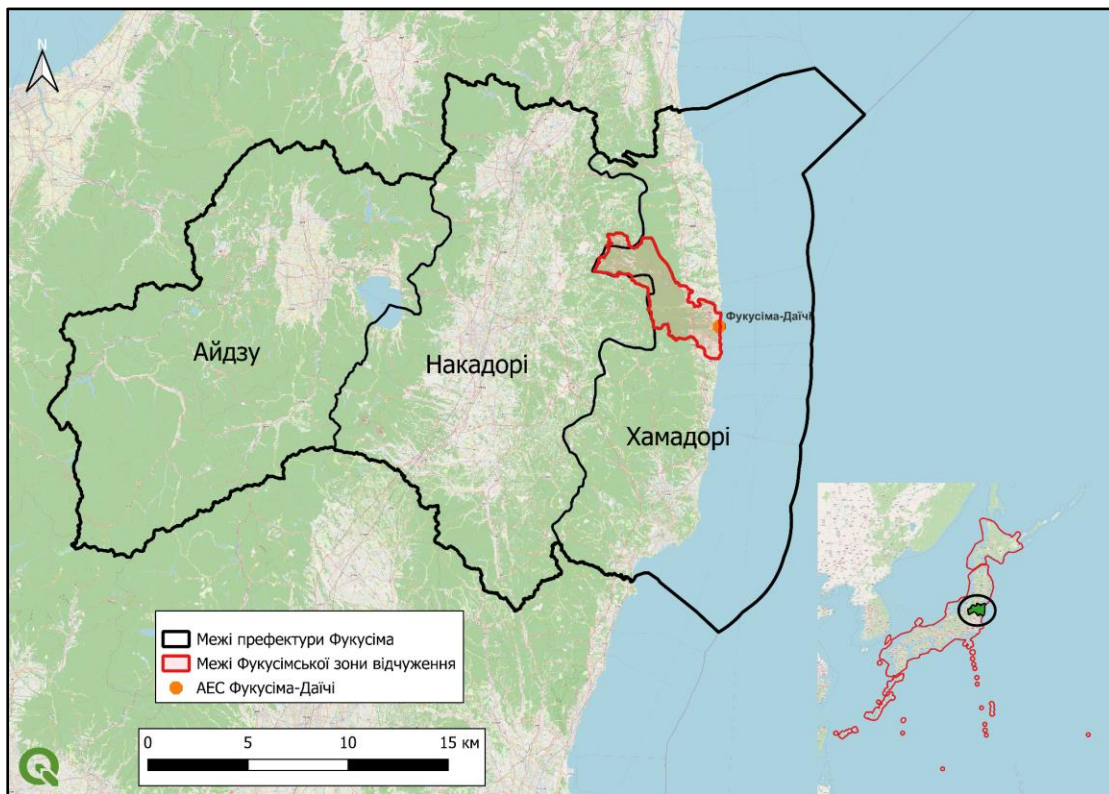


Рис. 1.2 Поділ префектури Фукусіма на регіони та зона відчуження АЕС Фукусіма-Даїчі

Близько 80% префектури Фукусіма є гористою та горбистою місцевістю. Тут простягається нагір'я Абукума з півночі на південний схід, а великий гірський масив утворює гори Оу та Етіго розташовані на заході [21 с. 14].

Зона припадає на низовину шириною приблизно від 10 до 30 км, яка простягається до нагір'я Абукума, на *рис. 1.3* подано картосхему за використанням програмного забезпечення QGIS з рельєфом префектури Фукусіма. Ця місцевість є легко хвилястою, вона простягається біля гірського підніжжя і поширюється вздовж узбережжя регіону Хамадорі та низовини Накадорі. Основа складається з каменів і гравію, а верхня частина вкрита глинистим ґрунтом і лахаровими відкладеннями (включаючи вулканічні), а вздовж річок і навколо країв басейну розвиваються тераси, створюючи вигляд гравійного плато.

Різноманітні типи корінних порід і шарів гравію утворюють основу, верхній шар вкритий вулканічним ґрунтом (гумусним органічним ґрунтом), а у вулканічних районах поширені вулканічні відкладення. Крім того, у місцях

відкритих наносів також спостерігаються вторинні відкладення уламків гірських порід [36].

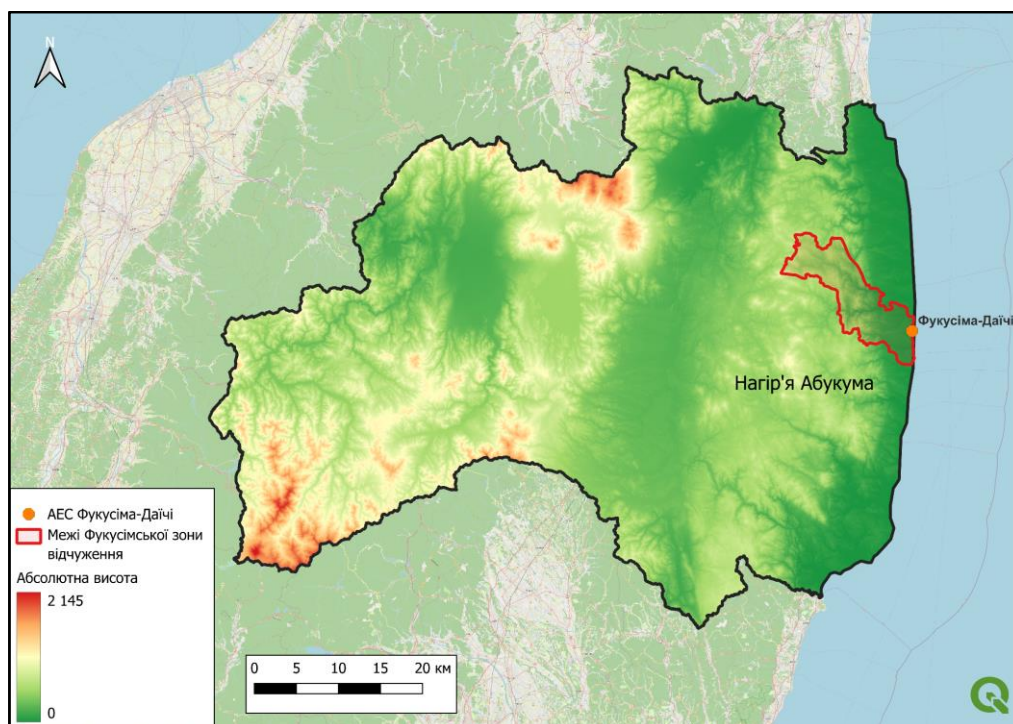


Рис. 1.3 Рельєф префектури Фукусіма

1.2. Кліматичні особливості об'єктів дослідження

Чорнобильська зона відчуження

Для території Чорнобильської зони відчуження характерні чотирирічні сезони майже однакової тривалості.

Зимовий сезон проходить у період грудень-лютий. Середні температури повітря становлять нижче 0°C. Січень є найхолоднішим місяцем, а його середньорічна температура сягає -6,1°C. Взимку діяльність циклонів дуже розвинена – часто супроводжується нетривалим потеплінням, посиленими снігопадами, потужними вітрами і хуртовинами.

Значні коливання температур спостерігаються у весняному періоді, а також різке підвищення температури, швидке танення снігового покриву, та інтенсивне пересихання ґрунту.

Літній сезон у зоні відчуження охоплює період з кінця травня і до кінця серпня. Липень є найтеплішим місяцем, середня температура повітря має показник 18,9°C. У цей сезон значно підвищуються температури, збільшується кількість опадів (зливи і сильні грози), інколи спостерігаються шквали.

Осінь починається у вересні і триває до кінця листопада. Цій порі характерна суха тепла погода, а також переважання хмарних днів із зливами, туманами та загальне зниження температури.

За даними Чорнобильської метеостанції впродовж багатьох років середньорічна температура повітря становить 7,2°C. Зафіксовані екстремуми температури повітря: -35°C – абсолютний мінімум та +39°C – абсолютний максимум [15].

Фукусімська зона відчуження

Зона відчуження має помірний океанічний клімат характерний для тихоокеанського узбережжя. В цьому районі зазвичай спостерігаються прохолодні літа від +15°C до +25°C і помірно теплі зими від +5°C до +15°C, також спостерігається досить висока вологість з прохолодними морськими бризами. Взимку дмуть холодні вітри, але мало снігопадів. Восени спостерігається велика кількість дощів. В околицях міста Фукусіма, яке розташовується північніше зони відчуження температура влітку іноді досягає +40°C [17, 22].

1.3. Поверхневі та підземні води території дослідження

Чорнобильська зона відчуження

Вісім річок протікає територією Заповідника: Прип'ять, Уж, Несвіч, Сахан, Ілля, Вересня, Брагінка, Грезля. Більша частина річок є притоками Прип'яті або Ужа. Десяту частину Заповідника займають поверхневі води, їх площа становить 20 тис. га. Загальна довжина річкової мережі складає 260 км.

У Чорнобильській зоні відчуження найбільшим водним об'єктом є річка Прип'ять. В межах зони довжина річки становить 60 км, а площа водозбірного басейну близько 2000 км². Русло Прип'яті було досить звивистим та мало багато

меандр вздовж своєї широкої долини. Річка була судноплавною до аварії, але після будівництва ставка-охолоджувача для атомної станції, відбулись основні зміни русла. Для річки Прип'ять характерні тривалі весняні повені від березня до липня, літо зазвичай відзначається низьким рівнем води, а восени відбувається значне збільшення водності. Останні роки характер зимової межі нестійкий, зі змінною водністю.

Основне джерело живлення річок на території заповідника – снігові опади (60% становлять талі води від загального річного стоку). 40% стоку розподіляються в залежності від річкових басейнів у вигляді ґрунтового та дощового живлення. Відсоток підземного живлення варіюється від 20% до 33% від загального стоку [15].

Фукусімська зона відчуження

Одна з найбільших річок префектури Фукусіма перетинає два райони Накадорі та Хакадорі – річка Абукума, яка бере початок на північ від гори Насу і тече на північ через басейни Коріяма і Фукусіма до префектури Міягі [16]. Довжина річки складає 210 км, а розмір басейну сягає 3,820 км². Дві річки, які впадають в Абукуму потрапили безпосередньо в зону відчуження – Отамі та Нітей.

Більшість річок, які припадають на зону відчуження впадають в океан. До них можна віднести такі річки: Орікі, Ота, Асамі, Кідо, Іде, Томіока, Кума, Такасе, Міята, Одака, Уда, Нііда, Мано.

У верхній течії річки Уда побудована дамба Мацугабу. Річка Уда - одна з головних річок у північному прибережному регіоні префектури Фукусіма, вона знаходиться приблизно за 50 км на північ від АЕСФД (Атомної електростанції Фукусіма-Даїчі). Водосховище греблі Мацугабу, експлуатується в основному для постачання зрошувальної води на рисові поля в середній і нижній течії водозбірного басейну річки Уда. Водозбірний басейн греблі має площу водозбору 25,4 км² складається переважно з лісу (80%), 7% - рисові поля, 5% - сільськогосподарські угіддя і 3% - забудовані території [26, с. 106].

Водосховище Йококава, розташоване за 23 км на північний захід від АЕСФД у гірському районі річки Ота. Площа водозбору водосховища становить 44,2 км², з

якої 99% вкрито лісом. Більша частина радіоцезію осіла саме на дно Йококави. Річка Ота має не тільки океанічне живлення, а ще й дощове [26, с. 117].

