

ЯДЕРНИЙ МОНІТОР

Видання Світової інформаційної служби з енергетики (WISE) та Інформаційного центру з ядерної енергетики (NIRS). Українська версія видається ММГО "Еко клуб".



ПІЗНІ УРОКИ ЧОРНОБИЛЯ, РАННІ ПОПЕРЕДЖЕННЯ З ФУКУСИМИ

Оригінальна публікація - 7 лютого 2013 р. | № 756 «Nuclear Monitor»

Доктор Поль Дорфман.

Скорочено з робіт: Поль Дорфман, Александра Фусік, Стівен Томас (2013): 'Пізнi уроки Чорнобиля, ранні попередження з Фукусіми', У виданні: 'Пізнi уроки ранніх попереджень': Секція С – спеціальні видання, Європейське агентство з навколишнього середовища, Копенгаген.

Переклад Любов Зоріна

Зміст

| | |
|---|----|
| Аспекти біології низьких рівнів радіації | 2 |
| Чорнобиль..... | 3 |
| Пост-Чорнобильський метааналіз | 3 |
| Невідкладна медична допомога постраждалим від Чорнобильської катастрофи | 5 |
| АЕС «Фукусіма-1»..... | 5 |
| Землетруси та цунамі в Японії | 6 |
| Викид радіації на АЕС «Фукусіма -1»: забруднення поза межами станції..... | 7 |
| Система моніторингу «Тайфун»..... | 7 |
| Японія: викиди радіації в результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1»..... | 8 |
| Наслідки від катастрофи на АЕС «Фукусіма-1»..... | 10 |
| Вплив дії ядерної політики після аварії на АЕС «Фукусіма»..... | 11 |
| Вартість ядерної енергетики..... | 11 |
| Культурне та політичне різноманіття в секторі енергетичного управління | 14 |
| Ядерні зобов'язання..... | 14 |
| Паливо глибокого вигорання..... | 16 |
| Ядерні ризики: оцінка можливих ризиків та незапланованих інцидентів..... | 16 |
| Висновки..... | 17 |
| Посилання та джерела | 18 |

В даний час ядерна енергія використовується в 30 країнах світу та на Тайвані, виробляючи близько 13% комерційної електроенергії. 14 країн і Тайвань знаходяться в процесі планування будівництва нових атомних потужностей. В світі експлуатуються 435 ядерних реакторів - на піку атомної генерації в 2002 році їх було 444 - з яких 189 знаходяться в Європі та Росії, що включає в себе близько однієї третини з 146 цивільних реакторів в світі. З них лише одна Франція генерує майже половину атомної електроенергії ЄС на 58 реакторах (Шнайдер та ін, 2011; European Nuclear Society, 2012).

Із зростанням громадського занепокоєння та політичним визнанням швидкості та темпів необхідності переходу до низьковуглецевого енергопостачання, задля пом'якшення зміни клімату, ядерна енергетика була переглянута і розглядається як відповідь на загрозу глобального потепління (МАГАТЕ, 2000; EDF, 2012; NIA, 2012; WNA, 2012). Тим не менш, в основі питання про ядерну енергетику лежать різні думки про те, яким чином необхідно застосувати вірогідність передбачення, обережність і відповідальність у зв'язку з можливістю аварій.

Аспекти біології низьких рівнів радіації

Теоретичне обґрунтування біологічних ефектів іонізуючого випромінювання базується на неоднозначних варіантах теорії мішені, таких як послідовна структурна теорія. Теорія мішені означає, що пошкодження біологічних клітин, особливо чутливих до радіаційного випромінювання, призводить до порушення життєдіяльності всього організму: наприклад, пошкодження супресорного гену пухлини може призвести до ракового захворювання. Теорія мішені також враховує існування спадкових хвороб, але тут виникають певні питання, а саме, яким чином можна застосувати принцип спадковості до втрати життєдіяльності соматичних клітин при ракових захворюваннях. Проте в 1992 році з'явилися дані, що підтвердили суперечливість теорії мішені, а саме факти існування понять геномної нестійкості (Khadim et al, 1992) та ефекту непрямого впливу (Nagasawa and Little, 1992). Ці обидва впливи широко відомі як такі, що діють не прямо, а їхня ціль досить обширна і виступає цілим ядром клітини, а не винятково вже пошкодженими клітинами. Геномна нестабільність характеризується набуттям різних типів пошкоджень наново, в основному в структурі ДНК, у нових клітинах протягом навіть декількох поколінь. Ці пошкодження, що пояснюються геномною нестабільністю, можуть не обов'язково бути викликані радіацією, це може бути реакцією самих клітин на вплив від радіації. Ефект непрямого впливу проявляється в клітинах, які не піддавалися впливу радіації, проте знаходились поряд із ураженими клітинами.

Існування цих феноменів піднімає ряд дуже важливих дослідницьких питань стосовно розуміння дії механізмів, а це може стати основою для переоцінки підходів теорії мішені і створити нове теоретичне підґрунтя для біологічних принципів впливу радіації. З точки зору охорони здоров'я найбільш хвилювання викликає аспект спадковості і передачі геномної нестабільності через покоління. В 2011 році вченими Баверсток і Кароткі було запропоновано ряд механістичних гіпотез для пояснення феномену геномічної нестабільності (матеріали ARCH, 2011), які заклали подальші концептуальні засади для вивчення цього питання.

Протягом періоду діяльності двох Європейських муніципальних комісій по проектам FP6 під назвою RISC-RAD (<http://www.riscrad.org/>) та NOTE (<http://www.note-ip.org>), що були створені спеціально для роботи над проблемою кращого розуміння принципів нестабільності, не було знайдено жодного обґрунтування засад теорії мішені. Причиною цього може бути те, що, картина радіаційної біології зазвичай досить складна, особливо в розрізненні інтерпретації результатів лабораторних досліджень та досліджень, проведених безпосередньо в природному середовищі. Тим не менш, останні дослідження говорять про те, що додаткові механізми можуть також виявитися дуже важливими в процесі розуміння

впливу геномної нестабільності та ефекту непрямого впливу для формування нових норм радіаційного захисту: є припущення, що хромосомна нестабільність, спровокована іонізуючим випроміненням, може бути результатом запальних процесів, які здатні чинити неопосередковану шкоду та уповільнювати радіаційний вплив. В 2011 році вчені (Lorimore et al) дійшли висновку, що багатокліткова взаємодія, яку відбувається внаслідок непрямого впливу, чинить дію на канцерогенну чутливість організму і призводить до запальних процесів, які виконують роль проміжного ланцюга та закріплюють довготривалий вплив іонізуючого випромінення. Якщо припустити, що генотип кожного з нас є ключовим елементом при визначенні каркогенетичної чутливості, то відмінність результатів реакції матерії з різним генотипом може стати визначним фактором у розумінні специфічного впливу радіаційного випромінення на різних індивідуумів (Lorimore et al). Усі ці дослідження дозволили зробити один потенційно важливий висновок: різні люди можуть мати неоднакову чутливість і реакцію на радіаційний вплив.

Чорнобиль

26 квітня 1986 на Чорнобильській атомній електростанції, розташованій в Північній Україні, стався вибух четвертого енергоблоку, що призвів до масштабного атмосферного забруднення радіоізотопами також і за межами країни. Це відбулося внаслідок невдалого експерименту над реактором, коли позитивний паровий коефіцієнт призвів до швидкого стрибка реактивності і став причиною парового вибуху, що зруйнував станцію. Протягом 6 днів 30-60% продуктів розподілу з активної зони реактора опинилися в атмосфері, а це приблизно 6,7 тон радіоактивних матеріалів. Ці матеріали потрапили в верхні шари атмосфери, і європейська територія загальною площею більш ніж 200,000 км² була забруднена радіоактивними ізотопами (ПРООН, 2002). В результаті, була проведена евакуація та згодом переселення близько 115 000 людей з територій, прилеглих до зони вибуху реактора; з 1986 ще близько 220 000 осіб з Білорусії, Росії та України змушені були покинути заражену зону (Науковий Комітет ООН з питань наслідків ядерної радіації UNSCEAR, 2008).

Сьогодні 3 500 робітників щоденно входять у визначену Україною 30-ти кілометрову Зону Відчуження, щоб спостерігати, очищати та охороняти територію, на якій ще до 2065 року планується проводити подібні роботи. Незважаючи на те, що майже половина ресурсів, запланована для відновлюваних робіт вже вичерпана, кінцева дата завершення програми була перенесена ще на 10 років. На території АЕС проводяться роботи по довготривалому збереженню радіоактивних відходів з 4-го реактора та ще 20 000 тис. каністр відпрацьованого палива з інших реакторів станції. Чимала кількість відпрацьованого палива буде лише зростати, частково через заповнення водою сховищ радіоактивних відходів в деяких місцях та машинного залу 4-го реактора, що призводить до необхідності відкачувати та зберігати на території АЕС близько 300 000 літрів радіоактивно забрудненої води щомісяця (Perlow, 2011).

Пост-Чорнобильський метааналіз

Оскільки формат даної публікації не дозволяє нам детально проаналізувати величезний обсяг літератури з питання ризику радіаційної епідеміології, достатнім буде той факт, що точний підрахунок впливу на здоров'я людей від наслідків Чорнобильської катастрофи ще й досі залишається доволі спірним питанням і об'єктом для критики. Це пов'язано з тим, що епідеміологічні дані по впливу радіації на здоров'я є доволі суперечливими. Зв'язок між радіацією та етіологією ракових захворювань разом із лейкемією вже не викликає сумнівів, але продовжує тривати дискусія стосовно ризику виникнення цих захворювань, особливо ракових захворювань у дітей, від наслідків Чорнобильської катастрофи та через близькість розташування інших об'єктів атомної діяльності.

Однак немає нічого дивного в тому, що вплив від Чорнобильської катастрофи на здоров'я людей трактується і розуміється по-різному. Цю проблему можна пояснити тим, що в попередніх роботах, присвячених цій темі, немає чіткої та зрозумілої структури пояснення усіх наслідків катастрофи (ARCH, 2010). Тим не менш, не зважаючи на розбіжності у типах

впливу, дозах, потужності доз опромінення та застосованої методології, в процесі роботи з жертвами Чорнобильської катастрофи та іншої атомної діяльності були отримані беззаперечні дані по впливу радіації на здоров'я. Поєднання цих даних із розумінням ризику радіації для організму допомогли у розробці нових норм захисту та у подоланні наступних ядерних катастроф, таких як Фукусіми.

Взявши до уваги лише Білорусь, Україну та Росію, без урахування інших постраждалих країн, Міжнародне агентство з атомної енергії (МАГАТЕ) скликало Чорнобильський Форум у 2005 році, на якому прогнозована кількість смертей була оголошена в 4 000 тис. осіб. Проігнорувавши значним чином збільшену кількість випадків раку щитовидної залози у дітей¹, Науковий Комітет ООН з питань наслідків ядерної радіації (UNSCEAR, 2008) не виявив підтвердження збільшення рівня смертності чи випадків ракових захворювань, а також інших захворювань, які могли бути спровоковані радіаційним впливом. Ще в 2006 році Яблоков (Yablokov et al) критикував такі підрахунки, оскільки, за його даними, рівень смертності населення значно збільшився внаслідок Чорнобильської катастрофи. За основу його дослідження були взяті дані по раковим захворюванням в Білорусії, де було виявлено 270 000 тис. випадків ракових захворювань, 93 000 тис. з яких були невиліковні. У наступних метааналізах, що включали дані з Білорусії, Росії та України, було визначено ще більше випадків подібних захворювань у дітей (Yablokov et al, 2007).

Причиною того, що Науковий Комітет ООН з питань наслідків ядерної радіації UNSCEAR (2011) вирішив не називати прогнозовані дані постраждалих також від малих доз радіації внаслідок Чорнобильської катастрофи, була значна непевність таких прогнозів. За підрахунками Наукового Комітету ООН з питань наслідків ядерної радіації UNSCEAR (1993) та МАГАТЕ (1996) за 50 років з моменту аварії на ЧАЕС загальна доза опромінення сягне 600 000 Зіверт, а згідно даних Міжнародної Комісії з радіологічного захисту (ICRP, 2005) на 1 Зіверт припадає 0.057 випадків невиліковних ракових захворювань, тобто загалом це приблизно 34,000 тис. невиліковних ракових захворювань за цей період (Ramana, 2009). Якщо ж взяти до уваги у всьому світі визнаний підхід про відсутність визначеного безпечного рівня радіації (BIER VII, 2006), то за попередніми підрахунками кількість смертей від ракових захворювань внаслідок Чорнобильської катастрофи може сягнути від 17,000 тис. до 68,000 тис. осіб за 50 років.

