



REAC/TS

Radiation Emergency

Assistance Center/Training Site

Коротка довідка – Радіація

Активність: Радіоактивні матеріали не вимірюються кількісними одиницями, з якими ми зазвичай знайомі, такими як фунт, унція, кілограм, куб.см, жменя тощо. Ми повинні використовувати одиниці активності для кількісної оцінки радіоактивних матеріалів. Активність - це спосіб виразити, скільки атомів розпадається за одиницю часу (наприклад, розпадів за секунду або хвилину)

- **Кюрі (Ci):** Кюрі еквівалентний $3,7 \times 10^{10}$ розпадів за секунду (dps) або $2,22 \times 10^{12}$ розпадів за хвилину. Зазвичай використовуються такі поділки, як мілікюрі (мКі, 0,001 Кі) і мкКі (0,000001 Кі). Один мкКі = $2,22 \times 10^6$ (2,22 млн) розпадів за хвилину. Ця одиниця найчастіше використовується в США.
- **Беккерель (Бк):** Міжнародна одиниця активності. Беккерель дорівнює одному розпаду за секунду.

ALARA: Система обмеження дози, яка заснована на підтримці доз опромінення настільки низькими, наскільки це можливо з урахуванням соціально-економічних факторів.

Альфа-частинка (α): Альфа-частинка — це позитивно заряджена частинка, що складається з двох протонів і двох нейтронів, що випускаються з ядр різних радіонуклідів. Приклади альфа-випромінювачів включають Am-241, Pu-239 і U-235. Альфа-частинки можуть бути зупинені візитною карткою і переміщуються лише на пару дюймів (~ 5 см) у повітрі.

Річний ліміт внутрішнього забруднення (ALI): ALI є нормативною межею для внутрішнього забруднення. Саме така кількість радіоактивного матеріалу, потрапляючи в організм, призводить до досягнення річної норми дозування. Дози ALI як для вдихання, так і для ковтання різних радіонуклідів можна знайти у Федеральному рекомендаційному звіті Адміністрації захисту навколишнього середовища (EPA) № 11. ALI є зручним стандартом, коли потрібно швидко оцінити величину потенційного внутрішнього забруднення.



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Бета-частинка (β): Бета-частинки — це негативно заряджені частинки, що виділяються з ядер різних радіонуклідів. Бета-частинка ідентична електрону. Приклади бета-випромінювачів включають Am-90, P-32 і H-3. Бета-частинки можуть пересуватись у повітрі на декілька метрів, залежно від їхньої енергії, від них можна захиститись кількома аркушами алюмінієвої фольги або тонкого пластику.

Посібник з клінічних питань: Відповідно до звіту NCRP 161, посібник з клінічних питань (CDG) має на меті надати критерій, який лікарі можуть використовувати, коли розглядають необхідність лікування заражених пацієнтів. Він не є нормативним документом.

Забруднення: Осідання радіоактивного матеріалу на поверхні. Людина може бути забруднена зовні (радіоактивний матеріал на одязі/шкірі) або всередині (радіоактивний матеріал всередині організму). Зауважте, що вас забруднюють не альфа-частки або гамма-промені, які випромінюються радіоактивним матеріалом, а сам матеріал. Очевидно, якщо ви маєте радіоактивний матеріал на або в собі, ви зазнаєте впливу іонізуючого випромінювання, що виділяється в результаті радіоактивного забруднення, і продовжуватимете піддаватися впливу, поки радіоактивний матеріал не буде видалено.

Критичність: Термін, що використовується для опису стану даної системи поділу, коли умови є такими, що кількість утворених нейтронів дорівнює числу нейтронів, які виходять із системи.

- **Підкритично:** Кількість утворених нейтронів менше, ніж кількість нейтронів, які виходять із системи.
- **Надкритично:** Кількість утворених нейтронів менше, ніж кількість нейтронів, які виходять із системи.

Дезактивація: Видалення або зменшення радіоактивних забруднень.