В зоні відчуження знаходиться одне з найбільш відомих озер – Фукусіма. Друге озеро, яке розташоване поруч з зоною відчуження має назву Укі. Обидва озера розміщуються в районі, який був затоплений під час катастрофи на АЕС Фукусіма-Даїчі.

1.4. Ґрунтовий покрив об'єктів дослідження

Чорнобильська зона відчуження

Територія зони відчуження знаходиться у низовинній рівнині з переважанням алювіальних відкладів, долинно-зандрових, зандрових і долинних піщаних льодовикових, на яких утворилися дерново-підзолисті піщані ґрунти. Нижче знаходиться перехідний шар кварцових пісків. В межах сосново-дубово-грабових лісів утворились світо-сірі, іноді сірі лісові суглинисті ґрунти, які відрізняються високим вмістом поживних речовин. Кислотність ґрунтового середовища коливається від слабокислої та середньокислої ($pH = 5,1-4,5$). Ці ґрунти мають низьку родючість через відсутність поживних речовин.

Перша характерна умова ґрунтоутворення цієї місцевості є легкий механічний склад порід, які представлені мореною, піщаними, глинисто-піщаними та супіщаними флювіогляціальними відкладами. Другою умовою є близьке залягання ґрунтових вод та неглибоке підстилення льодовикових відкладів кристалічними породами. Третя умова – переважання мішаних лісів у минулому та наявність суцільного добре розвиненого трав'яного покриву.

Під сосновими лісами, що ростуть на пісках, сформувались ґрунти з незначним показником залізистості, які не проявляють ознак опідзолення та мають підгумусований шар із значною кислотністю. Широколистяні та соснові породи ростуть на глинистих пісках, а отже тут сформувалися дерново-слабопідзолисті ґрунти з рідкісними ущільненнями суглинистих прошарків.

Підзолисті глейові ґрунти формуються під густими чагарниковими заростями, які весь час насичені вологою через ґрунтові води, що лежать на глибині 0,8-1 метра. На річкових заплавах і вододільних районах з високим ступенем болотистості розміщуються торфово-болотні ґрунти, торфово-глейові, болотні торфово-мулисті оглеєні, а також в окремих випадках – лучно-чорноземні ґрунти. На піщаних та глинисто-піщаних відкладах сформувалися дерново-слабопідзолисті ґрунти з кислим середовищем $pH = 3,5-4$.

В зоні річкових терас та зандрово-моренних рівнин поширені глейові та дерново-глейові ґрунти. На моренно-зандрових рівнинах переважають глинисто-піщані, дерново-слабо- та середньопідзолисті ґрунти [15, 1].

Фукусімська зона відчуження

Ґрунти Зони відчуження складаються з промивних пісків і алювіальних відкладень переважно суглинисто-піщаного складу з великою часткою мулистої фракції. Основні гірські породи у префектурі Фукусіма це граніти та вулканічний попіл, які піддаються фізико-хімічному вивітрюванню в умовах вологого мусонного клімату. Частка глин у Фукусімі становить 20–30%, а фракція піску становить 40–50% [23]. Органічний шар японських лісів тонкий, всього кілька сантиметрів завтовшки [21].

1.5. Рослинний та тваринний світ територій дослідження

Чорнобильська зона відчуження

Територія зони відчуження розташована у соснових, дубово-соснових та грабових лісах, також на території зустрічаються заболочені угіддя і річкові заплави. На західних частинах переважають ялинові ліси, які утворюють 13 видових груп. До початку 20 століття ліси вкривали 11-12%, але вплив людської діяльності призвів до його зменшення. Починаючи з 1950-х років, спостерігається активний процес відновлення лісів, переважно за рахунок соснових насаджень. Після аварії на Чорнобильській АЕС, зелений покрив зріс до 58%, що свідчить про швидке відновлення лісистості.

Флора Чорнобильської зони налічує приблизно 1256 видів рослин, з яких 5 видів відносяться до Європейського Червоного списку: *Tragopogon ucrainicus* Artemcz, *Chamaecytisus lindemannii*, *Corispermum hyssopifolium* L., *Silene lithuanica* Zapal. До Червоної книги України занесені 46 видів флори, а саме: *Diphasiastrum zeilleri* (Rouy) Holub, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Botrychium multifidum* (SG Gmel.) Rupr., *D. incarnata* (L.) Soo sl, *Chroodactylon ramosum* (Thwait.) Hansg, *Batrachospermum gelatinosum* (L.) DC.

Зона відчуження має близько 300 видів хребетних, з яких 75 видів занесено до Червоної книги України. До Червоної книги Міжнародного союзу охорони природи віднесено 14 видів фауни: *Nyctalus leisleri*, *Lutra lutra*, *Mustela lutreola*, *Castor fiber*, *Capella media*, *Crex crex*, *Bombina bombina*, *Hyla arborea*, *Coenonympha oedipus*, червона мураха та медична п'явка. До Європейського Червоного списку віднесено 16 видів: *Ursus arctos*, *Myotis nattereri*, *Muscardinus avellanarius*, *Canis lupus*, *Lynx lynx*, *Milvus milvus*, *Haliaeetus albicilla*, *Acrocephalus paludicola*, *Murmeleon formicarius*, *Parnassius mnemosyne*, та *Coenonympha oedipus*.

Конвенція "Про збереження мігруючих видів диких тварин" захищає велику кількість видів птахів, зокрема 179 видів, які перераховані у Додатку 1 до Бернської конвенції [15].

Фукусімська зона відчуження

На території зони відчуження росте велике різноманіття флори, серед них: жасмин японський (*Jasminum nudiflorum*), японська магнолія (*Magnolia liliiflora*), чебрець японський (*Thymus vulgaris*), японська айстра (*Aster yomena*), магнолія звичайна (*Magnolia grandiflora*), камелія японська (*Camellia japonica*), рододендрон японський (*Rhododendron japonicum*), сакура (*Prunus serrulata*), верба японська (*Salix gracilistyla*) та маплева ліцинолиста (*Acer sieboldianum*), сосна японська (*Pinus densiflora*), дуб японський (*Quercus serrata*), бук японський (*Fagus japonica*), каштан японський (*Castanea crenata*), кедр японський (*Cryptomeria japonica*), ялиця японська (*Abies firma*) [34].

Дослідники змогли ідентифікувати 20 видів тварин у «непридатній для життя зоні», включаючи диких кабанів (*Sus scrofa*), японських зайців (*Lepus brachyurus*),

макак (*Macaca fuscata*), фазанів (*Phasianus versicolor*), лисиць (*Vulpes vulpes*) і єнотовидного собаку (*Nyctereutes procyonoides*), який є родичем лисиці, козоподібного ссавця (*Cerou*) [31].

РОЗДІЛ 2. НАСЛІДКИ ВІД АВАРІЙ НА ЧАЕС ТА ФУКУСІМА-ДАЇЧІ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ

2.1. Наслідки для довкілля від аварії на Чорнобильській АЕС

26 квітня 1986 року сталася аварія на Чорнобильській АЕС. Ввечері 25 квітня групою інженерів були проведені випробування на одному з турбогенераторів 4-го блоку, щоб перевірити його працездатність у разі знеструмлення станції. Під час експерименту були відключені контрольні пристрої, незабаром потужність реактора впала на 7% від норми. Ця ситуація спровокувала нестабільність і неконтрольованість, а спроби відновити та налагодити ситуацію були запізними. В результаті чого 26 квітня 1986 року о 1 год 23 хв 45 с на 4-у реакторі сталися два вибухи внаслідок перегріву та накопичення газів, що виникли під час неконтрольованої реакції. Вони були хімічними, не ядерними.

Вибухи були настільки великої потужності, що було повністю зруйновано свинцеву та сталеву обшивку реактора, була деформована графітова кладка активної зони. Під час вибуху в повітря потрапило понад 60 тонн радіоактивних матеріалів, таких як: цезій (Cs-137), йод (I-131) та стронцій (Sr-90) [6].

Розповсюдження радіоактивних речовин у атмосферному повітрі

Після першого значного викиду радіонуклідів у навколишнє середовище на 4-му блоку Чорнобильської АЕС настало тимчасове затишшя. Проте, з 2 по 5 травня, це затишшя було перерване швидким потужним викидом продуктів розпаду за межі реакторного блоку. Температура палива зросла до 2500 °С, в результаті чого відбулися викиди великої кількості радіонуклідів у вигляді газів і аерозолів, і разом з тим утворення великої маси розплавів у приміщеннях блоку [12].

Забруднення радіоактивним пилом було такого масштабу, що наукові співробітники на арктичних базах наступного дня зафіксували збільшення радіаційного фону. Протягом кількох днів після аварії викиди цього пилу

поступово зменшувалися завдяки зусиллям ліквідаторів, які безпосередньо гасили полум'я, незважаючи на всі труднощі.

Такі радіоактивні частинки, як Cs-137, I-131, Sr-90 були викинуті в атмосферу не тільки під час вибуху, але й протягом певного періоду часу після, оскільки активна частина реактора була відкритою, через що продукти горіння графітових стрижнів повноцінно потрапляли в повітря (рис. 2.1).

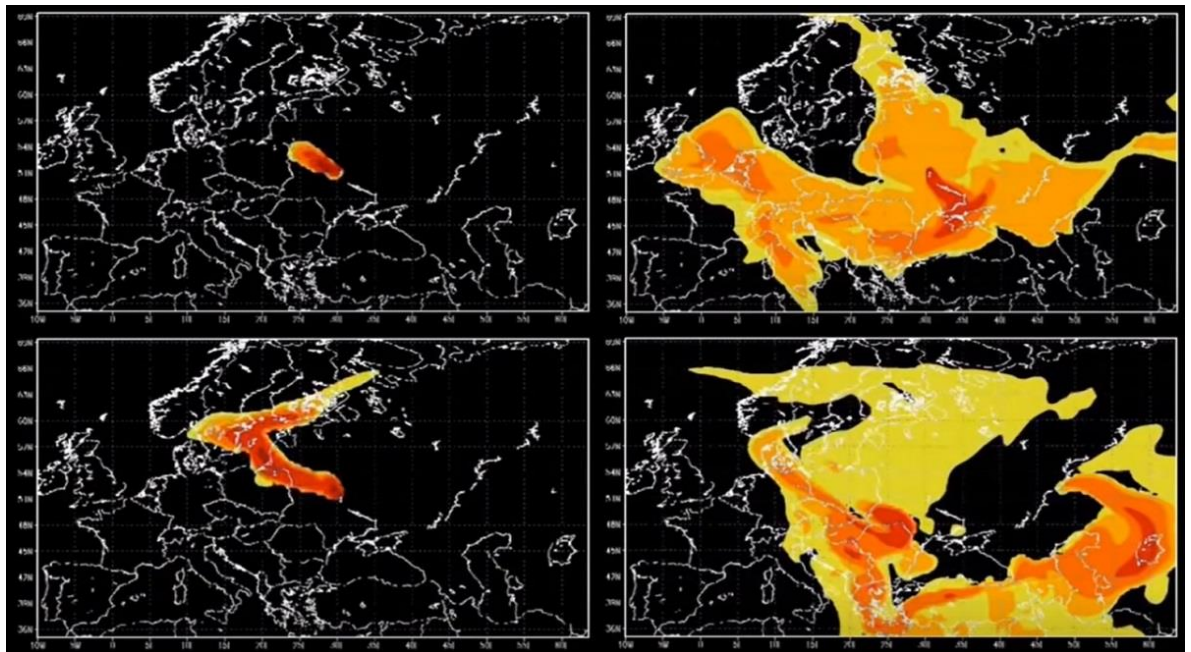


Рис. 2.1 Поширення радіоактивної хмари над Європою після вибуху на Чорнобильській АЕС. Зліва вгорі – 26 квітня 1986 р.; зліва внизу – 27 квітня 1986 р.; справа вгорі – 1 травня 1986 р.; праворуч внизу – 6 травня 1986 р [27].