Крім того, є значні розбіжності у даних досліджень пост-Чорнобильської етіології лейкемії: на противагу Науковому Комітету ООН з питань наслідків ядерної радіації UNSCEAR (2008), що не бачить підстав очікувати збільшення кількості випадків лейкемії у населення, оскільки лейкемія виникає в більш короткий проміжок часу від опромінення у порівнянні із раковими захворюваннями, Урядовий науково-консультаційний комітет вивчення радіаційних ризиків внутрішнього випромінювання Великобританії (CERRIE, 2004) дійшов висновку, що аварія на ЧАЕС стала причиною збільшення ризику дитячої лейкемії серед постраждалого населення.

Не слід також забувати, що через надзвичайно високі дози опромінення майже одразу після катастрофи загинули пожежники та учасники ліквідації аварії. Крім того, медичний персонал, що займався їхнім лікуванням та робітники погребальних служб також зазнали впливу високих доз радіації на організм.

¹ В Білорусії, Росії та Україні було діагностовано біля 5000 випадків раку щитовидної залози у дітей віком до 18 років на момент аварії. (ВООЗ,2006)

Невідкладна медична допомога постраждалим від Чорнобильської катастрофи.

“Станом на 5 травня, через 10 днів після катастрофи, з надзвичайно тяжкою формою променевої хвороби до лікарні № 6 прибуло 172 постраждалих, з них 47 пожежників. Усі постраждалі мали значні опіки тіла, вони відчували сильний біль і майже не мали шансу на виживання. Не слід забувати про те, що увесь медичний персонал також зазнав високих доз радіаційного опромінення в процесі лікування постраждалих. Кожен зі співробітників приймальні, кімнат радіаційної дезактивації, лабораторій та контролю дозиметрів ризикували власним життям та здоров'ям при контакті з постраждалими та їхнім лікуванням. Нам, досвідченим радіобіологам, одразу стало зрозуміло, що деякі з наших пацієнтів просто не виживуть через надзвичайно високі дози опромінення у понад 1 000 рад, що призвели до глибоких внутрішніх радіаційних опіків та накопиченню радіоактивних матеріалів в організмі постраждалих. Тому при плануванні похорон ми мали обрати відповідні місця і врахувати необхідну глибину могил, щоб уникнути підвищення рівня радіації на поверхні захоронень у майбутньому. Крім того, було необхідно обладнати транспортні засоби таким чином, щоб швидко транспортувати тіла померлих, які б знаходились під захисним шаром для перешкоди радіаційного опромінення водіїв та радіаційного забруднення території від лікарні до кладовища” (Григор'єв, 2012). Проте, навіть за таких складних умов, завдяки відданій праці медиків протягом багатьох місяців та завдяки комплексному лікуванню вдалося врятувати життя багатьох постраждалих від високих доз опромінення (Григор'єв, pers com, 2012)

АЕС «Фукусіма-1»

11 травня 2011 року в результаті масштабного землетрусу в Японії, що спричинив величезні цунамі висотою від 5 до 10 метрів вздовж 100 кілометрової зони Японського океанічного жолоба, на південному узбережжі країни зупинили свою роботу 10 атомних енергоблоків. На момент землетрусу 1-ий, 2-ий та 3-ій енергоблоки атомної електростанції «Фукусіма-1» працювали на повну силу (Marshall та Reardon, 2011). Атомні станції, що згідно проекту могли витримати силу землетрусу максимум у 8.2 балів за логарифмічною шкалою Ріхтера, в той день отримали сейсмічний імпульс у 9-15 разів вищий за передбачуваний максимальний ліміт (Park, 2011). На момент аварії найбільший ризик становила 6-та активна зона ядерного реактора, в якій знаходилось 487 тон урану, 95 тон якого містив 6 % плутонію з МОХ-палива². Також тут знаходилось 1 838 тон відпрацьованого палива, в тому числі 1 097 тон в центральному водосховищі для охолодження (Large, 2011a).

На першій атомній електростанції «Фукусіма -1» резервні дизельні генератори забезпечували місцеву подачу електроенергії до охолоджуючих насосів реактора та інших важливих підрозділів трьох діючих АЕС, а саме, вони забезпечували охолодження ставків шостого реактора та центрального сховища відпрацьованого палива. (Brumfiel та Cyranoski, 2011). Ці автономні джерела живлення продовжували працювати трохи більш ніж годину поки ціла конструкція не була зруйнована 15-метровим цунамі, висота хвиль якого навіть збільшилась при зустрічі з конструкціями західної секції станції. В момент землетрусу в зоні станції з 4-ма реакторами три реактори працювали на повну силу, що призвело до поломки аварійної системи захисту в момент заповнення станції водою (Large, 2011b)³

2 Мох-паливо (англ. mixed oxide) – ядерне паливо, що використовується в реактор-розмножувачі (бридерному реакторі), складається з суміші оксидів плутонію та урану.

3 Згідно даних Японської Комісії по розслідуванню катастрофи, сила цунамі, що зруйнувало станцію, була вдвічі більшою ніж максимально очікувана за підрахунками організації Tokyo Electric Power Company (TEPCO), після якої охолоджуюча система могла б продовжувати працювати (The Investigation Committee, 2011).

Землетруси та цунамі в Японії

Вчені Minoura та ін. (2001) у своїх дослідженнях зразків з узбережжя поблизу Сендая дійшли висновку, що інтервал між цунамі становить приблизно 1 000 років, і що з моменту останнього масштабного цунамі, відомого в історії під назвою Jgan, минуло вже більш ніж 1 100 років, а тому вірогідність нового масштабного цунамі в долині Сендая є досить високою. Результати досліджень також показали, що цунамі, подібне по силі до цунамі Jgan, затопить сучасне узбережжя долини на 2.5 - 3 км вглиб. Вже після аварії на Фукусімі Науково-дослідницький Інститут землетрусів Токійського Університету опублікував дані, які свідчать про те, що ризик виникнення масштабних землетрусів в цьому регіоні значно підвищився після Великого Східного землетрусу в Японії в 2011 році. А це означає, що при розрахунку потенційного ризику для ядерної промисловості необхідно більше враховувати непередбачувану загрозу природного характеру, оскільки теоретичні та практичні засоби прогнозування землетрусу поки що не можуть в повній мірі гарантувати точність підрахунків (Park, 2011).

Електропостачання на АЕС було припинено через зупинку роботи автономних електростанцій, в результаті чого вийшли з ладу усі системи нормального та аварійного охолодження. Це зробило неможливим спостереження за критичними параметрами, такими як рівень води в реакторах та відкритих запасних клапанах, що і призвело до перегріву та пошкодження реактора (Buongiorno, 2011). Оскільки компанія Tokyo Electric Power Company (TEPCO) не змогла відновити електропостачання від зовнішніх та автономних джерел енергії, увесь комплекс АЕС «Фукусіма-1» залишився знеструмлений.

Знеструмлення означало те, що усі системи безпеки, за винятком пасивних елементів безпеки в глибині конструкцій, були пошкоджені. В першому реакторі почав підвищуватися тиск під дією пару, також підвищилась температура води, оскільки не працювали системи охолодження. Без достатнього охолодження через високу температуру води почав різко знижуватись рівень теплоносія та підвищуватись тиск гермооболонки. При цьому в результаті окислення цирконієвої оболонки в надбудову реакторного відділення потрапила велика кількість водню і вже через деякий час рівень тиску сягнув критичної відмітки і виникла загроза руйнування гермооболонки. Тоді оператори вручну відкрили клапани, щоб вивільнити накопичений пар в будівлю реактора. Цей випар з надзвичайно високим вмістом водню вибухнув, зруйнувавши будівлю реактора, при цьому вивільнивши продукти ядерного поділу та елементи відпрацьованого палива в атмосферу.

Подібна ситуація почала відбуватися на третьому та четвертому реакторах. На цей момент в будівлях реакторів та на території АЕС зафіксували підвищені рівні деяких продуктів ядерного поділу, а саме Cs-137 (Цезій-137) та I-131 (йоду-131), що були першою ознакою початку розплавлення активної зони реакторів (Butler, 2011). Наявність водню та летючих продуктів ядерного поділу у вивільненому парі свідчила про серйозні пошкодження в оболонці тепловиділяючого елемента в камері високого тиску реактора (Bonin та Slugen, 2011). Через кілька годин були доставлені резервні генератори та батареї, які частково відновили живлення АЕС, але яких було недостатньо для відновлення роботи охолоджувальних насосних станцій, тому замість стаціонарних були використані менші спеціальні пожежні насоси для подачі морської води з борною кислотою до активної зони ядерного реактора та його оболонки.

Через декілька годин в активних зонах трьох реакторів спостерігались різні рівні розплавлення ядерних паливних елементів реактора. Розплавлене паливо потрапило на дно камер тиску реактора, які, в свою чергу, вийшли з ладу. Крім того, була пошкоджена

первинна захисна оболонка системи зниження тиску. Все це означало лише подальше погіршення ситуації, що характеризувалася термальною активністю в будівлях реактора, підвищенням рівня радіації та тиску в тому, що залишилось від первинної захисної оболонки. Сумніви стосовно ефективності закачування води до реакторів та небезпека значного радіаційного забруднення води були пов'язані зі стратегією ТЕРСО по охолодженню за допомогою морської води, а також використання нетрадиційних заходів по охолодженню за допомогою гелікоптерів та брандспойтів протягом цілого тижня.

Викид радіації на АЕС «Фукусіма -1»: забруднення поза межами станції

Аварія на АЕС «Фукусіма-1» призвела до викиду більшої кількості радіації, ніж усі попередні аварії з часів катастрофи на Чорнобильській АЕС. За попередніми підрахунками Японська місцева влада оцінила катастрофу на 4 рівні згідно Міжнародної шкали ядерних подій (INES), з існуючим ризиком опинитися на 5-му, а може навіть і на 7-му рівні, що є еквівалентним рівню Чорнобильської аварії. Найбільше занепокоєння викликали продукти ядерного розпаду, які з легкістю проникають в організм людини, а також актиніди, які діють як отрута важкими металами. Цезій 137 (Cs-137) вважається найбільш шкідливим елементом, оскільки він з легкістю проникає в метаболічну систему людини, навколишнє середовище та сільське господарство.

Відповідно до попередніх повідомлених США вимірів на території площиною більш ніж 7 000 км навколо місця аварії містяться концентрації радіоактивного ксенону (Xe-133) в середньому 40 бекерелей на один квадратний метр (Bq/m³), що у більш ніж 40 000 разів перевищує нормальну концентрацію (Bowyer та ін., 2011). Крім того, в період з 28 березня по 7 квітня 2011 року зафіксовано високу концентрацію радіонуклідів (I-131, I-132, Te-132, Cs-134 and Cs-137) вздовж Піренейського півострова, що було виявлено в результаті зворотно-траєкторного дослідження і підтверджене об'ємною активністю (Lozano та ін., 2011). Підвищені рівні радіації також були зафіксовані у зразках повітря, опадів та овечого молока у Салоніках, Греція (Manolopoulou та ін., 2011). У квітні та у травні 2011 радіоактивні опади з вмістом радіонуклідів (Cs-134, Cs-137, I-131) були зафіксовані у пробах з навколишнього середовища в Красноярську, Росія, Центральна Азія. Подібний максимальний рівень вмісту елементів I-131, Cs-137/Cs-134 та I-131/Cs-137 міститься у пробах води в Росії та Греції, що свідчить про надзвичайно швидке пересування радіаційного забруднення, спричиненого катастрофою на Фукусімі по всьому світу (Болсуновський та Дементьев, 2011); за результатами російської системи моніторингу «Тайфун».

Система моніторингу «Тайфун»

В умовах розташування загрозливих промислових об'єктів поблизу великих міст існування систем моніторингу, попередження та реагування при виникненні аварій є дуже важливим, оскільки вони є ключовими елементами при ранніх попередженнях та здатні зменшити негативні наслідки від аварій для здоров'я людей та навколишнього середовища. Під час аварії на Фукусімі, організація «Тайфун», мережа моніторингу, пов'язана із Російською системою раннього попередження та реагування (REWERS), проводила дослідження та робила прогнози стосовно виниклої надзвичайної ситуації. Проведення моніторингу зробила можливим мережа станцій спостереження, обладнаних радіометричними лабораторіями, які надавали дані по пробам з навколишнього середовища. Ввечері 11 березня та 12 березня експертами організації «Тайфун» були зроблені перші підрахунки розповсюдження повітряних мас з Фукусіми, а саме мережа станцій спостереження «Ростідромет» на Далекому Сході отримувала проби і погодинно вимірювала рівень доз радіонуклідів. Протягом періоду ліквідації аварії на Фукусімі організація «Тайфун» співпрацювала з МАГАТЕ та Всесвітнім Метеорологічним Інститутом у проведенні підрахунків та визначення рівня радіоактивного забруднення за межами держави (Шершаков, 2011).