REAC/TS

Radiation Emergency

Assistance Center/Training Site

Похідний контрольний рівень (DRL): Термін REAC/TS (не нормативний). Обсяг забруднення в рані, який, ймовірно, призведе до досягнення нормативної межі дози (див. <http://orise.orau.gov/reacts/resources/radiation-accident-management.aspx>)

Детерміновані ефекти: Також називають нестохастичними ефектами. Вони засновані на пороговій дозі опромінення, нижче якої ефекту немає. Прикладом детермінованого або нестохастичного ефекту є еритема шкіри. Поріг еритеми становить приблизно 600 рад (6 Гр). Більш високі дози можуть призвести до інших ефектів.

~300 мбер	5 бер	300 рад	600 рад
- <u>Стохастичні ефекти</u> ➔		- <u>Детерміновані ефекти</u> ➔	
Фон - Річна порогова доза опромінення всього організму		Поріг епіляції	Поріг еритеми

Доза: Доза описує кількість енергії, внесеної в певну масу матеріалу (поглинена доза). Хоча це не ідеальна аналогія, це аналогічно тому, як хтось б'є вас по руці. Енергія відкладається, і там, де вона відкладається, може виникнути гостра біологічна реакція. Що стосується поглиненої дози, то вимірюють кількість енергії, яка відкладається через іонізуюче випромінювання. При оцінці потенційних ранніх детермінованих ефектів зазвичай звертають увагу на дозу.

- **Рад:** Одиниця виміру радіації, яка в основному використовується в Сполучених Штатах. Дорівнює 100 ергів енергії, вкладеної в 1 грам матеріалу. Ерг дорівнює 10^{-7} джоулям. Один рад дорівнює 0,01 Гр.
- **Грей:** Одиниця дози опромінення, використовується скрізь! Один Гр дорівнює 1 джоулю енергії, вкладеної в 1 кг матеріалу. 1 Гр дорівнює 100 рад. Для орієнтирів один джоуль дорівнює $6,2415 \times 10^{18}$ електрон-вольт (вся гамма-енергія, яка виділяється під час 2,5 трильйонів розпадів Со-60!), а одна кіловат-година дорівнює 3,6 мільйонів джоулів.



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Дозовий еквівалент (і еквівалентна доза - трохи відрізняється, але дуже схожа): Це біологічно зважений спосіб співвідношення дози опромінення за допомогою використання коефіцієнтів якості або вагових коефіцієнтів, які базуються на ризику стохастичних ефектів від різних випромінювань. Одиницями вимірювання дозового еквіваленту (і еквівалентної дози) є бер (США) та його міжнародний аналог,

Зіверт (Зв). Бер і Зв використовуються в основному в професійних умовах, де регулюючі питання пов'язані з управлінням ризиком, наприклад, ризиком розвитку раку в майбутньому. (Порогові дози для детермінованих ефектів значно перевищують нормативні професійні межі.) Бер = рад \times Q; Зв = Гр \times WR

- Коефіцієнт якості (Q) і радіаційний ваговий коефіцієнт (WR) пов'язують дозу опромінення з її відносною біологічною ефективністю. Це безрозмірна одиниця, яка позначає певний тип радіаційного потенціалу ефективності відкладання енергії та створення відповідного стохастичного ефекту. Для гамми Q = 1.

Потужність дози: Поглинена доза за одиницю часу

Опромінення: Міра кількості іонізації, що утворюється в повітрі. Одиницею вимірювання, що використовується в Сполучених Штатах, є рентген ($2,58 \times 10^{-4}$ кулона на кілограм). Міжнародна одиниця виражається в кулонах на кілограм.

Електрон: Негативно заряджені частинки, що обертаються навколо атомного ядра.

Поділ: Розщеплення атома на дві нерівні частини (уламки/продукти поділу) супроводжується великим виділенням енергії, більша частина якої зумовлена кінетичною енергією «уламків» поділу.

Період напіврозпаду: Період напіврозпаду (T1/2) радіоактивного матеріалу – це час, за який активність зменшується до $\frac{1}{2}$ початкового значення.