Після аварії викиди протягом кількох діб становили 380 мільйонів Кюрі, що в 400 разів перевищувало радіоактивний викид у Хіросімі. У викидах реактора зустрічаються декілька ізотопів урану, плутонію та інших радіоактивних елементів, які мають різні періоди піврозпаду, від 30 років до 2,2 септильйонів років у цезія-137. В той час, як період піврозпаду йоду-131 становить 8 діб [2].

Більше половини продуктів розпаду і ядерного палива потрапило за межі реактора, бо у 4-му блоці було знайдено лише 50 тонн урану. Викид цих

радіонуклідів разом із плутонієм створив серйозну загрозу для навколишнього середовища, включаючи ризик раку та екологічні зміни в екосистемах, а також забруднення водних, повітряних та ґрунтових ресурсів [12].

Розповсюдження радіоактивних речовин у поверхневих та підземних водах

Радіоактивне забруднення значно вплинуло на гідрохімічний режим дніпровських водосховищ внаслідок аварії на ЧАЕС в квітні 1986 року. Розташована в заплаві річки Прип'ять, атомна станція спричинила радіоактивне забруднення річкових систем Прип'яті, Десни та Дніпра через пряме осідання радіоактивних аерозолів на поверхню води та поверхневий змив радіоактивних речовин із водозборів [14].

Викиди радіонуклідів переважно відбувалися у верхів'ях Дніпра на території Росії та Білорусії, а також у всьому басейні річки Прип'яті. Багато досліджень та заходів, скерованих на зменшення наслідків аварії, були спрямовані на зменшення поширення радіонуклідів з зони відчуження до річки Дніпро, з метою зниження радіологічних ризиків при використанні води [5].

Радіонукліди штучного походження вважаються найбільш небезпечними для здоров'я людей і водних екосистем, зокрема Cs-137 і Sr-90 – вони мають тривалі періоди напіврозпаду. Після аварії значна частина цих радіонуклідів, дніпровським каскадом водосховищ транспортувались у Чорне море – цезій-137 становив 20%, а стронцій-90 – 70%. Під час адсорбції ці радіонукліди осіли на дні водосховищ. Близько 70% радіоактивних речовин залишилися в каскаді донних відкладів верхнього Київського водосховища [14].

Радіоактивні елементи з повітря, що розповсюдились на північний захід, осіли на поверхні водних об'єктів різних країн, включаючи Білорусь, Польщу, Німеччину та інші частини Європи. Початкове забруднення води в основному відбулося через випадання радіонуклідів безпосередньо на поверхню річок і озер, зокрема короткоживучих радіонуклідів. У перші тижні після аварії концентрація радіонуклідів у питній воді з Київського водосховища становила серйозну загрозу здоров'ю місцевого населення, що використовувало її для пиття. За кілька тижнів після викиду, забруднення водних джерел швидко зменшувалося за рахунок

різноманітних процесів, таких як розведення, фізичного розпаду і поглинання радіонуклідів ґрунтами. У випадку озер і водосховищ, осадження важких часток на дно також сприяло зниженню рівня радіонуклідів у воді. Деяка частка радіації зникла завдяки дощам, вітрам і діяльності людини, але водночас каналізаційні системи та стічні води стали додатковими джерелами забруднення. Це призвело до того, що рівень радіації в проточних водах був значно нижчим, ніж у «закритих» водоймах [5].

Розповсюдження радіоактивних речовин у ґрунтового покриві

Через перерозподіл радіоактивних матеріалів в атмосфері та їх осадження найбільшого забруднення зазнали ґрунти проммайданчика ЧАЕС, показник становив 400 МБк/м². Проте потужність дози знизилася в сотні разів з часом. Роботи з дезактивації, такі як видалення верхнього шару ґрунту, зменшили радіаційний фон на два-три порядки. Головним джерелом гама-випромінювання був Cs-137, що переважно зосереджується в верхньому шарі ґрунту. В межах 10 км зони відчуження рівні потужності експозиційної дози коливаються від 0,1 до 2,0 мР/годину, разом з тим щільність забруднення ґрунту складає 800-8000 кБк/м². На територіях за межами 10 км Зони відчуження, потужність дози становить від 20 до 200 мкР/годину, а щільність забруднення ґрунту – від 20 до 4000 кБк/м². Основна частина радіоактивних елементів сконцентрована у 5-10 см верхнього шару ґрунту та лісовій підстилці. Є ділянки, де інтенсивність вертикальної міграції радіонуклідів вища, зокрема, через періодичне підтоплення. За оцінками вчених, загальна активність радіоактивних речовин у Чорнобильській зоні відчуження становить близько 220 кКюрі [7, с. 58].

Забруднення ґрунтів спричинене аварією було результатом різноманітних факторів, таких як: природна активність ізотопів, їхня мобільність у ґрунті та тип ґрунту. Наприклад, цезій може залишатися в поверхневих шарах ґрунту протягом багатьох років, особливо в лісових ґрунтах, де коріння, хвоя та листя накопичують радіацію як фільтри. Опадання листя та хвої сприяє підвищенню концентрації радіонуклідів у ґрунті. У піщані і глинисті ґрунти цезій проникає в низинні шари дуже повільно, хоча трохи швидше відбувається цей процес у торфовищах. Щодо

стронцію, він легко розчиняється у воді та набагато рухливіший ніж цезій, що робить його переміщення в ґрунті непередбачуваним [7, с. 77].

Згідно з аналізом структури ґрунтового покриву на сільськогосподарських угіддях, що мали найвищий рівень радіоактивного забруднення (рис. 2.2), торфоболотні і дерново-підзолисті ґрунти різного механічного складу є найбільш критичними (70%). У той же час, сірі лісові і чорноземи зазнали значно меншого забруднення (30%) [4].

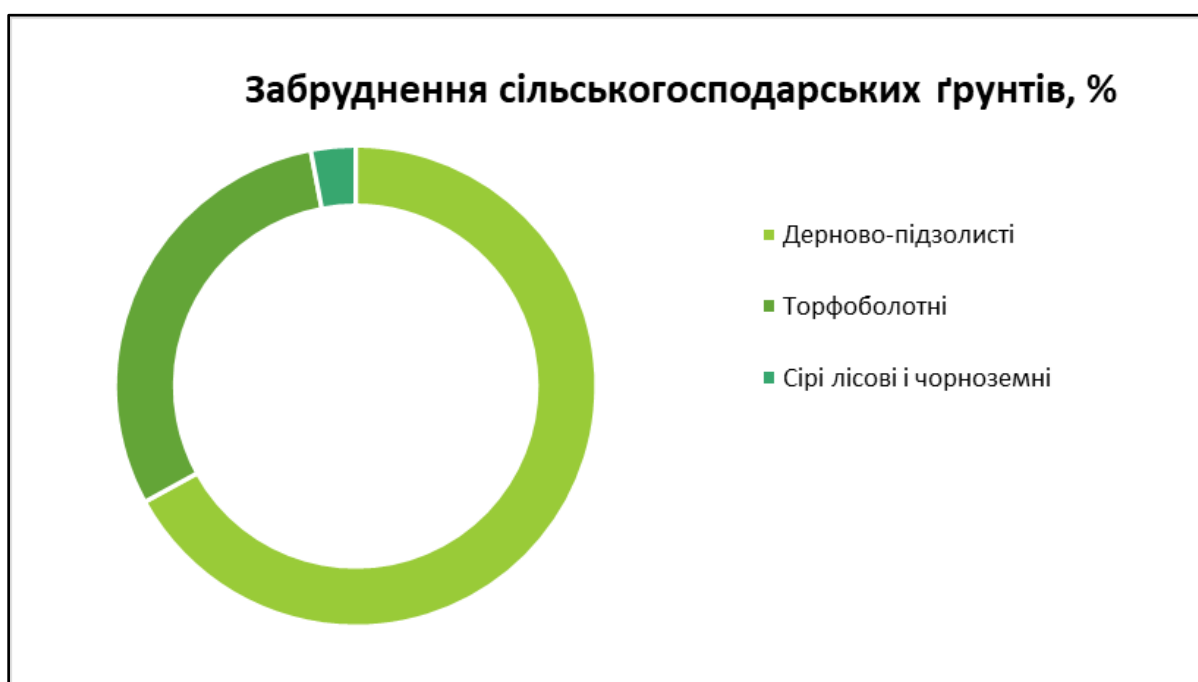


Рис. 2.2 Структура ґрунтового покриву території, яка найбільше постраждала від забруднення радіонуклідами, створено на основі [4]

Розповсюдження радіоактивних речовин у рослинному та тваринному світі

Аварія сталася наприкінці квітня, коли рослини та ґрунтові організми перебували в періоді активного росту, який робить їх найбільш чутливими до радіації. Перші 10-20 днів після катастрофи мали найбільший вплив на об'єкти живої природи. Протягом 1986-1988 років у 30-кілометровій Зоні навколо ЧАЕС було зафіксовано численні випадки радіаційного ураження рослин і тварин. Це свідчило про серйозні пошкодження екосистем, хоча вони відбулися на відносно невеликих територіях. Однією з таких є так званий «Рудий ліс» – територія поруч з

трасою на Прип'ять [9]. У цій лісостеповій зоні переважають соснові насадження. Внаслідок високих доз опромінення на цій території, спостерігалася загибель сосен та ялин. Початкові рівні опромінення були надзвичайно високими, що підтверджується відсутністю не лише хвойних, але й деяких листяних порід, таких як береза та вільха чорна [3].

На площі близько 500 гектарів було зафіксовано загибель соснових лісів (дерева увібрали радіацію, як фільтри). Ягоди, гриби, верес, папороті та лишайники — найбільш заражені радіоактивністю. Рівень забрудненості інших рослин у лісі варіюється залежно від виду, типу кореневої системи та складу ґрунту. Рослини з поверхневим розташуванням коренів мають вищий рівень зараження, ніж ті, чия коренева система проникає розташовується у глибших шарах ґрунту. У ґрунтах з низьким вмістом мінералів рослини особливо ефективно поглинають цезій, оскільки не відрізняють його від калію [7, с. 77].

Великий вплив аварії був помітний у водних організмів: для річкових гідробіонтів цезій став частиною харчового ланцюга і накопичувався в їх тілах. У віддалених водах Німеччини та Скандинавії можна впіймати рибу з високим вмістом цього елемента. Тому в Чорнобильській зоні введено заборону на рибальство, без очищення водою радіоактивність у тілах місцевої риби може залишатися протягом десятиліть. Концентрація Cs-137 у рибі деяких озер залишається високою протягом значного періоду і у майбутньому [5].

Дикі тварини, що мешкають у заражених лісах, накопичують велику кількість радіонуклідів, оскільки споживають забруднені лишайники, ягоди і гриби. Серед хижих тварин накопичення дози радіоактивного опромінення в декілька разів перевищує показники опромінення у травоядних, якими вони живляться. На тій самій території спостерігається практично повна загибель ґрунтових безхребетних, а пізніше в цих районах помітні зміни у популяціях мишоподібних гризунів [7, с. 77].

У тварин спостерігається накопичення радіонуклідів у кістковій тканині, в результаті чого виникають дистрофічні зміни в губчастих кістках та розшарування кісткових пластинок. У великої рогатої худоби виявлено зниження плодючості та

збільшення смертності новонароджених. Зміни в генетичній структурі поколінь, які спричинені низькими дозами опромінення, схожі на реакції популяції на інші екстремальні впливи, не пов'язані з радіацією [9].