Японія: викиди радіації в результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1»

Викиди відпрацьованого палива створили серйозну загрозу для місцевих жителів через високу густоту населення поблизу пошкоджених реакторів. Одразу було вирішено провести евакуацію 100 000 осіб з прилеглих до Фукусіми територій, а пізніше Японська Комісія з Ядерної Безпеки (Japan's Nuclear Safety Commission) встановила нову 20-ти кілометрову зону, з якої були евакуйовані ще 90 000 осіб. У зв'язку із тим, що компанія ТЕРСО принаймні чотири рази спростовувала дані про виявлення радіонуклідів на території станції та поза її межами, а також поблизу самого реактора, таке спостереження за зруйнованою станцією визнали ненадійним і було вирішено провести повний аналіз на виявлення радіонуклідів на основі проб, узятих поза межами Японії (Nature, 2011a).

На розповсюдження радіаційних викидів вплинув напрямок вітру та власне вага самих частин. Основне занепокоєння вчених викликали радіонукліди йоду-131 (I-131), які напряду здатні викликати рак щитовидної залози; цезію-134 (Cs-134) та цезію-137 (Cs-137), вплив яких безпосередньо пов'язаний із захворюваннями на рак печінки та сечового міхура; стронцію, який здатен спровокувати захворювання кісткової тканини та лейкемію. До того ж не слід забувати про викид ізотопів плутонію в атмосферу, а також його осідання в ґрунтах північно-західних та південних територій у напрямку від АЕС «Фукусіма» (Zheng, 2012).

У вересні 2011 року за підрахунками Японської Агенції з ядерної та промислової безпеки (NISA) було встановлено, що АЕС «Фукусіма-1» вивільнила у повітря 15 000 терабеккерель (ТБк) цезію-137. Підрахунки інших організацій надають відмінні дані. Тим не менш, поки що може бути зарано точно визначити масштаби завданої шкоди та рівень радіологічних викидів (Suganosi та Brumfiel, 2011). Для проведення мета-аналізу були використані дані вимірів рівня радіації та відтворена модель можливого розповсюдження радіоактивних елементів в атмосфері (Stohl та ін., 2011). Вчені розглядали можливу версію про те, що в результаті катастрофи на «Фукусіма-1» в навколишнє середовище потрапило набагато більше радіації, ніж за підрахунками уряду Японії. Дійшовши висновку, що вивільнення радіації почалося раніше і відбувалося довше, ніж повідомили офіційні джерела, група дослідників заявила про набагато більший обсяг вивільненої радіації. З самого дослідження:

“На перший погляд, західний вітер, що тривав протягом всього часу катастрофи, був позитивним моментом в цій ситуації, проте наше дослідження доводить протилежне. 14 та 15 березня, а також 19 березня у період найсильніших викидів цезія-137 (Cs-137) утворена радіоактивна хмара пройшла над островом Хонсю, на поверхні якого внаслідок опадів опинилася велика кількість радіоактивного цезія-137. Згодом хмара розійшлася над усією Північною Півкулею, 15 березня досягнувши Північної Америки, а 22 березня – Європи. В цілому ж, попередні результати змодельованої та результати отриманої реальної концентрації радіоактивних ксенону-133 (Xe-133) та цезію-137 на території Японії та за її межами майже не мали розбіжностей. Взагалі, за нашими підрахунками 6.4 ТБк цезію-137, або 19 % від усіх його викидів до 20 квітня, осіли на території Японії, в той час як решта опинилася у Північній частині Тихого океану. І лише 0.7 ТБк, або 2% від усіх викидів потрапили на територію інших держав” (Stohl та ін, 2011, р. 28322).

Іншими словами, радіаційні викиди цезію-137 від аварії на «Фукусіма-1» цілком могли становити 3.5×10^{16} Бк, що принаймні вдвічі більше від офіційно повідомлених даних, 20 % з яких опинилися на території Японії. А це означає, що обсяг викидів цезію-137 в результаті аварії на АЕС «Фукусіма-1» становить 40% від викидів того ж цезію-137 від Чорнобильської катастрофи.

Станом на листопад 2011 року рівень радіаційного забруднення повітря в префектурі Ібаракі становив 0.14 мікросіверт/годину, дорівнюючи річній дозі на рівні приблизно 1 мілізіверт, що є максимально допустимою межею опромінення за нормальних умов (Ishizuka, 2011). 14 грудня 2011 року Міністерство Науки Японії оцінило кількість радіаційних опадів цезію в

районі Фукусіми протягом чотирьох місяців з моменту катастрофи 11 березня на рівні 6.83 МБк/м^2 – 94 % з яких випали в березні, одразу після аварії (Asahi Shimbun, 2011).

Через обмін іонів та, в першу чергу, через глинисту структуру ґрунтів в районі Фукусіми, радіоактивні опади швидко проникають у землю. А вже звідти радіоактивний цезій поступово потраплятиме у рослини у кількості, яку неможливо передбачити. Особливо сильне радіоактивне забруднення ґрунтів цезієм-137 ми спостерігаємо на значних територіях Східної та Північно-Східної Японії, в той час як Західна Японія постраждала відносно менше за рахунок оточення гірськими хребтами. Ґрунти поблизу АЕС «Фукусіма-1» та у сусідніх префектурах були надзвичайно забруднені радіоактивними опадами у більш ніж 100 000 та 10 000 МБк на кілометр квадратний (МБк/км^2) (Yasunaria та ін, 2011).

Відповідно, проведене у червні та липні дослідження у префектурі Фукусіми виявило 33 небезпечні зони з вмістом цезію-137 на рівні 1.48 МБк/м^2 , саме такий рівень забруднення було встановлено Радянським Союзом як вимогу для необхідності евакуації після Чорнобильської катастрофи. У інших 132 населених пунктах було знайдено поєднання елементів цезію-137/134 у кількості більш ніж 0.555 МБк/м^2 , тобто на такому рівні, коли Радянська влада оголосила про добровільну евакуацію громадян з заражених територій та заборонила займатися сільським господарством (Obe, 2011). Подальші звіти продемонстрували, що радіаційне забруднення присутнє на усій території Японії, а дані Міністерства Науки Японії свідчать про присутність радіоактивних опадів цезію-134 та цезію-137 у всіх префектурах, з найбільшою концентрацією цезію-134 та цезію-137 в районі міста Хітатінакі, що у префектурі Ібаракі на рівні 0.0408 МБк/м^2 , на другому місці по забрудненню 0.0226 МБк/м^2 знаходиться місто Ямагата, столиця префектури Ямагата, далі із вмістом 0.0174 МБк/м^2 йде особливий район Токіо Сіндзюку (Ishizuka, 2011).

Подальші звіти демонструють, що Міністерство захисту навколишнього середовища Японії визначило постраждалу від радіаційного забруднення зону загалом у приблизно $2\,400 \text{ км}^2$, до якої ввійшли префектура Фукусіми та чотири сусідні префектури, у верхньому шарі ґрунтів яких присутні в основному радіоактивні цезій-134 та цезій-137. З вищезгаданого стає зрозуміло, що ізотопи з коротким періодом напіврозпаду вже розклалися (Reuters, 2011).

Аварія на АЕС «Фукусіма-1» спричинила радіоактивне забруднення значних територій сільськогосподарських земель та лісового господарства, хоча і в менших масштабах, ніж Чорнобильська катастрофа. Знаходячись у ситуації відсутності територій для евакуації населення та в умовах обурення громадськості виниклою ситуацією, уряд Японії розпочав ряд проведення безпрецедентних зусиль по ліквідації наслідків аварії. За підрахунками Міністерства захисту навколишнього середовища Японії, на момент закінчення проведення ліквідаційних робіт залишиться $15\text{--}31$ мільйонів м^3 забруднених ґрунтів та залишків будівель (Bird, 2012). Загалом програма ліквідації наслідків аварії покриє територію у близько 500 км^2 , на яких рівень річної дози радіації становить 20 мЗв/рік , та близько $1\,300 \text{ км}^2$, де рівні радіації коливаються між 5 мЗв/рік та 20 мЗв/рік (МАГАТЕ, 2011a). Для того, щоб подолати такі рівні радіаційного забруднення, а також всупереч міжнародним стандартам радіаційного захисту, уряд Японії змушений був підняти максимально допустимий рівень опромінення до 20 мЗв/рік , що раніше становило максимально допустиму річну дозу лише для дорослих працівників АЕС, але ніяк не для загального населення, в тому числі для дітей та школярів.

З моменту аварії кількість радіоактивно забрудненої води на АЕС збільшилась з 10 000 тон до 100 000 тон, а також виникли проблеми із здатністю зберігати таку кількість води на станції (Reardon, 2011). За підрахунками Французького Інституту радіологічного захисту та ядерної безпеки у період з березня по липень 2011 року кількість радіоактивного цезію-137, що потрапив у Тихий океан з АЕС «Фукусіма-1», становила 27.1 мільйонів МБк, а це найбільша кількість, яка будь-коли потрапляла у світовий океан в результаті будь-якої аварії (Brumfiel та Cyranoski, 2011b).

Наслідки від катастрофи на АЕС «Фукусіма-1»

7 червня 2011 року уряд Японії заснував незалежний Комітет по розслідуванню аварії на АЕС «Фукусіма-1», власником якої є компанія ТЕРСО. У своєму попередньому звіті за грудень 2011 Комітет піддав критиці уряд та компанію ТЕРСО, дії жодного з яких виявились неефективними у вирішенні проблем щодо припинення подальших витоків радіації з АЕС поблизу узбережжя, де ситуація погіршувалась з кожним днем. В цьому попередньому звіті також зазначено, що реакція Японії на погіршення ситуації була незавчасною через пошкоджений зв'язок та через намагання приховати справжні цифри по викидам радіації на АЕС, що і завадило регулятивним органам ефективно спланувати рятувальні заходи (Investigation Committee, 2011).

Члени комітету Томоюкі Таїра (Tomoyuki Taira) та Юкіо Хатояма (Yukio Hatoyama), які до того ж є членами Палати Представників у Японському Парламенті, а Хатояма також обіймав посаду Прем'єр Міністра Японії з 2009 по 2010 рік, у своєму репортажі виданню Nature зазначили, що проведене розслідування показало *“відсутність ключових моментів у розвитку подій під час аварії... Найважливішою задачею наразі залишається з'ясувати, чи не сталося найгірше з очікуваного, а саме: чи не були знову запущені самостійні ядерні реакції в реакторі (чи не відбулося відновлення критичності ядерного реактора), що могло спричинити утворення ще більшої кількості продуктів ядерного розпаду та ще більший ступінь розплавлення самого реактора; чи були ті вибухи, що сталися на станції через декілька днів після землетрусу, ядерні за своєю природою, що вивільнили радіоактивні метали з пошкоджених паливних систем; чи не сталося витоків розплавленого ядерного палива через оболонку реактора, що становило б надзвичайну загрозу для навколишнього середовища”* (Tomoyuki та Hatoyama, 2011, стр.313).

Такі внутрішні суперечки не були окремим випадком, а саме тому відкрито постало питання про відносну незалежність японських інспекторів: *“Основним джерелом наукової інформації для уряду Японії стосовно аварії на АЕС «Фукусіма-1» були Агенція з ядерної та промислової безпеки (NISA) та Комісія з ядерної безпеки. Незважаючи на те, що ці організації мали б провести експертизу фізики ядерного реактора, вони мали безпосереднє відношення до ядерної індустрії, що само по собі створило конфлікт інтересів. В будь-якому випадку ці організації не були ефективним та швидким джерелом по прийняттю рішень з приводу ліквідації наслідків аварії чи у визначенні можливих ризиків для здоров'я населення”* (Nature, Editorial, 2011b).

Незважаючи на подібні труднощі, 16 грудня 2012 Прем'єр Міністр Японії Йосіхіко Нода (Yoshihiko Noda) зробив заяву про введення АЕС «Фукусіма-1» у стан холодного зупинення; факт холодного зупинення АЕС у своєму звіті також підтвердила організація МАГАТЕ (МАГАТЕ, 2011)⁴. Тим не менш, попри стабілізацію температури реактора, залишається цілий ряд невирішених питань, в тому числі стосовно стану та рівня ядерного палива, особливо актуально це питання постало після підтвердження побоювань з приводу можливого проникнення розплавленого палива через бетон першого блоку та пошкодження оболонки двох інших реакторів (ТЕРСО, 2012). Згідно даних ТЕРСО, для виведення АЕС з експлуатації разом із вирішенням проблем розплавленого палива у реакторі, видаленням пошкоджених паливних систем та ремонтом герметичних контейнерів знадобиться близько 40 років (ТЕРСО, 2012).

Згідно даних щомісячної переоцінки Міністерства Торгівлі, загальне використання ядерної енергетики Японії у процентному співвідношенні впало до 15.2 % у грудні 2011 у порівнянні з 67.9 % минулого року (Reuters, 2012), а після зупинки реактора у січні 2012 цей показник знизився до 10.3 % (Japan Times, 2012). Оскільки на початку 2012 року робота 54 реакторів у

⁴ Холодна зупинка реактора це підтримка реактора в стабільному стані із припиненням ядерної реакції та охолодженням нижче точки кипіння (95 °C) із збереженням нормального функціонування системи.