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

- **Фізичний період напіврозпаду:** Час, необхідний для розпаду радіоактивного зразка до половини його початкового значення.
- **Біологічний період напіврозпаду:** Час, який потрібен організму для видалення половини отриманого радіоактивного матеріалу без урахування фізичного розпаду.
- **Ефективний період напіврозпаду:** Поєднання фізичного та біологічного періоду напіврозпаду. Його можна характеризувати як добуток фізичного та біологічного періодів напіврозпаду, поділений на суму фізичного та біологічного періодів напіврозпаду.

Гамма-промені (γ): Гамма-промені – це електромагнітне випромінювання, що випромінюється ядрами різних радіонуклідів. Приклади включають Ir-192, Cs-137 і Co-60. Гамма-промені (γ) можна зупинити щільними матеріалами, такими як свинець. Вони можуть пересуватися на багато метрів у повітрі. Основна відмінність гамма-променів від рентгенівського випромінювання полягає в тому, що гамма-промені виникають всередині ядра, а рентгенівські промені виникають поза ядром. Для основних цілей радіаційного захисту вони по суті однакові.

Закон зворотних квадратів: Інтенсивність дози опромінення зменшується пропорційно квадрату відстані ($1/R^2$).

Іонізуюче випромінювання: Випромінювання, яке має здатність видаляти електрони з орбіти атома (іонізація). Не всяке випромінювання є іонізуючим (наприклад, видиме світло, радіохвилі та мікрохвилі)

Опромінення: Опромінення – це термін, який використовується для того, щоб позначити, що ви «перебуваєте в присутності» іонізуючого випромінювання. Ви зазнаєте впливу іонізуючого випромінювання так само, як і впливу світла. Так само, як коли ви піддаєтеся впливу світла, коли вас опромінюють, це не означає, що у вас є «частинки» і що ви можете передати їх іншим людям або речам. Ви зазнаєте радіації щоразу, коли проходитье комп'ютерну томографію або рентген грудної клітки.



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Ізотоп: Атоми з однаковою кількістю протонів, але різною кількістю нейтронів. Оскільки кількість протонів визначає елемент, ізотопи також можна визначити як атоми одного елемента з різною кількістю нейтронів (якщо ізотоп радіоактивний, його називають радіоізопопом, наприклад, Cs-134 і Cs-137)

LD50/60: Доза іонізуючого випромінювання, яка вбила б 50% групи, яка отримала б цю дозу протягом 60 днів без лікування. LD50/60 становить близько 400 рад.

Нейтрони: Нейтрони - це нейтральні частинки, які містяться в ядрах атомів. Вони можуть випускатися з ядер різних нестабільних радіоізопопів. Вони також грають важливу роль при застосуваннях дози в критичний момент. Нейтрони мають здатність робити інші речі радіоактивними.

Це називається нейтронною активацією.

Фотон: Квант енергії електромагнітного випромінювання. Гамма і рентгенівське випромінювання - це фотони.

Протони: Позитивно заряджені елементарні частинки, знайдені в ядрах атомів.

Радіація: Поширення енергії в просторі або іншому середовищі у вигляді електромагнітних хвиль або частинок.

Енергія випромінювання: Кожен розпад призводить до вивільнення енергії, яка може накопичуватися в її приймачі. Енергія, що накопичується, вимірюється в електрон-вольтах (eV). Якби ви прискорили один електрон через електроди дев'ятивольтової батареї, у нього було б 9 eV енергії для накопичення в цілі. Різні радіоізопопи випромінюють різні види радіації. Наприклад, Co-60 випромінює 2 гамма-промені, один з яких має ~1,17 мільйона eV (1,17 мегаелектронвольт, або MeV), а другий має ~1,33 MeV. Am-241 випромінює альфа-частинку приблизно 5,5 MeV і гамма-промені 60 000 електрон-вольт (60 кілоелектрон-вольт, або keV). Кожен з цих викидів здатний відкладати частину або всю їх енергію.



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Радіоактивний розпад: Зменшення активності кількості радіоактивного матеріалу шляхом розпаду його атомів. Елементи, які піддаються радіоактивному розпаду, називаються радіоактивними.