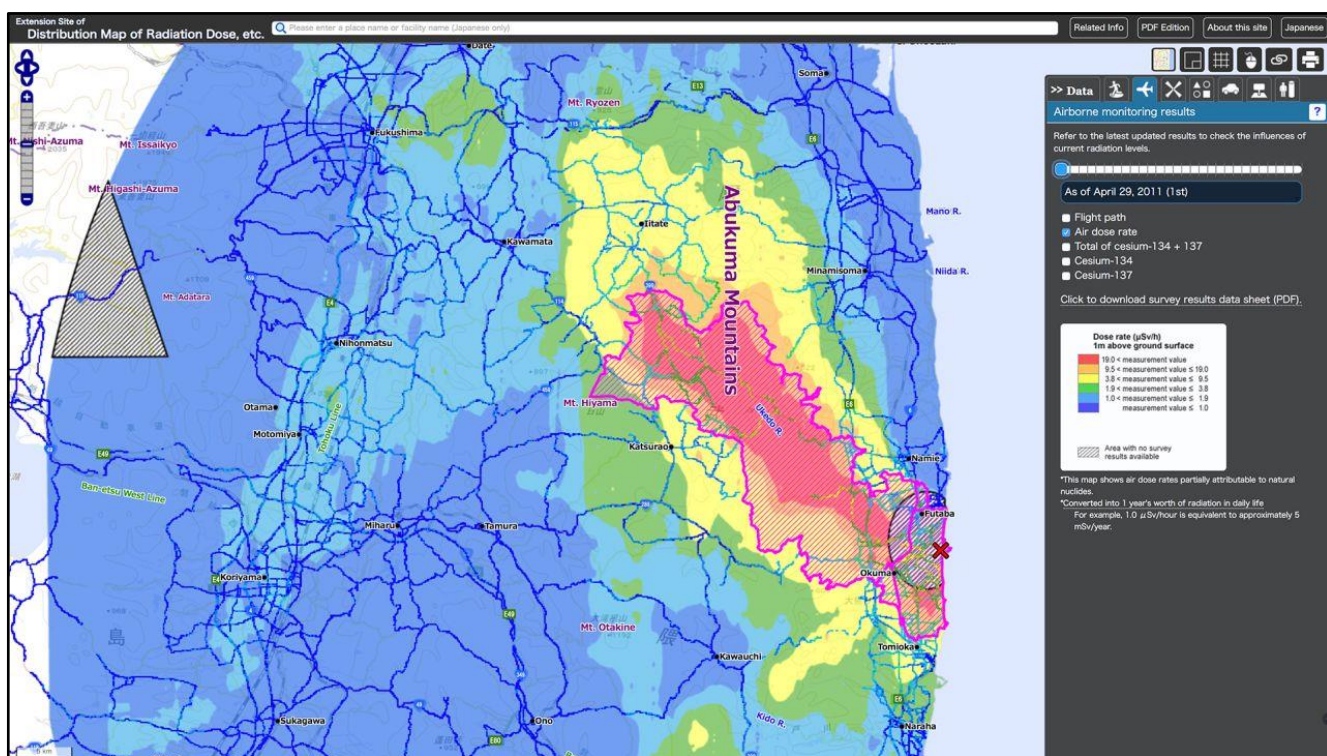
2.2. Наслідки від аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі

У 2011 році в Японії сталася друга за масштабом катастрофа на атомній електростанції, проте причиною аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі були природні явища (на противагу ЧАЕС). 11 березня 2011 року у Східній Японії стався великий землетрус, який був спричинений неочікуваним викидом енергії на межі Тихоокеанської тектонічної плити, яка зсунулась під Північноамериканську тектонічну плиту. Велика ділянка земної кори шириною 200 км та довжиною близько 500 км деформувалась, і як наслідок спричинило потужний землетрус магнітудою 9,0 і цунамі, яке і вразило прибережні райони Японії, враховуючи південно-східне узбережжя. Деякі хвилі досягли висоти понад десять метрів, призводячи до значних людських втрат та руйнувань. Понад 15000 людей загинули, понад 6000 отримали поранення, а близько 2500 вважалися зниклими безвісти. Руйнівні наслідки стихійного лиха зруйнували будівлі та інфраструктуру, особливо вздовж північно-східного узбережжя країни.

Після землетрусу і цунамі на атомній електростанції Фукусіма-Даїчі, якою керує Токійська електроенергетична компанія (англ. ТЕРСО), були пошкоджені лінії електропостачання, інфраструктура експлуатації та безпеки. Внаслідок цього відбулась втрата електроенергії як на самій електростанції, так і за її межами. Функціонування охолодження на трьох реакторних блоках та в басейнах витримки відпрацьованого ядерного палива було втрачено через цей комбінований вплив природних стихій. Хоча всі діючі реакторні установки на інших атомних електростанціях вздовж узбережжя були успішно вимкнуті, операторам Фукусіми-Даїчі не вдалося утримати контроль над активними зонами реакторів на блоках 1-3. Це призвело до перегріву ядерного палива, розплавлення та прориву захисних

оболонки. В результаті цього у реакторних приміщеннях енергоблоків № 1, 3 і 4 сталися вибухи, що спричинили значні пошкодження конструкцій, обладнання та травмування персоналу [33].

У результаті навмисного звільнення тиску газу та викидання води теплоносія в море, атомна електростанція випустила різноманітні радіоактивні матеріали з захисної оболонки енергоблоків. Ці матеріали, у вигляді радіоактивних газів або частинок, розсіялися в атмосфері (рис. 2.3), частина з яких випала на ґрунт, утворюючи залишкові радіоактивні відкладення. Частка радіоактивних матеріалів потрапила у морське середовище через викиди рідини безпосередньо в море та опосередковано через розсіювання радіоактивних частинок над океаном [32].



**Рис. 2.3 Забруднення атмосферного повітря після вибуху на АЕС Фукусіма-
Даїчі 29 квітня, 2011 року [20]**

Людей, що проживали у радіусі 20 кілометрів від АЕСФД та у інших визначених районах, було евакуйовано, тоді як ті, хто знаходився у зоні від 20 до 30 кілометрів, отримали рекомендації про те, щоб залишатися у приміщеннях, а пізніше їм було рекомендовано добровільно евакуюватись [33].

Розповсюдження радіоактивних речовин у атмосферному повітрі

Після аварії на атомній електростанції Фукусіма-Даїчі 11 березня в атмосферу потрапила значна кількість радіонуклідів, включаючи радіоактивний йод і радіоцезій, що призвело до забруднення як наземного, так і морського середовищ [34].

Оскільки у зв'язку з аварією було неможливо використовувати обладнання для прямого вимірювання щільності радіоактивних матеріалів, кількість викинутих у повітря радіоактивних матеріалів було оцінено шляхом введення вимірюваних даних, таких як потужність дози у повітрі, напрям вітру та його швидкість, здійснених автомобілями моніторингу на електростанції [35].

На регіональному рівні дослідники показали, що протягом 15-16 і 20-23 березня північно-східні, східні або південно-східні вітри, що були частиною транзитивного циклону, переносили радіоактивні матеріали з АЕСФД у внутрішні райони. У той час спостерігались опади, які сприяли ефективному осіданню радіоактивних матеріалів на поверхню землі через вологі процеси. На відміну від цього, в період з 17 по 20 березня, коли антициклон домінував над Фукусімою, переважали західні або північно-західні вітри, і радіоактивні матеріали були перенесені переважно в Тихий океан. Науковці показали, що найбільші осідання радіоактивних речовин над територією Японії зафіксовані протягом 15-16 березня (72,0%) від загального обсягу, 20-24 березня (15,7%) і 30-31 березня (11,4%), в той час як випадіння в інші періоди були дуже незначними (0,9%) [25].

Розповсюдження радіоактивних речовин у поверхневих та підземних водах

На додаток до пожежі у сховищі відпрацьованого палива та викидів аерозолів в атмосферу, охолодження реакторів прісною та морською водою, а після – викид сильно забрудненої води з пошкоджених корпусів реакторів призвели до потрапляння радіоактивних матеріалів безпосередньо в море. Деякі скиди були навмисними, щоб запобігти перевантаженню приміщень, де зберігалась ця забруднена вода.

Повна міра викиду не має чіткої документації, а також не має даних щодо багатьох можливих ізотопів, що вивільнились, але є значна кількість інформації

про концентрацію кількох ізотопів Cs-137 та I-131 в океані біля точки викиду, яка стала відомою незабаром після аварії.

Океанічні течії біля Японії призвели як до транспортування води на південь (див. *рис. 2.4*) уздовж узбережжя через течію Оясію, так і до відведення на північ через зміщення вітру на поверхні. Концентрації в прибережній воді знизилися майже в 1000 разів протягом місяця після пікових викидів.

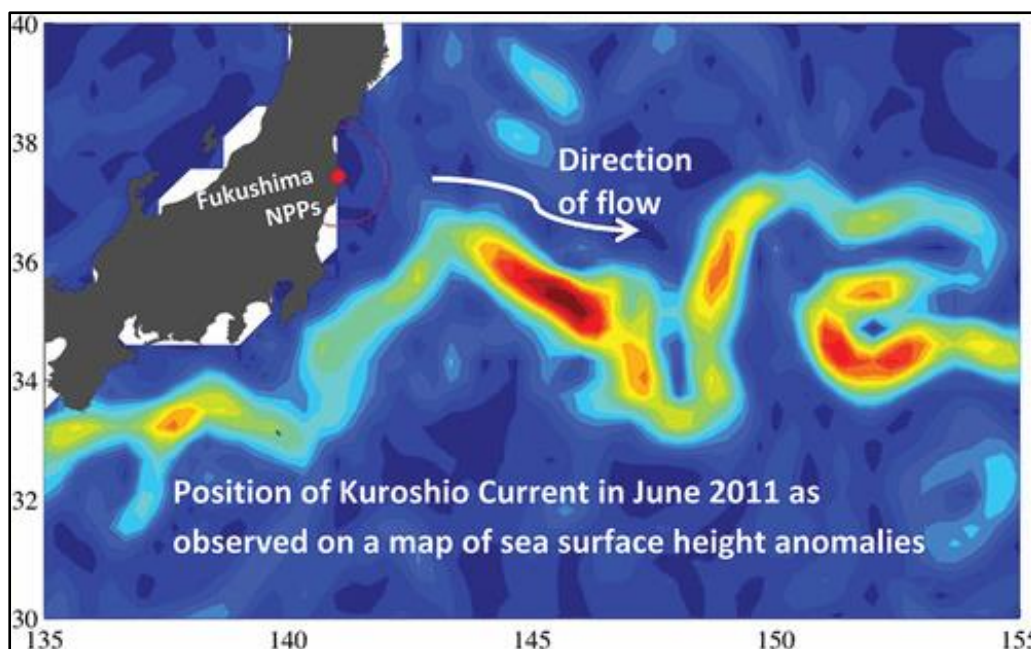


Рис. 2.4 Переміщення радіоактивних речовин швидкісною океанічною течією Куросію, створено на основі [28]

На відміну від забруднення ґрунтів на суші, швидкість вертикального і горизонтального переміщення водних мас в океані висока, що досить швидко розбавляє первинне забруднення. Особливо швидко це відбувається в енергійних прибережних водах біля Японії, де течія Оясію рухається на південь та змішується зі швидкою течією Куросію, що швидко рухається відкритим морем [28].