Японії була призупинена, а деякі з них було заплановано закрити, слід очікувати тривалої дискусії стосовно можливого поновлення їхньої роботи. Японія традиційно вважалася про ядерною країною, яка в 2010 році отримувала 30 % електроенергії від АЕС, але в світі останніх подій ринок атомної енергетики став менш привабливим, що в свою чергу стримало заплановане будівництво додаткових 14 реакторів до 2030 року (Crooks, 2011).

Проведення біомоніторингу та епідеміологічних висновків після аварії ще не закінчено, необхідним також є проведення масштабних підрахунків по різних факторам ризику для навколишнього середовища. У зв'язку із тим, що жителі з територій, підлеглих евакуації, почали розселятися по всій країні, необхідним залишається постійне довготривале медичне спостереження за жертвами катастрофи з урахуванням їхньої географічної розосередженості (Sugihara та Suda, 2011).

Вплив дії ядерної політики після аварії на АЕС «Фукусіма»

До аварії на АЕС «Фукусіма-1» більшість проектів по будівництву нових атомних станцій планувалося здійснити в Азії та Східній Європі, в планах також було розташування майбутніх реакторів вздовж Тихоокеанського сейсмічного регіону. В період з 2009 по квітень 2011 року було розпочато будівництво 9-ти станцій; реалізація цих проектів проходила за беззаперечної підтримки з боку держави, а також отримувала відкриті або приховані державні дотації.

Вартість ядерної енергетики

Основною проблемою атомної енергетики залишається висока вартість будівництва станцій (Davis, 2011). Проекти по спорудженню нових АЕС пов'язані з високим ризиком, оскільки будівництво таких об'єктів може бути призупинене або відкладене на значний термін, а сама вартість будівництва може зрости і створити загрозу для вкладених інвестицій (за даними аудиторської компанії КПМГ, 2011). Взнявши за основу досвід 52-х інвестиційних комунальних підприємств у США, які займалися будівництвом АЕС у 1960-2011 роках, Техаський Інститут у 2011 році дійшов висновку, що спорудження атомних електростанцій нерозривно пов'язане з економічним ризиком і у 70 % такі проекти потягнуть за собою збільшення вартості кредиту на будівництво через зниження кредитних ставок після початку спорудження станції, значне перевищення запланованого бюджету та підвищення тарифів на електропостачання. Атомні електростанції, які у всьому світі вважаються одними з найбільших та найскладніших інженерних проектів, становлять собою значні технічні та регулятивні ризики, оскільки за даними Всесвітньої Ядерної Асоціації (World Nuclear Association) будівництво більшості подібних проектів значно перевищує запланований бюджет, що означає можливість спорудження АЕС компаніями лише у випадку гарантування державою майбутнього прибутку від цих проектів (Thomas, 2010a). Вищезазначене також свідчить про те, що спорудження нових АЕС можливе лише за умови відкритих або прихованих державних дотацій, а також за умови підписання довгострокових угод на купівлю енергії (Professional Engineering, 2011).

З моменту аварії на «Фукусіма-1» кількість працюючих реакторів у світі зменшилась з 441 реактора на початку 2011 року до 435 реакторів на початку 2012 року із загальною потужністю усіх реакторів приблизно у 368 гігават (ГВт), що означає зменшення потужності ядерної енергетики приблизно на 10 ГВт, або на 3% від загальної потужності. Також значно зменшилось будівництво нових станцій з 15-ти у 2010 році до лише 2-х у 2011 році. Спорудження нових АЕС відбувається в Бразилії, Китаї, Індії та Росії. В Ірані щойно

завершене будівництво першого в країні атомного реактора. Нові замовлення на будівництво АЕС були оголошені у ОАЕ та США, а також заплановано проведення тендеру на будівництво станції у Південній Африці. Нові замовлення на спорудження атомних станцій продовжують з'являтися в Китаї, Індії, Кореї та Росії.

В Європі, Фінляндії та Франції на стадії завершення знаходиться будівництво нового Європейського реактору під тиском третього покоління (EPR) на станціях Олкілуото та Фламанвіль, що у Фінляндії. Парламент Фінляндії надав дозвіл компаніям Teollisuuden Voima (TVO) та Fennovoima (дочірнє представництво компанії E.ON) на спорудження приватних реакторів, що стануть шостим та сьомим реакторами у країні. У жовтні 2011 року компанія Fennovoima оголосила про те, що обрала общину Пухайокі, що на Півночі Фінляндії, в якості майбутнього розташування АЕС, будівництво якої заплановано розпочати у 2015 році. Урядом Сполученого Королівства, за виключенням Шотландії, було схвалено проект будівництва реакторів нового покоління у кількості до 8-ми станцій; у Болгарії розпочато детальне планування будівництва майбутнього реактора у м. Белене; у Румунії було випущено запланований тендер на будівництво АЕС; у Польщі державне підприємство PGE скоротило список трьох можливих розташувань своєї першої майбутньої атомної станції; наразі в Чехії планується зведення нових станцій, незважаючи на попередню необхідність зменшити обсяги запланованого будівництва атомної станції Темелін з п'яти до двох реакторів та ігноруючи протести Австрії стосовно розширення станції, що знаходиться на кордоні між двома країнами.

Попри попередні наміри Швеції щодо повної відмови від використання ядерної енергетики до 2010 року, 5 лютого 2009 року уряд країни відкрито оголосив про договір на заміну існуючих реакторів новими. Але цілком можливо, що аварія на АЕС «Фукусіма-1» могла змінити настрої населення, що раніше підтримували використання атомної енергетики, адже згідно даних опитування Globescan каналу BBC World Service у 2011 році 64 % шведів були проти зведення нових реакторів, в той час як 27 % населення підтримують таке будівництво. Подібною є ситуація в Іспанії, де попри відсутність планів на закриття старих або відкриття нових станцій громадський опір будівництву нових реакторів залишається дуже високим на рівні 55 %. Сполучене Королівство має найбільшу кількість прихильників стосовно використання ядерної енергетики, ніж будь яка інша європейська країна: 37 % населення висловили свою підтримку будівництву нових АЕС (за даними опитування Globescan).

Незважаючи на те, що Німеччина використовує близько 20 % усієї електроенергії в Європейському Союзі, у березні 2011 парламент країни прийняв рішення про закриття 7 з 18 діючих реакторів, а в липні того ж року проголосував за виведення з дії усіх реакторів та повне припинення використання ядерної енергії до 2022, натомість запланувавши фінансування розвитку відновлюваних джерел енергії, підвищення продуктивності енергії, створення мереж даної інфраструктури та проектів по створенню між кордонних гідроакумуючих електростанцій (ГАЕС), що може стати значним кроком у подальшому формуванні європейської енергетичної політики. У червні 2011 року в Італії було проведено референдум з питання необхідності заборони спорудження нових реакторів, в результаті якого 94 % населення підтримали дану пропозицію. А оскільки в референдумі взяли участь 55 % дієздатних виборців, то результати голосування мають стримуючу силу та накладають на уряд обов'язок виконання волевиявлення.

Через шість місяців після катастрофи на «Фукусіма-1» опір населення використанню атомної енергії у Швейцарії змусив уряд країни прийняти рішення поступово зупинити усі п'ять реакторів до 2034 року, а не проводити заміну на нові. Бельгія також оголосила про поступове припинення використання атомної енергії, хоча і не назвала точної дати початку закриття реакторів. А єдиний у Нідерландах реактор на АЕС «Борселе» працюватиме до 2033 року, якщо відповідатиме найвищим стандартам безпеки. Також слід зазначити, що на урядовій зустрічі у Відні міністри та керівники делегацій з Австрії, Греції, Ірландії, Латвії, Ліхтенштейну, Люксембургу, Мальти та Португалії разом із міністрами Кіпру, Данії та

Естонії дійшли висновку про несумісність ядерної енергетики з принципом сталого розвитку, оскільки ядерна енергетика не допомагає у боротьбі зі змінами клімату (Віденська Декларація, 2011).

До аварії на АЕС «Фукусіма-1» передбачалося, за прогнозами МАГАТЕ, що до 2035 року буде додано 360 ГВт до вже існуючої потужності ядерної енергетики, що є еквівалентом більш ніж 200 нових реакторів. Після катастрофи прогнозовані цифри зменшилися в два рази, що частково пов'язано зі збільшенням неприйняття суспільством ядерної енергетики, а також через зростаючу собівартість забезпечення ядерної безпеки та підвищення ставок по страховим виплатам для роботодавців у разі виробничих чи інших інцидентів (Leveque, 2011). Франція також встановила радикальні стандарти безпеки в галузі ядерної енергетики. Тим не менш, необхідні заходи по модернізації потребують високого технічного та матеріального забезпечення. За підрахунками французького департаменту з ядерної безпеки (ASN) вартість необхідних робіт на усіх 58 ядерних реакторах країни оцінюється у 10 мільярдів євро (Nature, Editorial, 2012).

Дослідження Західноєвропейської Асоціації з ядерних регулювань (WENRA) під назвою «Стрес-тестування», тобто випробування в ускладнених умовах, містить дані про націлений перегляд коефіцієнту безпеки атомних електростанцій в світлі останніх подій на АЕС «Фукусіма-1», також беручи до уваги події стихійного характеру, які можуть завадити роботі систем безпеки станції та призвести до катастрофи (WENRA Task Force, 2011). Але після того, як Європейська регуляторна група з ядерної безпеки (ENSREG, 2011) вирішила передати справу по дослідженню заходів безпеки іншій організації, після аварії в Японії подальше стрес-тестування 143 європейських ядерних реакторів не брало до уваги випадки загрози від повітряного нападу або ж терористичної атаки. Виключення цих опцій у перевірці безпеки лише підтверджує те, що, наприклад, усі ядерні об'єкти Великобританії цілком вірогідно знаходяться під загрозою від подібних факторів, що зазначені в Національній Стратегії Безпеки Великобританії (Уряд Великобританії, 2010).

Попри подальші плани будівництва нових АЕС у Фінляндії, Франції та Великобританії, загальні тенденції у Європі після катастрофи на АЕС у Японії свідчать про те, що встановлення обмежень на будівництво нових атомних станцій, що почалося ще в 2000 році і продовжує набирати обертів, а також зношення старих реакторів у поєднанні із рішенням Німеччини та деяких інших країн Європи про поступову відмову від використання такого виду енергії призведе до значного зменшення долі ядерної енергетики в електропостачанні після 2020 року. Згідно очікувань, особливі ставки в цій ситуації буде зроблено на максимальну продуктивність вже існуючих реакторів через продовження строку їхньої служби, їхньої модернізації та модифікації (Leveque, 2011; Coenen та López, 2010).

Майбутні енергетичні перспективи Європи представляють собою головні відмінності у країнах між державою та ринком, можливістю вибору та компромісу стосовно пріоритету попиту та пропозицій, передачею та вирівнюванням балансу інфраструктур (Schiellerup та Atanasiu, 2011). Попри культурні та економічні відмінності європейських держав, а також через наявність різних суспільної думки, технологічних структур, установ, регуляторної практики та структури енергетичної галузі, європейська ядерна політика пропонує відкриту та гнучку систему дій для того, щоб члени ЄС могли розвинути єдиний план дій з енергетичних питань. Так розвиток енергетики на основі нешкідливого на доступного вуглецю наразі залишається постійно зростаючим сектором економіки, що, крім іншого, має високий потенціал у створенні нових робочих місць (Andoura, 2010).

Культурне та політичне різноманіття в секторі енергетичного управління

Фінляндія: фінську культуру обговорення питань можна охарактеризувати як таку, де рішення приймаються у рівній мірі широкою громадою та політичними переговорами, але згідно закону та існуючих традицій одного разу прийняте рішення не може бути оскаржене або переглянуте. Таким чином зміна курсу прийнятого рішення означатиме втрату обличчя та самобутності. Відповідно, ядерна енергетика завоювала репутацію найдешевшого, найбезпечнішого та найнадійнішого виду енергії. Це можна пояснити, в першу чергу, тим, що у Фінляндії не траплялось жодної серйозної ядерної аварійної ситуації, а також високою надійністю фінських реакторів та їхнім високим коефіцієнтом міцності. Крім того, ці переваги доповнюються угодами, згідно яких великі підприємства важкої та деревообробної промисловості як акціонери компаній ядерної енергетики можуть закуповувати електроенергію по собівартості (Lehtonen, 2010a; Lehtonen, 2010b).