Радіоактивні матеріали: Радіоактивні матеріали - це матеріали, які випромінюють іонізуючу радіацію.

Питома активність: Причина, чому не можна використовувати традиційні одиниці вимірювання, такі як фунт і кілограм, полягає в концепції питомої активності. Вона пов'язує активність з одиницею маси матеріалу, тобто: Кі/кг, МБк/г тощо. На кожен грам Ir-192, наприклад, припадає 9640 ($9,64 \times 10^3$) Кі активності; на кожен грам U-235 припадає лише $2,1 \times 10^{-6}$ Кі.

Стохастичні ефекти: Ефект, при якому ймовірність ефекту, а не його сила, залежить від дози. Прикладом може бути спричинення раку. Ймовірність спричинення раку збільшується з дозою, але наслідки раку не є кращими чи гіршими через дозу опромінення, яка його викликала.

Рентгенівські промені: Проникаюча форма електромагнітного випромінювання, що випускається або коли електрони внутрішньої орбіти збудженого атома повертаються до свого нормального стану, або коли металеву мішень бомбардують високошвидкісними електронами (рентгенівський апарат). Рентгенівські промені завжди без'ядерні за походженням.



REAC/TS

Radiation Emergency

Assistance Center/Training Site

Перетворення одиниць вимірювання

Активність

1 терабеккерель	1 ТБк	27 кюрі
1 гігабеккерель	1 ГБк	27 мілікюрі
1 мегабеккерель	1 МБк	27 мікрокюрі
1 кілобеккерель	1 кБк	27 нанокюрі
1 беккерель	1 Бк	27 пікокюрі
1 кілокюрі	1 кКі	37 терабеккерелів
1 кюрі	1 Кі	37 гігабеккерелів
1 мілікюрі	1 мКі	37 мегабеккерелів
1 мікрокюрі	1 мкКі	37 кілобеккерелів
1 нанокюрі	1 нКі	37 беккерелів

Еквівалент дози (1 Зв = 100 бер, 1 бер = 0,01 Зв)

1 Зіверт	1 Зв	100 бер
1 мілізіверт	1 мЗв	100 мілібер
1 мікрозіверт	1 мкЗв	100 мікробер
1 нанозіверт	1 нЗв	100 нанобер
1 кілобер	1 кбер	10 зівертів
1 бер	1 бер	10 мілізіверт
1 мілібер	1 мбер	10 мікрозіверт
1 мікробер	1 мкбер	10 нанозіверт
1 мірокюрі	1 мкКі	37 кілобеккерелів
1 нанокюрі	1 нКі	37 беккерелів

Доза (1 Гр = 100 рад, 1 рад = 0,01 Гр)

1 кілогрей	1 кГр	100 кілорад
1 грей	1 Гр	100 рад
1 мілігрей	1 мГр	100 мілірад
1 мікрогрей	1 мкГр	100 мікрорад
1 кілорад	1 крад	10 грей
1 рад	1 рад	10 мілігрей
1 мілірад	1 мрад	10 мікрогрей
1 мікрорад	1 мкрад	10 наногрей
1 мірокюрі	1 мкКі	37 кілобеккерелів
1 нанокюрі	1 нКі	37 беккерелів



REAC/TS

Radiation Emergency

Assistance Center/Training Site

Перетворення одиниць вимірювання

Стандартні префікси для одиниць вимірювань

Кілька	Префікс	Символ
10^{18}	екса	Е
10^{15}	пета	П
10^{12}	тера	Т
10^9	гіга	Г
10^6	мега	М
10^3	кіло	к
10^2	гекто	г
10^1	дека	да
10^{-1}	деци	д
10^{-2}	центи	с
10^{-3}	мілі	м
10^{-6}	мікро	мк
10^{-9}	нано	н
10^{-12}	піко	п
10^{-15}	фемто	ф
10^{-18}	ато	а



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Річні ліміти внутрішнього забруднення (ALI) США для передбачуваних радіонуклідів

Емісія	Передбачуваний нуклід	Вдихання ALI (мкКі)	dpm
альфа	Am-241	0,006 -W	$1,3 \times 10^4$
бета	Sr-90	4 -Y	$8,9 \times 10^6$
гамма	Cs-137	200 -D	4.4×10^8

Перераховані найбільш обмежувальні значення ALI в FGR-11 (також перераховано клас розчинності).