Була проведена оцінка впливу водосховищ на розподіл радіоцезію у річковому басейні Уди на греблі Мацугабу. Оцінка річного балансу маси Cs-137 показала, що гребля Мацугабу значно зменшила перенос радіоцезію з верхнього басейну до нижнього, утримуючи частину радіоцезію у водосховищі. Додатково,

регулювання скидів води дозволило зробити цю функцію зберігання ще більш ефективною, запобігаючи паводків вниз по течії. З іншого боку, оцінений річний баланс маси розчиненого Cs-137 у водосховищі показав, що його кількість у воді, яка скидалася, явно перевищувала кількість у притоці, що свідчить про те, що значна кількість розчиненого радіоцезію, ймовірно, утворилася внаслідок розчинення донних відкладень, які зберігалися у водосховищі, створеному греблею. Ця негативна роль дамби в утворенні розчиненого радіоцезію може призвести до довгострокового забруднення прісноводних екосистем у водоймах нижче за течією [26, с. 105].

Розповсюдження радіоактивних речовин у ґрунтовому покриві

Найбільше радіоактивних матеріалів потрапило в Тихий океан в той час, як деяка кількість вод була скинута на прибережні території. Внаслідок цього відбулося радіонуклідне забруднення ґрунту. Серед радіоактивних матеріалів, що осіли у землі – Cs-137 є основним радіонуклідом, оскільки його період напіврозпаду відносно довгий порівняно з іншими радіонуклідами, що виділяються з АЕСФД. Крім того, ґрунт, забруднений Cs-137, сильно зв'язується з глинами, і швидкість міграції пов'язаної з глиною показує низьку рухливість, менше 1 см на рік, що свідчить про те, що основна частина цезію розподіляється у верхньому шарі ґрунту в межах 10 сантиметрів від поверхні [25].

Добре відомо, що при контакті з ґрунтом радіоцезій сильно і швидко фіксується на дрібних частинках ґрунту. Цезій є лужним металом і, відповідно, має схожі хімічні властивості з калієм і може заміщати калій при взаємодії з глинистими мінералами, що призводить до майже незворотної фіксації на дрібних частинках ґрунту. Після аварії на Фукусімі-Даїчі дослідники детально вивчали закріплення радіоцезію на дрібних частинках. Ці дослідження були проведені в першу чергу через високий вміст органічної речовини і глини в ґрунтах в регіоні АЕС, які можуть впливати на глибинну міграцію радіоцезію в ґрунтовому профілі. Більшість зразків для вивчення процесів перенесення цезію в ґрунті, включаючи глибинну міграцію або потенціал фіксації, були відібрані в межах 14 прибережних водозборів з добре розподіленим покриттям по всьому регіону, що зазнав впливу

радіоактивних випадінь. Сильна фіксація радіоцезію на глинистих частинках протягом перших 2-3 місяців після аварії зменшила міграцію радіоцезію в глибинному профілі. Завдяки сильному потенціалу фіксації в ґрунті, радіоцезій буде утримуватися у верхніх шарах непорушеного ґрунту, що дозволяє проводити потенційну дезактивацію шляхом зняття поверхні ґрунту. Крім того, оскільки радіоцезій міцно фіксується в дрібнозернистих мінеральних ґрунтах, він потенційно може бути вимитий під час дощів, а його міграція і перенесення зі схилів пагорбів до Тихого океану регулюватиметься геоморфологічними і гідрологічними факторами, що спричиняють ерозію ґрунту, транспортними процесами [30].

Розповсюдження радіоактивних речовин у рослинному та тваринному світі

Аварія на АЕС Фукусіма-Даїчі призвела до викиду великої кількості радіоактивних речовин в навколишнє середовище. Дослідницький реакторний інститут Кіотського університету створив архівну систему, що складається зі зразків органів понад 300 голів великої рогатої худоби, 50 свиней і 200 японських мавп у межах 20-кілометрового радіусу, який раніше був визначений як зона евакуації. Дослідники визначали концентрацію радіонуклідів в органах та їх біологічну дію. У всіх досліджених зразках було виявлено гамма-випромінювання радіоактивного цезію. Радіонукліди були виявлені у нирках, печінці, м'язах та крові, в результаті чого з'являється висновок, що внесок зовнішньої дози в загальне опромінення був вищим, ніж вважалося раніше. Худоба була у стані легкого стресу без помітних змін [29, с. 11].

Було проведено декілька досліджень генетичних пошкоджень, рівня аномалій та популяції. У префектурі Фукусіма у деяких організмів спостерігалось збільшення морфологічних аномалій (наприклад, метелики, жовчні попелиці, ялиці та червоні сосни). Забруднений радіонуклідами ґрунт або морська вода також мала фізіологічний вплив на смертність метеликів і яструбів-тетеревятників, а також на кров у морських птахів і японських мавп. Крім того, переписи популяції птахів, метеликів і цикад показали, що чисельність цих видів значно зменшилася з підвищенням рівня випромінювання. Загалом цей вплив радіації на дикі організми

було виявлено протягом двох-трьох років після аварії. Окрім прямого впливу радіації, моніторинг біоти всередині та зовні зони відчуження в префектурі Фукусіма показала, що популяції деяких диких тварин і комах також постраждали від робіт з дезактивації та великомасштабної евакуації.

До прикладу у блідо-блакитного метелика була виявлена аномалія у вигляді зменшення крил, а також підвищення рівня смертності серед личинок. У дощових черв'яків, які були зібрані на території з особливо високий рівень забруднення – пошкоджено ДНК. Натомість чисельність бджіл, ос та жуків збільшилась в зоні евакуації, що може бути пов'язано зі зростанням кількості диких рослин. Чисельність птахів зменшилась із збільшенням дози опромінення, у ластівки сірої виявлено пошкодження ДНК. У популяції японської мавпи виявлено зниження рівня компонентів крові. У ялиці японської нерегулярне розгалуження на головній осі, що призводить до обриву головного пагону або розгалуження бічних пагонів. Сосна японська червона зазнала втрати верхівкового домінування зі збільшенням потужності дози [25, с. 73].

Після евакуації людей із зони відчуження, Фукусіма стала помешканням для значної кількості середніх і великих ссавців. Ці спостереження є унікальними свідченнями того, що відсутність людей має більший вплив на тваринний світ, ніж радіологічне опромінення. Наприклад, чисельність диких кабанів у зоні відчуження була у чотири рази більшою, ніж у контрольній зоні, де проживають люди [34].

РОЗДІЛ 3. ДОСВІД УКРАЇНИ ТА ЯПОНІЇ ЩОДО ДІЯЛЬНОСТІ В ЗОНАХ ВІДЧУЖЕННЯ ПІСЛЯ АВАРІЙ

3.1. Діяльність України в зоні відчуження ЧАЕС в поставарійний період

В результаті аварії навколо ЧАЕС створено 30-кілометрову зону відчуження, яка зараз не використовується протягом 38 років. З агропромислового використання було вилучено близько 5 мільйонів гектарів землі. Крім того, було зруйновано та поховано під землю сотні невеликих населених пунктів [3].

Найбільш тяжкі наслідки Чорнобильської катастрофи – погіршення здоров'я людей та значна кількість жертв. Офіційна інформація про кількість померлих відсутня, але за оцінками, лише за період з 1986 по 1995 роки, загинуло від 3 до 10 тисяч осіб. Розподільний реєстр постраждалих у державах СНД (Співдружність Незалежних Держав) включає близько 800 тисяч людей, які брали участь у ліквідації аварії, переважно військовослужбовці. Зважаючи на оцінки експертів Наукового комітету ООН з впливу атомної радіації, повна колективна доза опромінення для всього населення світу, що зазнало впливу від Чорнобильської катастрофи, становить 600 тисяч осіб, з яких 40% – з країн СНД [11].

Спочатку радянський уряд відхилив пропозицію про міжнародну допомогу, але вже у 1987 році звернувся до Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) для отримання експертної оцінки заходів з ліквідації наслідків аварії. Після аварії робота Чорнобильської АЕС була припинена на півроку. Протягом цього періоду було проведено дезактивацію території та побудовано бетонний саркофаг, який покрив четвертий енергоблок. Після завершення робіт три залишені в робочому стані енергоблоки були відновлені.

За значної міжнародної підтримки, в листопаді 2016 року було успішно завершено будівництво об'єкту «Укриття» над четвертим енергоблоком ЧАЕС. Цей вражаючий процес включав насунання нового безпечного саркофагу, який був виконаний у вигляді металевої арки. Протягом двох тижнів ця арка, що важить 36 тис. тонн та має розміри 165 x 110 x 250 метрів, була розміщена над реактором,

подолавши 327 м. Нове укриття призначене для експлуатації протягом 100 років, його будували 10 років, а проект коштувало близько 2 млрд євро. Ця споруда не лише захищає довкілля від радіації, а й дозволила зняти старий бетонний саркофаг. Ще на початку будівництва у 2007 році ця ідея здавалась малоімовірною, але на сьогодні – у світовій інженерії новий Чорнобильський саркофаг не має аналогів, це найбільша пересувна споруда за всю історію. Для побудови були задіяні спеціалісти з усієї Європи. В середині арки розміщені крани для подальшого демонтажу старого саркофагу, але розбирання руїни, радіоактивних матеріалів та сміття займе ще кілька десятиліть [8].

Потреба у створенні Чорнобильського радіаційно-екологічного біосферного заповідника виникла задовго до 26 квітня 2016 року, коли було видано Указ Президента України про його створення. Кілька років після аварії на Чорнобильській АЕС вчені помічали поступове відновлення рослинного і тваринного світу: евакуація населення та припинення господарської діяльності створили сприятливі умови для цього. Дослідники зафіксували появу рідкісних видів флори та фауни, а також збільшення чисельності звичайних видів. Прогноз на майбутнє був оптимістичним, очікувалося поступове перетворення антропогенних ландшафтів у більш природні комплекси Полісся.

Через 15-20 років стало очевидним: природні сили виявились потужнішими, навіть попри такий антропогенний вплив, як аварія на ЧАЕС. Кілька сотень тисяч гектарів території самостійно перетворилися на заповідну зону, де сотні видів як типових, так і рідкісних червонокнижних тварин знайшли сприятливі умови для життя. Обговорення науковцями та громадськістю можливості створення заповідної території в зоні відчуження та зоні обов'язкового відселення відбувались протягом багатьох років.

У 2007 році у Іванківському районі Київської області за рішенням президента України було створено загальнозоологічний заказник "Чорнобильський спеціальний". У 2013 році Міністерством екології та природних ресурсів було затверджено ініціативу про створення Чорнобильського біосферного заповідника. Після тривалої підготовки (впродовж 3 років) та узгодження всіх необхідних

документів Президент України підписав указ про його створення. У 2017 року як самостійна установа заповідник активно розвивається з бюджетним фінансуванням, підпорядкована Державному агентству з управління зоною відчуження.

Починаючи з 2018 року, Заповідник активно приєднується до міжнародних проектів, а науковий відділ організовує перші наукові експедиції для дослідження флори і фауни території зони відчуження. Заповідник створений у межах Зони відчуження є найбільшим за територією в Україні і є базою для унікального природного експерименту, який має велике значення не лише для нашої країни, але й для всього світу.

Основна увага вчених спрямована на вивчення типових, а також рідкісних видів фауни, наприклад: великі хижаки (рись, вовк, бурий ведмідь,) та копитні (олень, лось, косуля), чії популяції за останні роки значно збільшилась. Великий інтерес викликає також унікальна вільна популяція коней Пржевальського, яка була створена у 90-х роках. Видовий склад тварин на цій території на сьогоднішній день відповідає природній фауні Полісся.