Німеччина: Рішення стосовно ядерної енергетики неможливо відділити від пріоритетного вибору енергетичної політики. Німеччина продемонструвала свою відданість обраному курсу пріоритетного використання відновлюваних джерел енергії, про що свідчить подвоєння об'ємів виробленої енергії від відновлюваних джерел у період з 1998 по 2003 роки, а також у період між 2003 та 2008 роками. Станом на 2010 рік відновлювані джерела енергії забезпечували 17 % від загальної кількості електроенергії, а також є потенціал збільшити цей процент принаймні до 35 % до 2020 року (Федеральне Міністерство екології, охорони навколишнього середовища та безпеки ядерних реакторів Німеччини, 2011). Інноваційна німецька практика включає перші зміни у сталих тарифах на підключення, введення так званих зелених тарифів (англ. Feed-in tariff) та масову закупівлю сонячних фотоелектричних батарей, що значно знизило попередню ціну на модулі. Енергетичні закупівлі також були розвинуті на місцях, коли місцеві політичні угоди сприяли можливості Федерального Уряду у впровадженні джерел відновлюваної енергії. Все це гарантує, що місцеві енергетичні ресурси та фінансові дотації, що надходять від клієнтів (через зелений тариф на підключення) або від платників податків (через дешеві займи, що забезпечує Державний банк розвитку [німецький державний банк KfW]) спрямовані на процвітання не лише енергетичних компаній, але й місцевих жителів, що гарантує покращення рівня життя та зменшення рівня безробіття в регіонах. Німецька без'ядерна політика підтримується та проводиться в контексті національної гідності та науково-технічного прогресу, а також у нерозривному поєднанні з невідпинним економічним розвитком: *“Як найбільш індустріалізована (європейська) країна, ми здатні досягнути значного перетворення у використанні раціональної та відновлюваної енергетики, що відкриває також нові можливості для експорту, розвитку нових технологій та ринку праці”* (канцлер Ангела Меркель, Gersman, 2011).

Ядерні зобов'язання

Враховуючи наслідки від будь-якої серйозної аварії, можна з певністю сказати, що ядерна енергетика несе суттєву загрозу життю людей, навколишньому середовищу та своєму власному існуванню у майбутньому. За приблизними підрахунками державних установ різних країн з початку 1990-х років по сьогоднішній день загальна сума витрат на подолання наслідків від аварії на Чорнобильській АЕС сягає сотень мільярдів доларів.

Нещодавні події у Фукусімі є лише підтвердження того, що аварії на реакторах АЕС становлять собою окремих, чи не найбільший ризик для ядерної індустрії, що перевищує усі разом узяті загрози з боку ринку, кредитування та експлуатаційних ризиків. Тому, можливо, вже не є дивним те, що сума ядерних компенсацій змінюється під впливом подій. Лише заміна електроенергії у 2011 році обійшлася Японії у 6.5 мільярдів євро (700 мільярдів єн), а виведення з експлуатації 6-ти реакторів коштувало країні 9 мільярдів євро (1 трильйон єн). 20 травня 2011 року компанія ТЕРСО оголосила суму видатків за фінансовий рік

(закінчується у березні 2011) у 11.5 мільярдів євро (1.25 трильйонів єн), що стало найбільшою сумою корпоративних видатків в японській історії, якщо не брати до уваги видатки підприємств фінансового сектору. Наприкінці першої половини 2011 року американський інвестиційний банк Bank of America Merrill Lynch повідомив про суму можливої компенсації у 93-102 мільярдів євро (10–11 трильйонів єн) з виплатою протягом наступних 2-ох років, тобто тут заборгованість набагато перевищує нинішню ринкову вартість (Maloney, 2011). Станом на вересень 2011 року заборгованість АЕС «Фукусіма-1» становила приблизно 76-152 мільярди євро, а за підрахунками Японського центру економічних досліджень для подолання наслідків катастрофи знадобиться ще 190 мільярдів євро в наступні 10 років (Kobayashi, 2011).

Станом на сьогодні заборгованість для компаній у випадку аварії на АЕС становитиме приблизно 169 мільйонів євро. Тим не менш, Паризька Конвенція з ядерної відповідальності третіх сторін та Брюссельська Конвенція (2011)⁵ мають на меті збільшити обсяги виплат, щоб гарантувати компенсацію постраждалим внаслідок аварій. Пропонується встановити виплату компенсацій компаніями-власниками у розмірі 700 мільйонів євро за аварію, а також вповноважити місцеву владу на утримання подальших компенсацій у розмірі максимум 500 мільйонів євро. Також у цьому випадку інші держави-сигнаторії могли б зробити внесок у 300 мільйонів євро, таким чином загальна сума виплат в результаті аварії могла б сягнути 1 500 мільйонів євро.

Тим не менш, за даними страхового аналізу, у разі масштабної аварії таке покриття видатків може виявитись недостатнім. У німецькій компанії Versicherungsforen Leipzig GmbH (2011), що спеціалізується на точних підрахунках, вважають попередні дані не зовсім вірними, оскільки страхові виплати на подолання наслідків ядерної аварії можуть підняти вартість ядерної енергетики до 2.36 євро за кіловат (кВ/год), а така ціна може послабити позиції ядерної енергетики на ринку у порівнянні з цінами на енергію з інших низько-вуглецевих джерел.

В будь-якому випадку, разом узяті обов'язкові виплати (6.09 мільярдів євро), що базуються на підрахунках від максимально можливих збитків з варіаціями та подальші регулярні страхові виплати в сумі набагато вищі за фінансові ресурси, якими за законом повинен володіти власник атомної станції. Проведене компанією Versicherungsforen Leipzig дослідження підтвердило, що у разі аварії сума необхідних страхових виплат набагато перевищуватиме фінансові можливості компанії. Таким чином, можна зробити висновок, що аварії на АЕС не підлягають страхуванню, оскільки доволі важко вирахувати та спрогнозувати можливість виникнення аварії, масштаби можливої шкоди та максимально можливий рівень збитків (Versicherungsforen Leipzig GmbH (2011)).

Стосовно того, що правила виплат є стимулом до попередження аварії, то фінансові обмеження по виплатах, в свою чергу, можуть стати причиною ядерного стримування, а в результаті обмеженості фінансових можливостей компаній ця потенційна додаткова функція стримування може виявитись неефективною. Фінансові обмеження по виплатах і подальші ядерні дотації також можуть стати причиною втрати прихильності до ядерної енергетики, бо такі видатки є просто необґрунтованими, особливо у порівнянні з іншими джерелами енергії (Faure M. та Fiore K., 2009).

Питання стосовно виплат за утворення ядерних відходів також залишається доволі гострим питанням, особливо в контексті палива глибокого вигорання для реакторів 3-го покоління.

⁵ Слід зауважити, що не всі країни ЄС підписали договір. Бельгія, Данія, Фінляндія, Франція, Німеччина, Італія, Нідерланди, Норвегія, Словенія, Іспанія, Швеція, Великобританія, Греція, Португалія та Туреччина підписали Паризьку Конвенцію по ядерній відповідальності третіх сторін та Брюссельську Конвенцію.

Паливо глибокого вигорання

В ході лібералізації енергетичного ринку ЄС відбулося усвідомлення того, що зниження вартості ядерної енергетики можливо за умови використання більшої кількості урану в якості ядерного палива разом зі збільшенням часу його затримки у паливному стержневі. А це означає, що реактори 3-го покоління з використанням палива глибокого вигорання будуть набагато радіоактивнішими, аніж реактори з конвенційним використаним паливом. Через 5 років після введення в експлуатацію, кожен квадратний метр використаного палива у запропонованих системою планування ресурсів підприємства (EPR) охолоджуючих ставках буде цілком спроможний виробляти 17 кВт тепла у порівнянні з 11 кВт від басейнів з конвенційним використаним паливом. Проте висока щільність розташування рейок управління подачею використаного палива у запропонованій моделі реактора AP 1000 компанією Westinghouse означає необхідність 24-36 кВт тепла для пересування палива на кожний квадратний метр. Скоріш за все, безпека тут залежатиме від ефективного та безперебійного переміщення значної кількості термальної енергії від палива високого вигорання, а в перспективі така система потребуватиме додаткових насосів, резервних систем електропостачання та водовідведення. Усі ці системи залишаються потенційно нестійкими до механічних та умисних пошкоджень. До того ж існує висока вірогідність того, що щільне розташування палива високого вигорання потребуватиме додаткових поглиначів нейтронів разом із підвищеним захистом від радіації під час інкапсуляції та зберігання (Richards, 2009).

Ядерні ризики: оцінка можливих ризиків та незапланованих інцидентів

Ключовим моментом при проведенні досліджень з ядерної безпеки є аналітична концепція оцінки можливих ризиків або дослідження по прогнозуванню безпеки. Оскільки результати оцінки можливих ризиків не сприймається як безумовна істина, а скоріш за все як показник деяких недоліків станції, тому інтерпретація концепції допустимих ризиків та задовільних умов відбувається з урахуванням можливого виходу обладнання станції з ладу. В такому контексті ризик виникнення аварії повинен бути прийнятним, а радіологічні наслідки повинні бути задовільними, де більшість виникаючих інцидентів нівелюється завдяки підвищеній стійкості до зовнішніх впливів через наявність вдосконаленої системи безпеки, закладеної у міцних спроектованих конструкціях. Проте система оцінки можливих ризиків є структурно доволі обмеженою у можливостях уявлення та фіксації результатів і наслідків аварії на АЕС, що сталася внаслідок цілої серії подій, як це було у випадку с аварією на АЕС «Фукусіма-1», а також попередніх аварій на станціях. Це означає, що відносно спрощена модель ряду подій не є достатнім показником у визначенні реальних нестандартних подій, характерних для аварій у комплексних системах. Таким чином, змодельовані стандартні випадки, неполадки загального характеру та залежні від них аварії виявились нез'ясованими частково через відсутність даних (оскільки серйозні аварії трапляються рідко) та через індивідуальні особливості кожної аварії на різних станціях (Ramana, 2009).

Більшість даних по однотипним аваріям, отриманих в результаті проведення оцінки можливих ризиків, можна пояснити через наявність окремих ідентичних, логарифмічно-нормальних розповсюджень аварій. Якщо при проведенні оцінки можливих ризиків зробити припущення стосовно надійності аварійної системи реактора та наявності його запасних частин, то вірогідність пошкодження реактора зазвичай залишається невисокою. У зв'язку із цим можна цілком виправдано піддати сумніву концептуальну та теоретичну цілісність, а також практичну надійність використання системи оцінки можливих ризиків. Частково це пов'язано зі схильності вищезазначеного метода до неврахування усіх можливих сценаріїв аварії, оскільки тут ступінь ризику визначається лише для певних станів реактора, а неврахування інших непередбачуваних подій не дає ясної картини ризику пошкодження самого реактора (Maloney, 2011).

Наприклад, до аварії на АЕС «Фукусіма-1» керівництво Японської регуляторної комісії з ядерних питань (2006), згодом оновлене у 2011 році, дійшло висновку, що *“міцні герметичні конструкції будуть здатні попередити можливі пошкодження від цунамі ... немає жодної небезпеки радіаційного забруднення”*. Після аварії голова та президент наукового комітету Європейської Асоціації з питань ядерної безпеки наголосив на тому, що *“сила цунамі, яке вразило Японію, була набагато більшою, ніж реактори могли витримати за планом”* (Bonin та Slugen, 2011). Ці звіти підводять нас до розуміння того, що відносна стійкість конструкції реактора до певних пошкоджень не дає гарантії безпеки у разі виникнення цілого ряду непрогнозованих подій, що можуть призвести до аварії. У випадку із Японією землетрус та каскад цунамі стали причиною падіння рівня використаного палива, до уваги не була прийнята необхідність реагування на поломки у трьох ядерних реакторах та басейнах з використаним ядерним паливом.

До подій у Фукусімі вірогідність серйозної аварії серед 440 реакторів у найближчі 20-25 років розглядалась як 1:100 000. Але після згаданої аварії ці показники можливого виникнення аварії значно збільшилися. Проте, ще й досі доволі проблематичним залишається прогнозування можливого розплавлення реакторів та подальшого радіаційного забруднення. За останні декілька десятків років, в результаті аварій на 4 реакторах у Чорнобилі та Фукусімі разом узятих, прогнози стосовно виникнення нових аварій у найближчі 20-25 років у всьому світі становлять 1:5 000. Таким чином, якщо згідно попередніх підрахунків вірогідність виникнення серйозної ядерної аварії становила один раз на 100 років, то за теперішніми прогнозами – раз у 20 років (Goldemberg, 2011). Така переоцінка ризиків використання ядерної енергетики була особливо відмічена у Німеччині, коли канцлер Ангела Меркель зазначила, що Фукусіма *“назавжди змінила наші уявлення про ризик”* (Schwägerl, 2011); Норберт Реттген, міністр з охорони навколишнього середовища у Німеччині, також висловив свою думку стосовно того, що Фукусіма *“звела нанівець математичне визначення ризиків ядерної енергетики своїм жахливим життєвим прикладом... Надалі ми не можемо дотримуватись ідеї про існування невеликих ризиків у ядерній енергетиці, оскільки ми стали свідками того, що загроза виникнення подібних катастроф цілком реальна, навіть у такому високотехнологічному суспільстві, як Японія”* (Schwägerl, 2011)

Важливим моментом є те, що Державна Консультаційна Рада Німеччини з охорони навколишнього середовища також погодилась з вищезазначеною критикою та дотримується думки, що: *“Широко розповсюджене твердження про можливість визначення приблизного рівня шкоди навіть від масштабних аварій ... стає все менш переконливим ... Той факт, що аварія сталася внаслідок процесу, впливу, якого не зміг витримати реактор... видає обмеженість системи технологічної оцінки можливих ризиків...що заснована лише на припущеннях, які зводяться нанівець реальністю”* (Консультаційна Рада з питань захисту навколишнього середовища, 2011b, стор.11).