Стандартні префікси для одиниць вимірювань

Нуклід	Вдихання, ALI (мкКі)	dpm
H-3	80 000 (пари H ₂ O)	$1,8 \times 10^{11}$
Co-60	30 -Y	$6,7 \times 10^7$
U-235, 238	0,04 -Y	$8,9 \times 10^4$
Pu-238	0,007 -W	$1,6 \times 10^4$
Pu-239	0,006 -W	$1,3 \times 10^4$
Cf-252	0,02 -W	$4,4 \times 10^4$

Перераховані найбільш обмежувальні значення ALI в FGR-11 (також перераховано клас розчинності).



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Річні ліміти внутрішнього забруднення (ALI) США для передбачуваних радіонуклідів

Ізотоп	На основі*	Слабкий	Помірний	Сильний	Завзятий
Co-60	ED	1,54E+08	1,54E+08	1,65E+08	2,01E+08
Sr-90	BS	2.20E+07	2.20E+07	2.25E+07	2.38E+07
Tc-99m	ED	2,00E+11	2,56E+11	9,33E+11	8,78E+11
I-131	Thy	7,06E+07	8,01E+07	1,26E+08	3,46E+08
Cs-137	ED	2,20E+08	2,20E+08	2,23E+08	2,34E+08
Ir-192	ED	4,49E+08	4,66E+08	6,21E+08	1,69E+09
U-235	BS	8.23E+05	8.23E+05	8.29E+05	8.46E+05
U-238	BS	8.55E+05	8.55E+05	8.63E+05	8.78E+05
Pu-239	BS	1.81E+03	1.81E+03	1.85E+03	1,92E+03
Am-241	BS	1,65E+03	1,65E+03	1.68E+03	1,74E+03
Cf-252	BS	5,14E+03	5,15E+03	5,75E+03	7,96E+03

Контрольна точка ED = 5 бер (очікувана)

Контрольна точка дози органу = 50 бер (очікувана)

*ED = ефективна доза, BS = поверхня кісток, Thy = щитовидна залоза



REAC/TS

Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site

Приблизні потужності дози від звичайних гамма-випромінювачів (одиниці США)

Радіонуклід/ Період напіврозпаду	Константа швидкості опромінення* (P-см ² /год-мКи)	f – factor*	Поверхня** (P/хв-Ки)	Потужність дози при глибині тканини 1 см*** (P/хв-Ки)	Потужність дози при глибині тканини 3 см*** (P/хв-Ки)
Co-60/5,26 р.	12,9	0,965	609	114	16,0
Cs-137/30,17 р.	3,43	0,962	113	28	3,7
Sr-192/74 дн.	4,60	0,964	180	43	5,5

*Константи швидкості опромінення та значення екранування свинцю для понад 1100 радіонуклідів (Сміт, Стабін – Фізика здоров'я – 2012)

*Насамперед через скупчення електронів у стінці капсули. Від Waller, et.al, плакат IRPA 13 (реферат 2350443)

***Із Звіту НКРЗ No 40 Додаток Б табл.6

Примітки: f-фактор: перетворення між швидкістю опромінення в повітрі та потужністю дози в тканину. Припускає геометрію точкового джерела

Приблизні дози від загальних гамма-випромінювачів (одиниці СІ)

Радіонуклід/ Період напіврозпаду	Константа швидкості експозиції* (mSv-см ² /hr-MBq)	f – factor*	Поверхня** (мЗв/хв-ГБк)	Потужність дози при глибині тканини 1 см*** (мЗв/хв-ГБк)	Потужність дози при глибині тканини 3 см*** (мЗв/хв-ГБк)
Sr-60/5,26 р.	3,48	0,965	164,6	30,8	4,3
Cs-137/30,17 р.	0,927	0,962	30,5	7,6	1
Sr-192/74 дн.	1,24	0,964	48,7	11,6	1,5