Головною метою Чорнобильського біосферного заповідника є збереження природних комплексів Полісся в їхньому природному стані. Зокрема, заповідник ставить за мету забезпечення підтримки та підвищення бар'єрної функції Чорнобильської зони відчуження та зони безумовного відселення. Одним із ключових завдань є стабілізація гідрологічного режиму та реабілітація територій, забруднених радіонуклідами. Для досягнення цих цілей заповідник передбачає проведення наукових досліджень у сфері охорони навколишнього середовища, збереження природної різноманітності ландшафтів та генофонду тваринного і рослинного світу, а також підтримання загального екологічного балансу. Крім того, заповідник проводить екологічну освіту та виховні роботи, організовує та проводить міжнародні наукові дослідження. Біосферно-екологічний заповідник запобігає винесенню радіонуклідів з території зони відчуження.

Заповідник здійснює різноманітні наукові дослідження та діяльність. Однією з основних напрямків є: ведення Літопису природи; організування та проведення

регулярних спостережень (моніторингу) (рис. 3.1) для відстеження стану та змін в природних комплексах та об'єктах, екосистемах та кліматі; створення бази даних та розробка геоінформаційної системи (ГІС); проведення інвентаризації рослин і тварин, природних середовищ та ландшафтної різноманітності; розроблення наукових рекомендацій для збереження і відтворення рідкісних видів рослин і тварин, які перебувають під загрозою зникнення і занесені до Червоної книги України; відновлення пошкоджених природних екосистем та гідрологічного режиму, збереження та відновлення історично сформованих рослинних угруповань, запобігання проникненню іноземних видів рослин і тварин, що можуть загрожувати існуючим екосистемам, а також контроль або усунення чужорідних видів; підготовка наукових матеріалів і рекомендацій, необхідних для організації екологічної освіти та інших видів діяльності у заповіднику; створення та управління науковими фондами, базами даних та інформаційними системами; здійснення первинного обліку кадастрових даних про території та об'єкти природно-заповідного фонду [15].

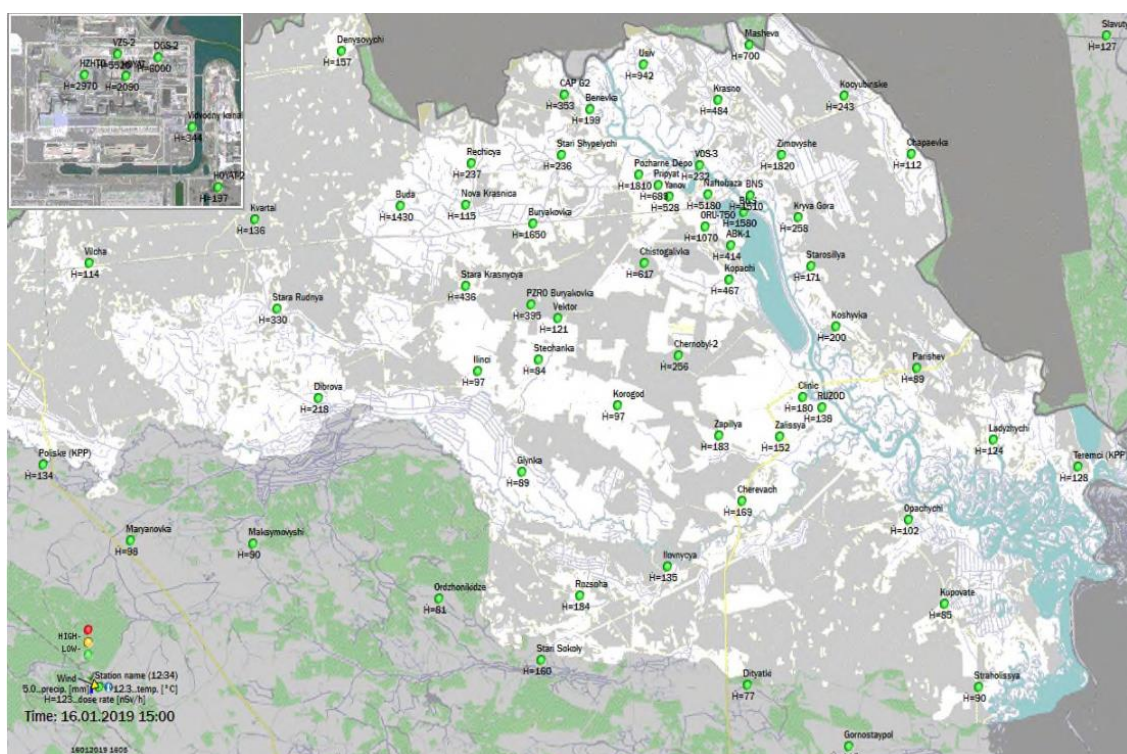


Рис. 3.1 Комплексна система радіаційного моніторингу Чорнобильської зони відчуження [10]

3.2. Діяльність Японії в зоні відчуження Фукусімської АЕС в поставарійний період

Приблизно 154 000 людей у префектурі Фукусіма були евакуйовані у відповідь на радіологічний аварію на АЕС Фукусіма 2011 року. До 2017 року уряд підтримував три зони евакуації які потрапили в 30 км від АЕСФД: зона наказу про евакуацію (зона попередження), зона планової евакуації та зона підготовки до екстреної евакуації. Зрештою, зона евакуації становить 20 км (рис.3.2).

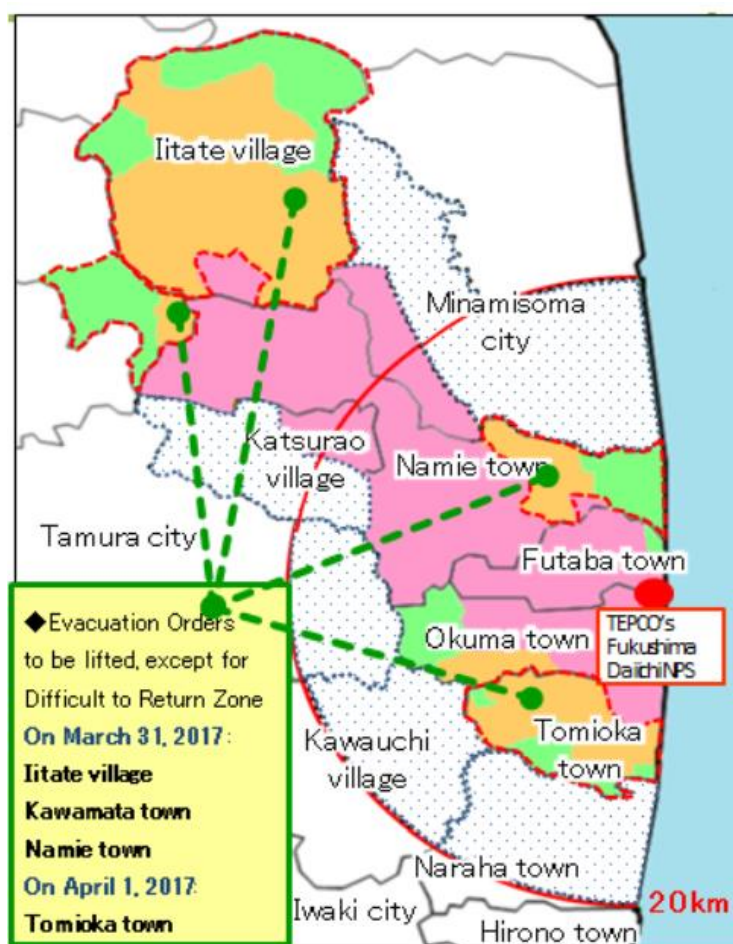


Рис. 3.2 Фукусімська зона евакуації станом на 10.03.2017 [19]

Аварія на АЕС Фукусіма-Даїчі сталася знаковою подією не лише для Японії, а й для всього світового ядерного сектору. Японські урядові та промислові структури ефективно відреагували на аварію, зокрема у справах ліквідації наслідків, а також у відкритості та прозорості інформації. Ця подія стала

переломним моментом на глобальному рівні, що сприяло збільшенню обміну досвідом та інформацією між регуляторами ядерної галузі, промисловістю та міжнародними організаціями, що раніше не спостерігалось.

Під час виведення з експлуатації реакторів Фукусіма-Даїчі відкрилися нові можливості для поглибленого розуміння характеристик аварії, що сприяло розвитку наукової бази знань. Отримання інформації про реакцію активної зони, вивільнення радіоактивних продуктів та ведення компонентів і конструкцій атомної електростанції, у тому числі басейнів для зберігання ядерного палива, під час серйозних аварій, стане ключовим. Японія зможе взяти на себе провідну роль у підвищенні безпеки та збагаченні знань у цих областях, а її дослідницький потенціал може бути максимально розвинутим для ефективного використання можливостей отримання нових наукових даних. Світовий досвід у сфері експлуатації разом з розумінням ризиків становлять потенційне джерело для вдосконалення та інновацій, як це було показано в ході кількох історичних етапів глобальних ядерних операцій. Досвід Фукусіма-Даїчі значно поповнює цю базу знань. Залишаються можливості для навчання, пов'язані з оцінкою та пом'якшенням технічних, екологічних, соціальних, політичних та економічних наслідків аварії. Одна з основних технічних проблем пов'язана з вивезенням сміття, зокрема залишків палива [24, с. 61-62].

У зоні спеціальної дезактивації знесли радіаційно забруднене житло та інші будівлі, а забруднені землі дезактивували, видаливши приблизно 5 см з верхнього рівня ґрунту. Ґрунт і відходи, вилучені під час робіт з дезактивації за межами майданчика в префектурі Фукусіма (вивезені ґрунти), зберігаються в тимчасовому сховищі (ISF) неподалік від майданчика Фукусіма-Даїчі на землі, придбаній для цієї мети до моменту остаточного захоронення. В результаті рекультиваційних робіт дезактивовані землі були поступово повернуті в користування, багато наказів про евакуацію були скасовані, а людей заохочували повертатися. Окрім зон, в які важко повернути, Міністерство навколишнього середовища Японії (МОН) завершило роботи з дезактивації в Спеціальній зоні дезактивації, як і планувалося, наприкінці березня 2017 року. У ДРЗ кожен муніципалітет визначив певну

територію як спеціальні бази реконструкції та регенерації, в яких національний уряд проводить додаткову кампанію з дезактивації. З 2017 року такими визначено шість областей. У зоні інтенсивного обстеження забруднення кампанія з обстеження завершилася в березні 2018 року. Вивезені ґрунти з цієї ділянки Фукусіми-Даїчі зберігаються в тимчасовому сховищі (ISF) до моменту остаточного захоронення [24, с.29].

Центр екологічного розвитку (ЦЕР) був створений префектурою Фукусіма як центральна організація для комплексного проведення моніторингу, досліджень, збору та надання інформації, освіти, навчання, обміну інформацією та комунікації з метою відновлення довкілля. Префектура Фукусіма створила Центр екологічного розвитку у 2016 році для координації роботи з відновлення довкілля після безпрецедентної ядерної катастрофи. З цією метою були розроблені керівні принципи на основі середньострокового та довгострокового планів дій, сформульованих ЦЕР у лютому 2015 року та переглянутих у 2019 році. ЦЕР здійснює радіаційний моніторинг навколишнього середовища, сприяє проведенню досліджень з метою відновлення та створення навколишнього середовища, а також збирає та надає дані моніторингу та результати досліджень. Крім того, Центр проводить радіаційну та екологічну освіту за допомогою своїх експозицій. На основі Угоди про науково-дослідницьку співпрацю, укладеної в квітні 2015 року в ЦЕР, три організації: Префектура Фукусіма, Японське агентство з атомної енергії та Національний інститут екологічних досліджень займаються відновленням навколишнього середовища. Представляючи співпрацю як місцевих, так і національних організацій, ЦЕР проводить дослідження у чотирьох сферах: вимірювання радіації, дезактивація та радіоактивні відходи, екологічна динаміка та створення місцевого середовища.