Необхідний за нормами рівень надійності для такої складної структури, як атомна станція, є дуже високим (Regow, 1984), також до уваги необхідно брати різницю у схемах та конфігураціях діючих реакторів. У зв'язку зі складністю та фізичними станами під час роботи реактора, наше розуміння схеми та роботи реактора є відносно частковим. А враховуючи непрогнозований взаємозв'язок компонентів системи та зовнішніх факторів, ми просто не в змозі передбачити усі можливі варіанти виникнення аварій. Це означає, що числові підрахунки вірогідності масштабних аварій залишаються дуже ненадійними. Як зазначили у Комітеті з розслідування аварії у Фукусімі (2011, р. 22): *“Аварії надають нам важливі уроки стосовно підготовки до... непередбачуваних обставин”*.

Висновки

Через те, що наслідки впливу на здоров'я людей від аварії у Фукусімі почнуть з'являтися, скоріш за все, через 5-40 років, головним моментом наразі залишається усвідомлення багатосторонньої природи даної події. Варто також зрозуміти, що навряд чи нинішня система ядерної відповідальності є задовільною, а тому необхідність змін в даній системі є дуже важливим .

Тим не менш, допоки не з'явилося гучних розкриттів стосовно вразливості атомних станцій до непередбачуваних природних катастроф, таких як землетруси та цунамі, а також залежність їхньої безпеки від людського фактору та можливих інженерних похибок, з урахуванням нанесення навмисної або ненавмисної шкоди. Катастрофи природного характеру не можна спрогнозувати, а радіологічна катастрофа може стати ціною ігнорування цієї простої аксіоми. (Stirling, 2011).

Суттєвий рівень неточності та складності, притаманний навіть найбільш точним та детальним визначенням потенційного ядерного ризику, не дає нам чіткої картини стосовно можливих інцидентів, оскільки на перший погляд важливі теоретичні вирахування можуть ґрунтуватися лише на ряді припущень стосовно можливих загрозливих факторів. Вищезазначене не є якоюсь таємничою філософією, а досить практичним питанням із важливими висновками стосовно правильного визначення ризиків використання ядерної енергетики. Оцінка потенційних ризиків виявилась дуже обмеженою через свою нездатність передбачити можливий ризик від цілого ряду неочікуваних подій.

Невідкладну переоцінку цього підходу та встановлення його співвідношення з реальністю треба було б розпочати раніше. Але яким би не було співвідношення ризику та користі від використання ядерної енергетики, однозначним залишається питання необхідності включення потенційно можливих катастрофічних аварій до стратегічного та регуляторного процесу прийняття рішень. В контексті теперішньої бази знань з питань ризику використання ядерної енергетики в обов'язковому порядку необхідно буде переглянути регламент діючих реакторів разом із запропонованими розробками майбутніх реакторів.

Беручи до уваги розмір довгострокових інвестицій, наразі необхідних у можливих на вибір секторах: ядерної енергетики, палива на базі вуглецю, відновлюваних джерел енергії, енергетичної ефективності та збереження, мережі інфраструктури розвитку та балансування навантаження, зрозумілим стає те, що європейська спільнота повинна грати провідну роль у прийнятті подібних важливих, соціальних, природоохоронних та економічних рішень⁶. У цьому випадку цінності та інтереси суспільства є найголовнішим, а роль суспільного діалогу разом із практикою прямої участі є ключовими моментами у побудові взаєморозуміння між країнами, урядами, економіками та населенням Європи.

Посилання та джерела

Aghajanyan, A., Suskov, I. (2009): Trans-generational genomic instability in children of irradiated parents as a result of Chernobyl nuclear accident, *Mutat. Res.*, 671: 52-57.

Andoura S. (2010): Energy Co-operation under the Aegis of the Weimar Triangle: Springboard for a Common European Energy Policy, *Genshagener Papiere*, Nr. 3, December 2010, Genshagen Foundation.

ARCH (Agenda for Research on Chernobyl Health) (2010): The Health Consequences of the Chernobyl Accident, Technical Report: http://arch.iarc.fr/documents/ARCH_TechnicalReport.pdf

Asahi Shimbun (2011): Fukushima radiation 47 times higher than combined 45 prefectures, Dec 15 2011, Asahi Shimbun: <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201112150025>

⁶ Стратегічний контекст управління з прямою участю стосовно суспільного енергетичного майбутнього Європейського Союзу в рамках провідного стійкого розвитку, що проголошено в рамках Лісабонської Стратегії ЄС у 2000, 2005 та 2009 роках. Ці стратегії підтримуються та виконуються елементами законодавчої системи ЄС, а також Директивою з участі населення у проєктах та програмах по захисту навколишнього середовища, прийнятою у 2003 році Організацією Конвенцією про участь громадськості у процесі прийняття рішень та Директивою ЄС по стратегічному оцінюванню захисту навколишнього середовища.

Barber, R.C., et al. (2006) Radiation-induced trans-generational alterations in genome stability and DNA damage. *Oncogene*. 25:7336-7342.

Barnham K. (2011): Nuclear risks and the renewable alternatives, *The Guardian, Letters*, Wednesday 16 March 2011: <http://www.guardian.co.uk/environment/2011/mar/16/nuclear-risks-and-renewable-alternatives>

Baverstock, K. and Karotki, A.V. (2011) Towards a unifying theory of late stochastic effects of ionizing radiation. *Mutat. Res.*,718:1-9.

BBC Asia (2011): Radiation leak found outside Japan nuclear reactor, 28 March 2011: <http://www.bbc.co.uk/news/world-asia-pacific-12881015>

BBC World Service, Globescan (2011): Opposition to Nuclear Energy Grows: Global Poll, http://www.globescan.com/news_archives/bbc2011_energy/

Bernard Bonin, Chairman of the ENS High Scientific Council, Vladimir Slugen,ENS President (2011): Statement on the Japanese Nuclear Accident, European Nuclear Society.

BfS (German Federal Office for Radiation Protection) (2008): Unanimous Statement by the Expert Group commissioned by the Bundesamt für Strahlenschutz on the KiKK Study, Berlin, Germany 2007: http://www.bfs.de/de/bfs/druck/Ufoplan/4334_KIKK_Zusamm.pdf

BIER VII Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, US National Research Council (2006): Health effects of exposure to low levels of ionizing radiations, BEIR VII Phase 2, Washington.

Bird W. (2012): As Fukushima Cleanup Begins: Long-term Impacts are Weighed, 9 Jan 2012, Report, *Yale Environment 360*, Yale School of Forestry & Environmental Studies: [fukushima_cleanup_begins_long-term_impacts_are_weighed/2482/](http://www.yale.edu/forestryandenvironmentalstudies/fukushima_cleanup_begins_long-term_impacts_are_weighed/2482/)

Bonin B. & Slugen V. (2011): Statement on the Japanese Nuclear Accident, European Nuclear Society (ENS) High Scientific Council, European Nuclear Society.

Bowyer, T.W., Biegalski, S.R., Cooper, M., Eslinger, P.W., Haas, D., Hayes, J.C., Miley, H.S., Strom, D.J., Woods, V., (2011): Elevated radioxenon detected remotely following the Fukushima nuclear accident. *J. Environ. Radioact.* 102: 681-687.

Brumfiel, G., Cyranoski, D. (2011a): Quake sparks nuclear crisis. *Nature* 471: 273-275.

Brumfiel, G., Cyranoski, D. (2011b): Fukushima deep in hot water Rising levels of radioactive liquid hamper clean-up effort, 7 June 2011, *Nature*, 474: 135-136.

Brumfiel, G. (2011): Fallout forensics hike radiation toll: Global data on Fukushima challenge Japanese estimates, 25 October 2011, *Nature*, 478: 435-436.

Buongiorno J., Ballinger R., Driscoll M., Forget B., Forsberg C., Golay M., Kazima M., Todreas N., Yanch J. (2011): Technical Lessons Learned from the Fukushima-Daichii Accident and Possible Corrective Actions for the Nuclear Industry: An Initial Evaluation, Center for Advanced Nuclear Energy Systems, Nuclear Systems Enhanced Performance Program, MIT-NSP-TR-O25, Rev.1, 26 July 2011.

Bunn M. and Heinonen O. (2011): Preventing the Next Fukushima: Weak authority and largely voluntary standards limit global institutions' impact on nuclear safety and security, *Science, Policy Forum*, 16 Sept. 2011, Vol. 333: 1580-1581.

Butler, D. (2011): Radiation data from Japanese disaster starts to filter out, *Nat. News* 17 March 2011: [newscenter/news/tsunamiupdate01.html/](http://www.nature.com/newscenter/news/tsunamiupdate01.html/).

- Calmon, P., Thiry, Y., Zibold, G., Rantavaara, A., Fesenko, S., 2009. Transfer parameter Manolopoulou, M., Vagena, E., Stoulos, S., Ioannidou, A., Papastefanou, C. (2011): Radioiodine and Radiocesium in Thessaloniki, Northern Greece due to the Fukushima Nuclear Accident, *J. Environ. Radioact.*, 102: 796-797.
- Cardis E., Hatch M. (2011): The Chernobyl accident . an epidemiological perspective, *Clin. Oncol.*, 23 (4): 251-260.
- CERRIE (Committee Examining Radiation Risks of Internal Emitters) (2004): Report of the Committee Examining Radiation Risks of Internal Emitters, 2004, Crown Copyright, London.
- Chernobyl Forum (2006): 2003-2005 Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, Second revised version, IAEA, Vienna.
- Coenen L. and Diaz Lopez F.J.D. (2010): Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: and explorative study into conceptual commonalities, differences and Complementarities, *Journal of Cleaner Production*, 18: 1149-1160.
- Crooks E. (2011): Nuclear: Enthusiasm for reactor investment cools, *Financial Times*, September 28, 2011.
- Cyranoski D., & Brumel G (2011): Fukushima impact is still hazy, *Nature*. 2011, Sep 7: 477(7363): 139-40.
- Davis L.W. (2011): Prospects for Nuclear Power, National Bureau of Economic Research, Working Paper 17674, Dec. 2011, National Bureau of Economic Research, <http://www.nber.org/papers/w17674>
- DECC (Dept. of Energy and Climate Change) (2009): The Justification of Practices Involving Ionizing Radiation Regulations 2004: Consultation on the Secretary of State's proposed decisions as Justifying Authority on the Regulatory Justification of new nuclear power station designs known as the AP 100 and the EPR, London, The Stationary Office.
- DECC (Dept. of Energy and Climate Change) (2010): The Justification of Practices Involving Ionizing Radiation Regulations 2004: The Reasons for the Secretary of State's Decision as Justifying Authority, London, The Stationary Office.
- DECC (Dept. of Energy and Climate Change) (2011): Overarching National Policy Statement for Energy (EN-1), Planning for new energy infrastructure, July 2011, Presented to Parliament pursuant to section 5(9b) of the Planning Act 2008, London, The Stationary Office.
- EEA (European Environment Agency) (1999): Children in their Environment: vulnerable, valuable, and at risk. Background paper by David Gee for the WHO Ministerial Conference on Environment and Health, London, June 16-18 1999.
- EU (European Union) (2011): A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM/2011/0112 final, Brussels.
- Ethics Commission on a Safe Energy Supply (2011): Germany's Energy Turnaround, on behalf of Federal Chancellor Dr Angela Merkel, Berlin, 30 May, 2011.
- EDF (Electricite de France) (2012): The low-carbon credentials of nuclear power: <http://www.edfenergy.com/energyfuture/the-possible-solutions-climate-change/nuclear-and-the-solution-climate-change>

ENSREG (2011): EU Stress Tests specifications: <http://www.ensreg.eu/node/289> Evrard A-S., Hйmon D., Morin A., Laurier D., Tirmarche M., Backe J-C., Chartier M., Clavel J. (2006): Childhood leukaemia incidence around French nuclear installations using geographic zoning based on gaseous discharge dose estimates, *Br J Cancer*, 2006 May, 94(9): 1342–7.

Faure M.G. & Fiore K. (2009): An Economic Analysis of the Nuclear Liability Subsidy, *Pace Environmental Law Review*, Pace University.