Константи швидкості опромінення та значення свинцевого екранування для понад 1100 радіонуклідів (Smith, Stabin – Health Physics –2012), перерахованих із звичайних одиниць вимірювання США, зазначених у довідковій літературі

*Насамперед через скупчення електронів у стінці капсули. Від Waller, et.al, плакат IRPA 13 (реферат 2350443)

***Із Звіту НКРЗ No 40 Додаток Б табл.6

Примітки: f-фактор: перетворення між швидкістю опромінення в повітрі та потужністю дози в тканину. Припускає геометрію точкового джерела



REAC/TS

Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site

Інформація для лікарів

Порогові значення ушкодження шкіри і гострі дози

Доза	Ефект	Час* (час після опромінення)
300 рад, 3 Гр	Епіляція	14-21 днів
600 рад, 6 Гр	Еритема	Рано, потім через 14-21 днів
1000-1500 рад, 10-15 Гр	Сухе лущення	2-3 тижня
1500 -2500 рад, 15-25 Гр	Вологе лущення	2-3 тижня
>2500 рад, > 25 Гр	Глибока виразка/некроз	Залежно від дози

При більш високих дозах час до появи ознак/симптомів може бути коротшим..

Пороги гострих променевиx синдромів

Доза	Синдром	ознаки/симптоми
0-100 rads, 0-1 Gy	Н/З	Зазвичай безсимптомний, потенційне незначне зниження лімфоцитів пізніше (близько 1 Гр)
>100 рад, > 1 Гр	Гемопоетичний	Анорексія, нудота, блювання, початковий гранулоцитоз і лімфоцитопенія
>6-800 рад, >6-8 Гр	Шлунково-кишковий	Рання сильна нудота, блювота, водяниста діарея, панцитопенія
>2000 рад, > 20 Гр	Нервовосудинний	Нудота/блювання протягом першої години, протрація, атаксія, сплутаність свідомості
>2500 рад, > 25 Гр	Глибока виразка/некроз	Залежно від дози

При більш високих дозах час до появи ознак/симптомів може бути коротшим.



REAC/TS

*Radiation Emergency
Assistance Center/Training Site*

Рекомендовані точки лікування – йодид калію*

Дорослі віком >40 років із впливом на щитовидну залозу ≥ 5 Гр (500 рад)	130 мг/добу
Дорослі віком від 18 до 40 років з опроміненням щитовидної залози $\geq 0,1$ Гр (10 рад)	130 мг/добу
Дорослі віком від 18 до 40 років з опроміненням щитовидної залози $\geq 0,1$ Гр (10 рад)	130 мг/добу
Діти та підлітки від 3 до 18 років із опроміненням щитовидної залози $\geq 0,05$ Гр (5 рад)	65 мг/добу
Немовлята віком від 1 місяця до 3 років з опроміненням щитовидної залози $\geq 0,05$ Гр (5 рад)	32 мг/добу
Новонароджені від – 1 місяця з опроміненням щитовидної залози $\geq 0,05$ Гр (5 рад)	16 мг/добу

*Див. Звіт NCRP 161 для більш детального обговорення використання та побічних ефектів. Додаткові інструкції можна знайти на веб-сайті Управління з контролю за продуктами і ліками за адресою:

<http://www.fda.gov/downloads/Drugs/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/Guidances/ucm080542.pdf>



REAC/TS

Radiation Emergency

Assistance Center/Training Site

Інші корисні довідкові сайти

Центр радіаційної невідкладної допомоги/навчальний центр (REAC/TS):

<https://orise.orau.gov/reacts>

Рання оцінка внутрішньої та зовнішньої величини дози (REAC/TS):

<https://orise.orau.gov/resources/reacts/documents/rapid-internal-external-dose-magnitude-estimation.pdf>

Пакувальні вкладиші (DTPA та Prussian Blue):

<https://orise.orau.gov/resources/reacts/radiation-countermeasures.html>

Управління радіаційною невідкладною медичною

допомогою: <https://www.remm.nlm.gov/>