Центр екологічного розділу має окремі підрозділи:

Центр радіаційного моніторингу навколишнього середовища – центр здійснює постійний моніторинг рівня радіації та дози опромінення повітря навколо атомної електростанції. Тут знаходиться Група дистанційного моніторингу Фукусіми, Центр екологічної безпеки Фукусіми, МАГАТЕ. Група здійснює свою

діяльність у співпраці з префектурою Фукусіми. Проводиться радіаційний моніторинг за допомогою безпілотного гелікоптера та телеметричної системи радіаційного моніторингу навколишнього середовища.

Відділення у Фукусімі – цей підрозділ проводить радіохімічний аналіз радіонуклідів, що випромінюють альфа-частинки, таких як плутоній, і радіонуклідів, що випромінюють бета-частинки, таких як стронцій, що містяться в незначних кількостях у зразках навколишнього середовища. Тут розташований офіс префектури Фукусіма (філіал уряду префектури).

Інформаційно-комунікаційна будівля (Комутан Фукусіма) – місце для спілкування та співтворчості, де діти Фукусіми можуть комфортно творити світле майбутнє з відчуттям безпеки. Окрім виставок про радіацію, навколишнє середовище у Фукусімі та результати наших опитувань і досліджень, будівля має сферичний театр з оглядом на 360 градусів і зал, який може вмістити 200 осіб. Ці об'єкти сприяють розумінню радіації та навколишнього середовища у Фукусімі на знайомих прикладах.

Центр водного середовища Інавасіро – центр функціонує як центр досліджень та волонтерської діяльності, пов'язаної з озером Інавасіро, а також озерами та ставками Урабандай. Відвідувачі можуть вільно ознайомитися з документами та виставками, пов'язаними з озером Інавасіро.

Центр симбіозу дикої природи – центр здійснює моніторинг дикої природи, а також слугує місцем захисту та порятунку диких тварин. Відвідувачі можуть вільно оглядати панельні виставки та виставки з опудалами тварин і птахів.

Центру екологічної розвитку комплексно здійснює чотири види діяльності:
- моніторинг (здійснюється детальний моніторинг на всій території префектури, включаючи стаціонарний моніторинг у школах і парках, транспортний моніторинг з використанням автобусів та інших транспортних засобів, постійний моніторинг з використанням постів моніторингу тощо. Відповідно до комплексного плану радіаційного моніторингу, науковці збирають результати вимірювань з радіаційного моніторингу навколишнього середовища, що здійснюються урядом, префектурою та муніципалітетами. ЦЕР обмінюється інформацією та ефективно її

використовує. Також проводиться дослідження та аналіз забруднення повітря, води, шуму та вібрації, забруднених відходів та хімічних речовин на додаток до радіації навколишнього середовища. Зібрані дані потім обробляються та оприлюднюються для громадськості).

- дослідження (для того, щоб провести екологічне відновлення після безпрецедентної ядерної катастрофи, необхідно сприяти зусиллям, об'єднавши вітчизняний та зарубіжний досвід. Тому Агентство атомної енергії Японії (ААЕЯ), єдиний в Японії комплексний інститут досліджень і розробок в галузі ядерної енергетики, та національний інститут з екологічних досліджень (НІЕД) розташовані в цій науково-дослідній будівлі, де вони сприяють розвитку досліджень шляхом співпраці. ЦЕР співпрацює з іншими дослідницькими інститутами у Фукусімі та за її межами, а також з МАГАТЕ, щоб продовжувати подальші дослідження).

- збір та надання інформації (що стосується результатів різних дослідницьких проектів та результатів радіаційного моніторингу, ЦЕР сприятиме розробці простої та зрозумілої системи надання інформації громадянам префектури. Крім того, науковці активно представляють результати досліджень на національному та міжнародному рівнях через різні наукові товариства, міжнародні конференції, а також працюють над створенням централізованої та вичерпної бази даних про стан відновлення довкілля, і відродження місцевих територій шляхом дезактивації, що здійснюється префектурою).

- освіта, навчання, обмін інформацією та комунікація з питань відновлення та творення довкілля у префектурі Фукусіма (з метою надання інформації про поточну екологічну ситуацію та радіацію в префектурі Фукусіма, а також розвитку потенціалу для створення майбутнього Фукусіми, ЦЕР працюватиме над наступними напрямками: освіта з питань радіації та навколишнього середовища, довгостроковий розвиток людських ресурсів (наприклад, дослідників) у співпраці з університетами та іншими дослідницькими організаціями, створення комунікаційної мережі для широкого кола учасників, включаючи НІЕД та місцевих жителів, використовуючи інформаційно-комунікаційну будівлю, а також навчальні

програми з відновлення та створення навколишнього середовища для залучених підприємств.

Агентство атомної енергії Японії є єдиним всеосяжним науково-дослідним інститутом Японії в галузі ядерної енергетики. Як громадська організація, визначена урядом, ААЕЯ розпочало свою діяльність, таку як радіаційний моніторинг та підтримка евакуації, одразу після аварії на АЕС Фукусіма-Даїчі. З того часу, для реконструкції та відродження Фукусімської зони відчуження, МАГАТЕ активно продовжує працювати над своїми дослідженнями та розробками, а також допоміжною діяльністю, включаючи розробку технологій, необхідних для відновлення навколишнього середовища та виведення реактора з експлуатації. Центр екологічної безпеки МАГАТЕ на Фукусімі-Даїчі проводить дослідження та розробки, пов'язані з відновленням навколишнього середовища у Фукусімі, і реагує на різні потреби, щоб мешканці могли жити безпечно.

З цією метою Центр екологічного розвитку працює над радіаційним моніторингом, який безперервно ведеться з моменту аварії, створенням карт потужності дози повітря та кількості осадження радіоактивних матеріалів, прогнозуванням радіації в майбутньому. Додатково він проводить: дослідження динаміки навколишнього середовища щодо того, що станеться з радіоактивними матеріалами в навколишньому середовищі в майбутньому; розробку технології ефективного вимірювання радіації на величезній площі землі за допомогою безпілотних вертольотів; розробку швидкого вимірювання концентрації радіоактивних матеріалів; дослідження/розробку, пов'язані з розумінням наслідків дезактивації та підтримкою зменшення об'єму/повторного використання радіоактивних відходів, що утворюються в результаті робіт з дезактивації.

Крім того, ЦЕР проводить опитування з питань управління охороною здоров'я (внутрішнє опромінення) для громадян префектури, відповідає на запитання про радіацію, а також забезпечує співпрацю та підтримку розвитку людських ресурсів у сфері ядерної енергетики [18].

ВИСНОВКИ

У Кваліфікаційній роботі бакалавра було досліджено процеси перерозподілу забруднюючих речовин у довкіллі після аварій на атомних електростанціях, а також досвід України та Японії у відновленні територій, що зазнали найбільшого впливу від катастроф у зонах відчуження Чорнобильської та Фукусімської АЕС.

В першому розділі роботи було досліджено геологічні умови Чорнобильської зони відчуження, такі як річкові долини та Прип'ятський розлом, що сприяли інфільтрації радіоактивних речовин в глибші водоносні горизонти. Флювіогляціальні, алювіальні та льодовикові відклади, які переважно складаються з пісків та глинисто-піщаних матеріалів, сприяли легкій проникності радіонуклідів у ґрунти. В той же час, геологічні особливості місця розташування АЕС Фукусіма-Даїчі обумовлювали значний ризик аварійних ситуацій через те, що АЕС знаходиться в районі Тихоокеанського вогняного кільця.

Аварія на ЧАЕС у квітні і, переважаючи на той час, вітри північно-західного та південного напрямку, сприяли розповсюдженню радіоактивних речовин не тільки на території України, а і поза її межами. Натомість, висока вологість та переважаючі вітри бризового характеру в зоні відчуження АЕСФД дозволили розповсюдитись на значні відстані радіоактивним часткам в аерозолях.

Ґрунтове, снігове та дощове живлення, що переважає на річках території зони відчуження ЧАЕС обумовило потрапляння значної частки радіаційних осаджень на поверхневі води та в донні відклади Київського водосховища. В той час, як велика кількість річок, які потрапляють у Фукусімську зону відчуження впадають в океан, тобто, всі небезпечні радіоактивні елементи, які потрапили у воду, потрапляють в океан та продовжують активно розповсюджуватись.

Для Чорнобильської зони відчуження характерні дерново-підзолисті, дерново-болотні ґрунти, які мають високий вміст глинистих мінералів, що вплинули на процеси сорбції радіоактивних речовин, зокрема цезію. Піщані та супіщані ґрунти мають високий рівень проникнення. Наявність високо залягаючих ґрунтових вод зумовило подальше проникнення радіоактивних матеріалів в глибші

шари. Подібно до зони ЧАЕС, у мінеральних ґрунтах зони відчуження АЕСФД радіоцезій сильно адсорбується і фіксується глинистими мінералами, що ускладнює його переміщення. В той же час, ґрунти складаються переважно з промивних пісків та суглинисто-піщаних відкладів, що сприяє швидкому поширенню радіації.

Зважаючи на різноманітність флори та фауни території Чорнобильської зони відчуження, можна зрозуміти, якої великої шкоди нанесла аварія на АЕС. Подібно до Чорнобильської зони відчуження, біорізноманіття у Фукусімській зоні відчуження є не меншим унікальним, отже масштаб аварії був таким же руйнівним.

В другому розділі роботи було досліджено наслідки від аварій на ЧАЕС та Фукусіма-Даїчі для довкілля. На розповсюдження Cs-137, I-131, Sr-90 у атмосферному повітрі Чорнобильської зони відчуження вплинула відкритість активної частини реактора протягом довгого часу. Через рух повітряних мас, спрямований на північний захід, навіть на арктичних базах було зафіксовано збільшення рівня забрудненості повітря радіоактивними частинками, що свідчить про масштаб катастрофи. Після аварії на АЕСФД північно-східні, східні або південно-східні вітри переносили радіоактивні матеріали у внутрішні райони Японії, а західні та північно-західні вітри – в Тихий океан. У той же час, спостерігались опади, які сприяли ефективному осіданню радіоактивних матеріалів на поверхню землі через вологі процеси. Найбільші випадіння радіоактивних речовин на території Японії спостерігалось науковцями 15-16 березня (72%), 20-24 березня (15,7%) та 30-31 березня (11,4%).

Радіоактивне забруднення водосховищ зони відчуження ЧАЕС суттєво вплинуло на гідрохімічний режим річкових систем, зокрема найбільш небезпечними для здоров'я і водних екосистем радіонуклідами Cs-137 і Sr-90, які мають тривалі періоди напіврозпаду. Основна частина радіонуклідів все ще залишається в Київському водосховищі та інших водних системах. Через охолодження реакторів АЕС Фукусіма-Даїчі прісною та морською водою, а також викиди води з пошкоджених корпусів, в море потрапила значна частина радіоактивних матеріалів, таких як Cs-137 та I-131. Швидкісні океанічні течії Оясіо

та Куросіо сприяли розповсюдженню радіоактивних матеріалів на південь уздовж узбережжя Японії та на північ. Гребля Мацугабу на річці Уда затримала частину радіоактивних матеріалів і, тим самим, утворила потенційну загрозу для прісноводних екосистем у нижній течії річки.