Gersman H. (2011): UK's faith in nuclear power threatens renewables, says German energy expert, *The Guardian*, Monday 28 November, 2011: <http://www.guardian.co.uk/environment/2011/nov/28/nuclear-uk-renewable-energy>

Grigoriev Y.G (2012): Six first weeks after Chernobyl nuclear accident: Memoirs of an eyewitness, *The Environmentalist*, DOI: 10.1007/s10669-011-9384-z, Published On-line 29 Jan 2012: <http://www.springerlink.com/content/x86p73j6233t7021/>

Grigoriev Y.G. (2012): Personal communication to Paul Dorfman.

Goldemberg J. (2011): Oil Price: <http://oilprice.com/Alternative-Energy/Nuclear-Power/Have-Rising-Costs-and-Increased-Risks-Made-Nuclear-Energy-a-Poor-Choice.html>

Gunther B., Karau T., Kastner E-M., Warmuth W. (2011): Calculating a risk-appropriate insurance premium to cover third-party liability risks that result from operation of nuclear power plants, *Versicherungsforen Leipzig GmbH*, Commissioned by the German Renewable Energy Federation (BEE) Leipzig, 1 April 2011.

Hatch M., Ron E., Bouville, A., Zablotska L., Howe G. (2005): The Chernobyl disaster: cancer following the accident at the Chernobyl nuclear power plant, *Epidemiol. Rev.*, 27: 56-66.

HM Government (2010): A Strong Britain in an Age of Uncertainty: The National Security Strategy, Presented to Parliament by the Prime Minister, October 2010, Cm. 7953, Stationery Office, London.

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2000): *Climate Change and Nuclear Power*, IAEA, Austria.

IAEA (International Atomic Energy Authority) (2011a): Final Report of the International Mission on Remediation of Large areas Offsite the Fukushima Dai-ichi NPP, 7-15 Oct 2011, NE/NEF FW/2011, IAEA.

IAEA (International Atomic Energy Authority) (2011b): Fukushima Daiichi Status Report, 22 December 2011. <http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/statusreport221211.pdf>

IAEA (International Atomic Energy Authority) (2011c): Investigation Committee (2011): Interim Report, Investigation Committee on the Accidents at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company, December 26, 2011, IAEA.

ICRP (International Commission on Radiological Protection) (2005): Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk, *ICRP Publication 99*, *Ann. ICRP*, 35(4), ICRP.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)(2011): *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlumer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Investigation Committee (2011): Investigation Committee on the Accidents at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company, Executive Summary of the Interim Report, Provisional, December 26, 2011.
- Ishizuka H. (2011): Cesium from Fukushima plant fell all over Japan, November 26, 2011, Asahi Shimbun <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201111260001>
- Ivanov V.K., Gorsky A.I., Kashcheev V.V., Maksiutov M.A., Tumanov K.A. (2009): Latent period in induction of radiogenic solid tumors in the cohort of emergency workers, *Rad. Environ. Biophys.*, 2009, 48: 247-252
- Iwanaga M., Hsu W.L., Soda M., Takasaki Y., Tawara M., Joh T., Amenomori T., Yamamura M., Yoshida Y., Koba T., Miyazaki Y., Matsuo T., Preston D.L., Suyama A., Kodama K., Tomonaga M. (2011): Risk of myelodysplastic syndromes in people exposed to ionizing radiation: a retrospective cohort study of Nagasaki atomic bomb survivors, *J. Clin. Oncol.* 2011 Feb 1, 29 (4): 428-34.
- Jablon S., Hrubec Z., Boice J.D. (1991): Cancer in populations living near nuclear facilities, Report of a survey by researchers at the US National Cancer Institute, *Journal of the American Medical Association*, 265: 1403-1408.
- Japan Times (2012): Nuclear plant output falls to 10.3%, Saturday, Jan. 14, 2012, <http://www.japantimes.co.jp/text/nn20120114n1.html>
- Kaatsch P., Spix C., Schmiedel S., Schulze-Rath R., Mergenthaler A., Blettner M. (2007): Epidemiologische Studie zu Kinderkrebs in der Umgebung von Kernkraftwerken (KiKK-Studie). Zusammenfassung.
- Kaatsch P., Spix C, Schulze-Rath R, Schmiedel S and Blettner M (2008a). Leukaemia in young children living in the vicinity of German nuclear power plants, *Int. J. Cancer*, 122: 721–726.
- Kaatsch P., Spix C., Jung I. and Blettner M. (2008b). Childhood leukemia in the vicinity of nuclear power plants in Germany, *Dtsch. Arztebl. Int.*, 105: 725-732.
- Kadhim, M.A., et al. (1992) Transmission of chromosomal instability after plutonium alpha-particle irradiation, *Nature*, 355: 738-740.
- Kinlen L (2011). Childhood leukaemia, nuclear sites, and population mixing. *Br. J. Cancer*, 104: 12–18.
- Kobayashi T. (2011): Nuclear Generating Cost Treble Pre-Accident Level: Huge Price Tag on Fukushima Accident Cleanup, Japanese Centre for Economic Research, July 19, 2011.
- Kopytko N. & Perkins J. (2011): Climate change nuclear power, and the adaptation-mitigation dilemma, *Energy Policy*, Vol. 39, Issue 1: 318-333.
- Kostenko, T.A. (2005): Evolution of cardiovascular disorders in remote period after Chernobyl accident in children and adolescent evacuated from Zhitomir area, *Int. J. Rad. Med.*, 7: 1-4. http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDFS/7_2005/Kostenko.pdf
- KPMG (2011): Construction Risk in new Nuclear Power Projects - Eyes Wide Open, KPMG International.
- Large J (2011a): Fukushima: ‘Lessons Learned’ for Nuclear New Build: Implications for world-wide nuclear regulatory regimes – specific application to Europe and UK, Keynote Seminar, Westminster, Committee Room 11, London.

- Large J. (2011b): Update on the Nuclear and Radiological Situation at Fukushima Dai-ichi., R3197-AR1, 24 May 2011.
- Larsen, PR., Canand RA., Knudsen, K. (1982): Thyroid hypofunction after exposure to fallout from a hydrogen bomb explosion JAMA, 1982, 247: 1571-1574.
- Lehtonen M. a. (2010): Opening Up or Closing Down Radioactive Waste Management Policy? Debates on Reversibility and Retrievability in Finland, France, and the United Kingdom, Risk, Hazards & Crisis in Public Policy, 1: 4, Article 6.
- Lehtonen M. b. (2010): Deliberative decision-making on radioactive waste management in Finland, France and the UK: influence of mixed forms of deliberation in the macro discursive context, Journal of Integrative Environmental Sciences, Vol. 7, No. 3, September 2010: 175–196.
- Leveque F. (2011): Nuclear outlook in the EU by 2020 and beyond, Energy Policy Blog, June 18 2011:<http://www.energypolicyblog.com/2011/06/18/nuclear-outlook-in-the-eu-by-2020-and-beyond/#more-1983>
- Lorimore S.A, Mukherjee D., Robinson J.I., Chrystal J.A., Wright E.G. (2011): Long-lived Inflammatory Signaling in Irradiated Bone Marrow is Genome Dependent, Cancer Research 71: 6485-6491, Published OnlineFirst September 8, 2011.
- Lozano RL, Hernandez-Ceballos MA, Adame JA, Casas-RUHZ M, Sorribas M, San Miguel EG, Bolívar JP. (2011): Radioactive impact of Fukushima accident on the Iberian Peninsula: evolution and plume previous pathway, Environ Int. 2011 Oct; 37(7): 1259-64. E pub. 2011, Jun 16.
- Maloney S. (2011): Assessing nuclear risk in the aftermath of Fukushima, Energy Risk, 11 Jul, 2011.
- Marais K, Dulac N, Leveson N. (2004): Beyond normal accidents and high reliability organizations: the need for an alternative approach to safety in complex systems. Presented at MIT Eng. Syst. Symp. Mar. 29–31, Cambridge, MA.
- Manolopoulou, M., Vagena, E., Syoulos, S., Loannidou, A., Papastefanou, C., (2011): 213 Radioiodine and radiocesium in Thessaloniki, Greece due to the Fukushima 214 nuclear accident. J. Environ. Radioactiv. 102(8): 796-797.
- Marshall E.,&Reardon S. (2011):How Much Fuel Is at Risk at Fukushima? Science, 17 March 11: <http://news.sciencemag.org/scienceinsider/2011/03/how-much-fuel-is-at-risk-at-fukushima.html>
- McCarthy, M. (1997): Nuclear bomb test fallout may cause many US cancers, The Lancet, 1997, 350 (9075): 415.
- Minoura, K., F. Inamura, D. Sugawara, Y. Kono, T. Iwashita (2001): The 869 Jgan tsunami deposit and recurrence interval of large-scale tsunami on the Pacific coast of northeast Japan, Journal of Natural Disaster Science, Vol. 23, 2: 83-88.
- Mukherjee D., Coates P.J., Lorimore S.A, Wright E.G. (2012): The In Vivo Expression of Radiation-Induced Chromosomal Instability Has an Inflammatory Mechanism, Radiation Research, 177: 18–24.
- Nagasawa, H. and Little J.B. (1992): Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha-particles, Cancer Research, 52: 6394-6396.
- Nagataki S, Shibata Y, Inoue S, Yokoyama N, Izumi M, Shimaoka K. (1994): Thyroid diseases among atomic bomb survivors in Nagasaki, Radiation Effects Research Foundation, Nagasaki, Japan, Aug 3, 272(5): 364-70.

- Nagataki, S., Nystrom, E. (2002): Epidemiology and primary prevention of thyroid cancer *Thyroid*, 12(10): 889-896.
- Nature, Editorial (2011a): A little knowledge, *Nature*, 472: 135, 14 April 2011, Published online 13 April 2011:
http://www.nature.com/nature/journal/v472/n7342/full/472135a.html?WT.ec_id=NATURE-20110414
- Nature, Editorial (2011b): Critical Mass, *Nature*, December 2011, Vol. 480: 291:
<http://www.nature.com/nature/journal/v480/n7377/full/480291a.html>
- Nature, Editorial (2012): Get tough on nuclear safety: A refreshingly frank and forward-looking report on the safety of French nuclear power plants in the wake of Fukushima should spur other countries to take a hard look at regulation of their own reactors, *Nature*, 481: 113, 12 January 2012.
- NIA (Nuclear Industry Association) (2012): NIA challenges WWF and Greenpeace 'subsidy' claim, *Govtoday*:
<http://www.govtoday.co.uk/index.php/Nuclear-Energy/nia-challenges-wwf-and-greenpeace-subsidy-claim.html>
- Noshchenko A.G., Bondar O.Y., Drozdova V.D. (2010): Radiation-induced leukemia among children aged 0-5 years at the time of the Chernobyl accident. *Int. J. Cancer.*,15: 127(2): 412-26.
- Obe M. (2011): Japan Finds Radiation Spread Over a Wide Area, *Wall St. Journal Asia, Asia News*, August 31, 2011.
- Pacini, F., Vorontsova, T., Molinaro, E., Kuchinskaya, E., Agate, L., Sharova, E., Astachova, L., Chiovato, L., Pinchera, A. (1999): Radiation and thyroid autoimmunity., *Int J Rad Med.*, 3(3-4): 20-24.
- Paris Convention (2011): Protocols to Amend the Brussels Supplementary Convention on Nuclear Third Party Liability, No. 26, February, 2011.
- Park J (2011): Earthquake 9.0: What this magnitude might mean for Japan's future, *Bulletin of Atomic Scientists*, 16 March, 2011 <http://www.thebulletin.org/web-edition/features/earthquake-90-what-magnitude-might-mean-japans-future>
- Peplow M. (2001): Chernobyl's legacy: Twenty-five years after the nuclear disaster, the clean-up grinds on and health studies are faltering. Are there lessons for Japan? 28 March 2011, *Nature*, 471: 562-565.
- Perrow C. (1984): *Normal Accidents: Living With High Risk Technologies*. (Revised edition, 1999). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Perrow C. (2011): *The Next Catastrophe: Reducing Our Vulnerabilities to Natural, Industrial, and Terrorist Disasters*, 21 Feb 2011, Princeton University Press.
- Preston D.L., Shimizu Y. et al (2003): Studies of mortality of atomic bomb survivors: solid cancer and no-cancer disease mortality: 1950-1997, *Radiation Research*, Vol. 160: 381-407.
- Professional Engineering (2011): Questions over funding for nuclear expansion: Costs and risks associated with nuclear construction raise further questions, 3 October 2011, *Professional Engineering*: <http://profeng.com/news/questions-over-funding-for-nuclear-expansion>
- Rahu, M., Tekkel, M., Veidebaum, T., Pukkala, E., Hakulinen, T., Auvinen, A., Rytomaa, T., Inskip, PD., Boice, JD. (1987): The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: II Incidence of cancer and mortality, *Radiat. Res.*, 147 (5): 653-675.