Основним джерелом забруднення ґрунтового покриву зони відчуження Чорнобильської АЕС був Cs-137, він зосередився у верхньому шарі ґрунту. Через пористість та органічний склад найбільшого забруднення зазнали торфово-болотні і дерново-підзолисті ґрунти – 70%, в той час як сірі лісові і чорноземи зазнали меншого забруднення – 30%. Основним радіоактивним ізотопом, що забруднив ґрунти зони відчуження АЕС Фукусіма став Cs-137, який, через сильну фіксацію з глинистими частинками, сконцентрувався у верхньому шарі ґрунту, без подальшої швидкої міграції у нижчі шари.

На території зони відчуження ЧАЕС особливого ураження зазнав “Рудий ліс”, у якому загинули сосни, ялини, берези та вільхи. Радіоактивне забруднення вплинуло на водні організми накопиченням Cs-137 у харчових ланцюгах. У тварин спостерігалось накопичення радіоактивних речовин у кістковій тканині, зниження плодючості та збільшення смертності новонароджених. Схожі наслідки було помічено у Фукусімській зоні відчуження. Радіоактивне забруднення води та ґрунту призвело до збільшення показників смертності серед комах, птахів та ссавців. У деяких диких тварин та рослин спостерігалися морфологічні аномалії та пошкодження ДНК, радіоактивний цезій був виявлений у нирках, печінці, м'язах та крові тварин. Чисельність птахів, метеликів та цикад значно зменшилася з підвищенням рівня випромінювання.

В третьому розділі роботи було досліджено досвід України та Японії щодо діяльності в зонах відчуження після аварій. Україна має потужний досвід з ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. Після аварії була проведена дезактивація території (видалення верхнього шару ґрунту та зберігання відходів у тимчасовому сховищі) та побудований бетонний саркофаг над четвертим енергоблоком, який у 2016 році за міжнародної підтримки був замінений найбільшою пересувною спорудою в історії – металевою аркою “Укриття”, яка

зможє забезпечити захист на 100 років. Після евакуації населення та припинення господарської діяльності в Чорнобильській зоні відчуження почалось відновлення природи, що сприяло потребі у створенні заповідної зони. У 2016 році, після довгої підготовки, було створено найбільший заповідник в Україні – Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник. Він продовжує активно розвиватися, від початку створення і по сьогодні бере участь у міжнародних проєктах та проводить наукові дослідження флори та фауни. Головною метою заповідника є збереження, реабілітація природних комплексів Чорнобильської зони відчуження та підтримка бар'єрної функції зони. Заповідник займається моніторингом екосистем, екологічною освітою, інвентаризацією видів тварин та рослин, а також розробкою рекомендацій щодо їх збереження.

В той час, Японія має особистий досвід, який має однакову важливість з українським. Одразу після катастрофи на АЕС Фукусіма-Даїчі японський уряд та промислові структури ефективно відреагували на аварію, сприяючи міжнародному обміну досвідом. Було виведено з експлуатації роботу всіх реакторів, проведено дезактивацію території та збудовано саркофаг над четвертим енергоблоком. Після аварії на АЕСФД Японія посилила обмін досвідом в ядерній галузі з іншими країнами. У 2016 році для координації зусиль щодо відновлення довкілля після ядерної катастрофи, був створений Центр екологічного розвитку (ЦЕР) префектури Фукусіма. ЦЕР має 5 підрозділів, які спрямовані на моніторинг радіації, збирання та надання інформації, екологічної та радіаційної освіти, дезактивацію та поводження з радіоактивними відходами. Дослідження ЦЕР зосереджені на динаміці радіоактивних речовин у довкіллі, технологіях дезактивації та загального впливу радіації на здоров'я. Центр співпрацює з Агентством атомної енергії Японії, Національним інститутом екологічних досліджень і МАГАТЕ. Дослідження зосереджені на динаміці радіоактивних матеріалів у довкіллі, технологіях дезактивації та впливі радіації на здоров'я.

Таким чином, для відновлення радіаційно забруднених територій доцільно поєднувати і досвід України, і досвід Японії, адже кожна країна має свої методи, технології та підходи у вирішенні однієї і тієї ж проблеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Булигін С. Ю., Прістер Б. С., Фурдичко О. І., Дутов О. І. Щодо програми безпечного ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок Чорнобильської катастрофи. *Вісник Аграрної науки національної академії аграрних наук України*. 2012.
2. Гужеля М. О. Наслідки глобальної катастрофи 26-го квітня 1986 року. День пам'яті Чорнобильської трагедії: зб. Матеріалів круглого столу, 26 квітня 2021 р. Харків.
3. День пам'яті Чорнобильської трагедії: зб. Матеріалів круглого столу, м. Харків, 26 квітня 2021 р. Харків, 2021. Ходєєв Н. П. Наслідки Чорнобиля у тваринному та рослинному світі. 50 с.
4. Дутов О. І., Ландін В. П., Мельничук А. О., Гриник О. І. Радіаційно-екологічні аспекти використання забруднених земель у віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС. *Агроекологічний журнал Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Мінприроди України, № 1*. 2015. С. 115-120.
5. Збірник матеріалів Круглого столу Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця. Харків, 22 квітня 2021. Маліновська К. Радіоекологічні проблеми водних ресурсів зони відчуження Чорнобильської АЕС. 106 с.
6. Зенкіна С. М., Панасюк І. В. ЧОРНОБИЛЬСЬКА КАТАСТРОФА У ПРИЗМІ ЧАСУ, ЇЇ ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Мехатронні системи. Енергоефективність та ресурсозбереження»*. №2 (96), 2016. с. 11-17. URL: [V96_P011-017.pdf \(knutd.edu.ua\)](http://knutd.edu.ua/V96_P011-017.pdf)
7. Золотарьов В. В. Інструментальне забезпечення моніторингу довкілля на ЧАЕС. Акредитація випробувальних лабораторій. 2020. Кваліфікаційна робота магістра. Національний авіаційний університет.

8. Кудряченко А.І. Ядерна безпека України. Чорнобильська аварія і її вплив на перспективи атомної енергетики: міжнародні виміри. Національна академія наук України. 2019. URL: <https://elibrary.ivinas.gov.ua/4744/1/Chornobylska%20avariia%20i%20yii.pdf>
9. Матеріали II Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції «У світі хімії: до 35 річниці аварії на ЧАЕС», Житомирського базового фармацевтичного фахового коледжу, 28 квітня 2021. Сніхівська Н. В., Новицька М. С. Чорнобиль – екологічна катастрофа. С. 270-275.
10. Мовенко В. І. Технічні науки та технології. Моніторинг радіаційного забруднення території Чорнобильської зони. *Стаття Національного університету Чернігівської політехніки. № 2 (20). 2020. 297-307 с.*
11. Опришко В. Ф. Система законодавства з питань подолання наслідків чорнобильської катастрофи. ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана». Правове регулювання економіки. 2010. № 10. URL: file:///C:/Users/user/Downloads/pre_2010_10_3.
12. Соботович Е., Белевцев Р. Ядерна енергетика і наслідки Чорнобильської катастрофи. Вісник НАН України, № 4. 2009. с. 30-39. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/25969/04-Sobotovych.pdf?sequence=1>
13. Сорокіна Л. Ю. Генетико-ландшафтознавче дослідження антропогенно змінених ландшафтів України: дис. канд. геогр. наук: 11.00.11. Київ, 2021, 233 с.
14. Хільчевський В. К., Ободовський О. Г., Гребінь В. В. Загальна гідрологія. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2008. 399 с.
15. Чорнобильський радіаційно-біосферний заповідник. Сайт. URL: <https://zapovidnyk.org.ua/>
16. 47 Prefectures Various of 47 prefectures in Japan. A site that studies the geography, culture, and tourism of 47 prefectures in Japan. Geography and topography and map of Fukushima Prefecture. URL: [福島県 地理・地形・地図 | 47 Prefectures 47都道府県のあれやこれや \(tdfk-q.com\)](http://tdfk-q.com/)

- operation and Development. NEA No. 7558. OECD/NEA PUBLISHING, PARIS. 2021. URL: https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2021-03/fukushima_10_years_on.pdf
25. Global Environmental Research Vol. 20. Radioactive Pollution from the Fukushima Daiichi Nuclear Accident and Measures towards Recovery. Advances in Environmental Research. Teiji Watanabe. No. 1&2/2016. Printed in Tokyo, Japan By Sanwa Co., Ltd. URL: https://www.airies.or.jp/ebook/Global_Environmental_Research_Vol.20.pdf
26. Global Environmental Research Vol. 24. Progress in Environmental Emergency Research after the Great East Japan Earthquake and Fukushima Nuclear Disaster. Teiji Watanabe. No. 2/2020. By Nippon Printing Co., Ltd. URL: airies.or.jp/ebook/Global_Environmental_Research_Vol.24No.2.pdf
27. IRSN: Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety. Chernobyl: path of the radioactive cloud over Europe between 26th April and 6th May 1986. URL: <https://t.co/GDLKVL2wID>
28. Ken Buessler, Michio Aoyama and Masao Fukasawa. Article: Impacts of the Fukushima Nuclear Power Plants on Marine Radioactivity. Environmental Science & Technology. American Chemical Society. 2011. URL: [Impacts of the Fukushima Nuclear Power Plants on Marine Radioactivity | Environmental Science & Technology \(acs.org\)](https://doi.org/10.1021/es10182a001)
29. Proceeding of the Specialists' Meeting on Effects of the Fukushima-1 Accident on Animals and Plants around the NPP Site. Imanaka T., Fukumoto M. Research Reactor Institute, Kyoto University. 2015. URL: https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/PUB/report/04_kr/img/ekr004.pdf
30. Radiocesium transfer from hillslopes to the Pacific Ocean after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. O. Evrard, Jean-Patrick Laceby, Hugo Lepage, Yuichi Onda, Olivier Cerdan, Sophie Ayrault. Journal of Environmental Radioactivity. BRGM France. 2020. URL: [Radiocesium transfer from hillslopes to the Pacific Ocean after the Fukushima Nuclear Power Plant accident: A review \(hal.science\)](https://hal.science/hal-02400000)

31. Rewilding of Fukushima's human evacuation zone. Philip C. Lyons, Kei Okuda, Matthew T. Hamilton, Thomas G. Hinton, James C. Beasley. *Frontiers in Ecology and Environment*. Published by Ecological Society of America. Volume 18, Issue 3, p. 127-134. 2020. URL: <https://doi.org/10.1002/fee.2149>
32. Socio-economic and environmental impacts of March 2011 earthquake, tsunami and Fukushima nuclear accident in Japan. Bachev, Hrabrin. Institute of Agricultural Economics, Sofia. MPRA Paper No. 60661. 2014. URL: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/60661/>
33. The Fukushima Daiichi Accident. International Atomic Energy Agency. Report by Director General. PO Box 100, Vienna International Centre. Printed by the IAEA in Austria. 2015. URL: <https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1710-reportbythedg-web.pdf>
34. The Journal of Environmental Radioactivity. Stephen C. Sheppard. Published by Elsevier Science. Volume 258. 2023. URL: [Journal of Environmental Radioactivity | ScienceDirect.com by Elsevier](#)
35. Tokyo Electric Power Company Holding (TEPCO). The Estimated Amount of Radioactive Materials Released into the Air and the Ocean Caused by Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident Due to the Tohoku-Chihou-Taiheiyou-Oki Earthquake (As of May 2012). URL: https://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2012/1204659_1870.html
36. Topography and ground of Fukushima Prefecture. *Geology of Japan 2: Tohoku Region* Kyoritsu Publishing Co., Ltd. URL: [福島県の地形・地盤：ジオテック株式会社 \(jiban.co.jp\)](#)