- Ramana M.V. (2009): Nuclear Power: Economic, Safety, Health, and Environmental Issues of Near-Term Technologies, *Annual Review Environment Resources*, 34: 127-52.
- Reardon, S. (2011): Fukushima radiation creates unique test of marine life's hardiness, *Science*, 332: 292.
- Reuters (2011): IAEA experts to help in Japan nuclear clean-up, Oct 4, 2011.
- Reuters (2012): Japan Dec nuclear plant usage at 15.2% vs. 67.9% a year ago, Tokyo, Tue Jan 10, 2012. Reuters: <http://uk.reuters.com/article/2012/01/10/nuclear-japan-utilisation-idUKT9E7N702320120110>
- Richards H. (2009): Spent Nuclear Fuel - the Poisoned Chalice: A Paper for the Nuclear Consultation Group, March 2009: http://www.nuclearconsult.com/docs/information/waste/Spent_Nuclear_Fuel-the_Poisoned_Chalice.pdf
- Romanenko A.Y., Finch S.C., Hatch M., Lubin J.H., Bebesko V.G., Bazyka D.A., Gudzenko N., Dyagil I.S., Reiss R.F., Bouville A., Chumak V.V., Trotsiuk N.K., Babkina N.G., Belyayev Y., Masnyk I., Ron E., Howe G.R., Zablotska L.B. (2008): The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chernobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks. *Radiat.Res.* 170(6): 711-20.
- Schwagerl C. (2011): Germany's Unlikely Champion of a Radical Green Energy Path, *Yale Environment 360*, University of Yale, School of Forestry and Environmental Studies. http://e360.yale.edu/feature/germanys_unlikely_champion_of_a_radical_green_energy_path/2401/
- Sermage-Faure S., Laurier D., Goujon-Bellec D., Chartier M., Goubin A., Rudant J., Hemon D., Clavel J. (2012): Childhood leukemia around nuclear power plants French - the study GeoCAP, 2002-2007, *International Journal of Cancer*, Article Accepted (Accepted, unedited articles published online for future issues): http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=en&prev=/search%3Fq%3DIRSN%2BFrance%26hl%3Den%26client%3Dsafari%26rls%3Den%26prmd%3Dimvnsu&rurl=translate.google.co.uk&sl=fr&u=http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijc.27425/abstract&usg=ALkJrhgVSt12M1MuHvwTSJYqHNTk4EeDBQ
- Shershakov V., Kosyh V. (2011): Information Support System for Decision-making in Case of Emergencies Leading to Environmental Pollution: Its Development and Implementation in the Research and Production, *Association Typhoon, Roshydromet*.
- Shimizu, Y., Kato, H., Schull, WJ. (1991): Risk of cancer among atomic bomb survivors, *J. Rad. Res. Suppl.* 2: 54-63.
- Shimizu Y., Kodama K., Nish, N., Kasagai F., Suyama A., Soda M., Grant, E.J., Sugiyama H., Sakata R., Moriwaki H., Hayashi M., Konda M., Shore R.E. (2010): Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003., *BMJ*: 340: 5349.
- Spix C., Schmiedel S., Kaatsch P., Schulze-Rath R., Blettner M. (2008): Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980-2003. *Eur. J. Cancer* 2008, 44: 275-284.
- SRU (German Advisory Council on the Environment) (2011a): Pathways towards a 100% renewable electricity system: Summary for policy makers, SRU, Berlin.
- SRU (German Advisory Council on the Environment), Faulstich M., Foth H., Calliess C., Hohmeyer O., Holm-Müller K., Niekisch M. (2011b): Pathways towards a 100 % renewable electricity system, Special Report, Oct 2011, SRU, Berlin.

- Stirling A. (2011): Neglected Nuclear lessons, STEPS (Social, Technological and Environmental Pathways to Sustainability), University of Sussex: <http://stepscentre-thecrossing.blogspot.com/2011/03/japan-neglected-nuclear-lessons.html>
- Stohl A.P, Seibert G., Wotawa D., Arnold J. F., Burkhardt S., Eckhardt C., Tapia A., Vargas, Yasunari T. J. (2011): Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11: 28319-28394: www.atmos-chem-phys-discuss.net/11/28319/2011/doi:10.5194/acpd-11-28319-2011, Atmospheric Chemistry.
- Sugihara G, Suda S. (2011): Need for close watch on children's health after Fukushima disaster, *Aug*, 6:378 (9790): 485-6.
- TEPCO (Tokyo Electric Power Company) (2012): Current Status of Fukushima Daiichi and Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station, December 16, 2011, TEPCO. http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/images/f12np-gaiyou_e_2.pdf
- Yasunaria T.J., Stohl A., Hyanoc R.S., Burkhardt J.F., Eckhardt S., Yasunarie T. (2011): Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident, *PNAS* 2011 108 (49): 19530-19534; published ahead of print November 14, 2011.
- Texas Institute (2011): Impact of nuclear power projects on credit ratings and creditor recoveries following default of investor owned utilities sponsoring nuclear projects, Research Study, Sept. 1 2011, Texas Institute.
- Thomas S. (2010a): The Economics of Nuclear Power: An Update, Heinrich-Bull-Stiftung, Berlin: http://www.boell.de/downloads/ecology/Thomas_economics.pdf
- Thomas S. (2010b): Really, Mr Huhne, you should brush up on your French, Parliamentary Brief, Online, 1 September 2010: <http://www.parliamentarybrief.com/2010/09/really-mr-huhne-you-should-brush-up-on-your-french>
- Thomas S. (2010c): The EPR in Crisis, PSIRU, University of Greenwich: <http://www.psiru.org/publications?type=report>
- Thomas S. (2011): New thinking now needed for Nuclear: Public interest in Britain's plans for new nuclear power plants, Parliamentary Brief, Online, 04 April 2011: <http://www.parliamentarybrief.com/2011/04/new-thinking-now-needed-for-new-build-nuclear#all>
- Timoshevski A.A., Kalinina N.M., Grebenyuk A.N. (2011): The state of immunity in the liquidators of consequence of the Chernobyl accident with cardiovascular disease, *Radiates. Biol. Radioecol.*, 2011, 51(1): 178-184.
- Tomoyuki Taira T., Hatoyama Y. (2011): 'Nationalise the Fukushima Daiichi atomic plant: Only by bringing the nuclear power station into government hands can scientists find out what really happened', *Nature*, Comment, 15 December 2011, 480: 313-314.
- UNDP, UNICEF, UN-OCHA & WHO (2002): The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: A Strategy for Recovery, A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the support of UN-OCHA and WHO, 22 January 2002.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) (2008): Sources and effects of ionizing radiation, Vol. II, UN, Report to the General Assembly with Scientific Annexes, New York.

Vienna Declaration (2011): Declaration, May 25, 2011, Vienna, Ministers and Heads of Delegations of Austria, Greece, Ireland, Latvia, Liechtenstein, Luxembourg, Malta and Portugal, Lebensministerium.

Warren A. (2011): Thirty years on and still waiting for an answer: Why does Germany expect to cut electricity consumption while the UK foresees demand doubling? It's because the UK still hasn't done the analysis, The Warren Report, Energy in Buildings in Industry (EIBII), Feb 2011, p.12.

WENRA Task Force (2011): 'Stress tests' Specifications, Proposal by the WENRA Task Force, 21 April 2011.

WNA (World Nuclear Association (2012): Nuclear Energy and Climate Change, <http://www.world-nuclear.org/climatechange/>

WHO Expert Group (2006): Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes: Report of the UN Chernobyl Forum Health Expert Group, Editors Burton Bennett, Michael Repacholi and Zhanat Carr, World Health Organization, Geneva, 2006.

Yablokov A., Lablunska I., Blokov I. (Eds.) (2006): The Chernobyl Catastrophe - Consequences on Human Health: The difficult truth about the Chernobyl catastrophe: the worst effects are still to come, April 18, 2006, Greenpeace, Amsterdam.

Yablokov A., Vassily B., Nesterenko A.V. (2007): Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment, Annals of the New York Academy of Sciences, Annals of the New York Academy of Sciences.

Yamada M., Wong F.L., Fujiwara S., Akahoshi M., Suzuki G. (2004): Non-cancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958-1998, Rad. Res., 161/69: 622-632.

Yi-chong X. (Ed.) (2011): Nuclear Development in Asia, Problems and Prospects, Palgrave Macmillan, New York.

Yoshida K., Nakachi K., Imai K., Cologne J.B., Niwa Y., Kusunoki Y., Hayashi T. (2009): Lung cancer susceptibility among atomic bomb survivors in relation to CA repeat number polymorphism of epidermal growth factor receptor gene and radiation dose, Carcinogenesis, 30(12): 2037-2041.

Yoshimoto Y., Yoshinaga S., Yamamoto K., Fijimoto K., Nishizawa K., Sasaki Y. (2004): Research on potential radiation risks in areas with nuclear power plants in Japan: leukaemia and malignant lymphoma mortality between 1972 and 1997 in 100 selected municipalities, J. Radiol. Prot. 24; 343-368.

Zheng J., Tagami K., Watanabe Y., Uchida S., Aono T., Ishii N., Yoshida S., Kubota Y., Fuma S., Ihara S. (2012): Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident, Scientific Reports: <http://www.nature.com/srep/2012/120308/srep00304/full/srep00304.html>

WISE/NIRS Nuclear Monitor – Ядерний Монітор

Інформаційний центр з ядерної енергетики NIRS (Nuclear Information & Resource Service) був створений в 1978 році у Вашингтоні, США.

Всесвітня інформаційна служба з енергетики WISE (World Information Service on Energy) була створена у тому ж році у Амстердамі, Нідерланди.

NIRS та WISE об'єднали свої зусилля у 2000 році, створивши всесвітню мережу інформаційних та ресурсних центрів для громадян, екологічних підприємств, які занепокоєні ядерною енергією, радіоактивними викидами, радіацією та цікавляться питаннями відновлюваної енергетики.

“Nuclear Monitor”, англomовний бюлетень WISE/NIRS, публікує міжнародну інформацію 20 разів на рік.

„Ядерний монітор” українською мовою видає громадська екологічна організація „Еко клуб”. Бюлетень виходить біля 20 разів на рік, поширюється безкоштовно.

Контактна інформація:

електронна пошта: office@ecoclubrivne.org; сайт - www.ecoclubrivne.org

телефон: +38 0362 26 78 91 або 067 360 71 58

адреса офісу: вул. Л.Лісовської 5, м. Рівне; поштова адреса: а/с 73, 33023 Рівне, Україна

WISE International

P.O. Box 59636
1040 LC Amsterdam
The Netherlands
Tel: +31 20 612 63 68
Email: info@wiseinternational.org
Web: www.wiseinternational.org

NIRS

6930 Carroll Avenue, Suite 340
Takoma Park, MD 20912
Tel: +1 301-270-NIRS
(+1 301-270-6477)

Fax: +1 301-270-4291
Email: nirsnet@nirs.org
Web: www.nirs.org

NIRS Southeast

P.O. Box 7586
Asheville, NC 28802
USA
Tel: +1 828 675 1792
Email: nirs@main.nc.us

WISE Argentina

c/o Taller Ecologista
CC 441
2000 Rosario
Argentina
Email: wiseros@ciudad.com.ar
Web: www.taller.org.ar

WISE Austria

c/o atomstopp
Roland Egger
Promenade 37

4020 Linz

Tel: +43 732 774275
Fax: +43 732 785602

WISE Czech Republic

c/o Jan Beranek
Chytlalky 24
594 55 Dolni Loucky
Czech Republic

Tel: +420 604 207305
Email: wisebrno@ecn.cz
Web: www.wisebrno.cz

WISE India

42/27 Esankai Mani Veethy
Prakkai Road Jn.
Nagercoil 629 002, Tamil Nadu
India

Email: drspudayakumar@yahoo.com;

WISE Japan

P.O. Box 1, Konan Post Office
Hiroshima City 739-1491
Japan

WISE Russia

Moskovsky prospekt 120-34
236006 Kaliningrad
Russia

Tel/fax: +7 903 299 75 84
Email: ecodefense@rambler.ru
Web: www.anti-atom.ru

WISE Slovakia

c/o SZOPK Sirius
Katarina Bartovicova
Godrova 3/b

811 06 Bratislava

Slovak Republic
Tel: +421 905 935353
Email: wise@wise.sk
Web: www.wise.sk

WISE South Africa

c/o Earthlife Africa Cape Town
Maya Aberman
po Box 176
Observatory 7935
Cape Town

South Africa
Tel: + 27 21 447 4912

Email: coordinator@earthlife-ct.org.za
Web: www.earthlife-ct.org.za

WISE Sweden

c/o FMKK
Tegelviksgatan 40
116 41 Stockholm
Sweden

Tel: +46 8 84 1490
Fax: +46 8 84 5181

Email: info@folkkampanjen.se
Web: www.folkkampanjen.se

WISE Uranium

Peter Diehl
Am Schwedenteich 4
01477 Arnsdorf
Germany

Tel: +49 35200 20737
Email: uranium@t-online.de
Web: www.wise-uranium.org