



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. Каразіна
Кафедра прикладної хімії

Основи радіохімії та радіоекології

Тема 17

Захист організму від опромінення

доц. А.П. Краснопорова

2023

Захист організму від опромінення

Швидкий розвиток ядерної енергетики, випробування ядерної зброї, широке впровадження джерел іонізуючих випромінювань у різних галузях науки та господарської діяльності створило потенційну загрозу радіаційній небезпеці для людини та забруднення навколишнього середовища радіоактивними речовинами.

Тому питання захисту від іонізуючих випромінювань перетворилися на одну з найважливіших проблем сучасності.

Захист організму людини від впливу іонізуючих випромінювань – багатопланова проблема, що включає інженерно-технічні, санітарно-екологічні, радіаційно-гігієнічні та суто медичні аспекти.

Залежно від того зовнішньому або внутрішньому опроміненню піддається організм, вживаються відповідні заходи та захист, що знижують шкідливий вплив радіації.

Розрізняють фізичний та хімічний захист від ушкоджуючої дії зовнішнього іонізуючого випромінювання.

Фізичний захист від різних видів випромінювання при зовнішньому опроміненні

Радіаційний захист включає будь-які дії, створені задля зменшення ризику радіаційного поразки.

Від різних видів випромінювання передбачається різний захист, наприклад:

- від альфа-випромінювання – аркуш паперу, гумові рукавички, респіратор;**
- від бета-випромінювання – плексиглас, тонкий шар алюмінію, скло, протигаз;**
- від гама-випромінювання – важкі метали (вольфрам, свинець, сталь, чавун та ін.);**
- від нейтронів – вода, поліетилен та інші полімери.**

Фізичний захист від гама-випромінювання

Для обмеження зовнішнього променевого впливу застосовуються способи фізичного захисту, що ґрунтуються на використанні фізичних закономірностей:

- захист часом;
- захист відстанню;
- захист екрануванням;
- захист екрануванням;
- захист різними матеріалами.

Відомо, що між дозою D , часом опромінення, відстанню від джерела іонізуючого випромінювання (III) та його активністю існує наступна залежність:

$$D = \frac{K_{\gamma} \cdot A \cdot t}{r^2}$$

Захист екрануванням

Ослаблення інтенсивності вузького пучка гамма-випромінювання підпорядковується експоненційному закону:

$$D_l = D_0 e^{-\mu' l}$$

D_l – доза випромінювання за захисним екраном

D_0 – доза без екрана, l -товщина захисного екрана

$K = \frac{D_0}{D_l}$ – кратність ослаблення

Захист різними матеріалами

Таблиця – Захисні матеріали та товщина шару половинного ослаблення

№	Матеріал захисту	Щільність, г/см ³	Шар половинного поглинання, см	Маса 1см ² шару половинного поглинання, г
1.	Збіднений уран	19.1	0.2	3.9
2.	Свинець	11.3	1.8	12
3.	Сталь	7.8	2.5	20
4.	Бетон	3.3	6.1	20
5.	Злежався ґрунт	1.2	9.1	18
6.	Вода	1.0	18	18
7.	Деревина	0.6	29	16
8.	Повітря	0.001	1500	18

Хімічний захист від зовнішнього опромінення

Якби не був надійний протирадіаційний фізичний захист, ризик переопромінення людини завжди матиме місце, особливо за надзвичайних та аварійних обставин.

Трагічні події на Чорнобильській АЕС продемонстрували значення використання комплексного захисту, який поряд із методами фізичного захисту передбачає застосування засобів хімічного радіозахисту.

Вже досить давно відомі радіозахисні властивості деяких хімічних речовин, використання яких перед або під час опромінення запобігає появі первинних пошкоджень важливих молекул, тим самим знижуючи ефект шкідливого впливу іонізуючої радіації.

Радіопротектори

Речовини, які при введенні в організм перед опроміненням, знижують ступінь радіаційного ушкодження, називаються радіопротекторами або радіозахисними препаратами.

Завдяки радіопротекторам зменшується вихід радіаційно-хімічних перетворень клітинних структур.

При цьому знижується радіочутливість органів та тканин.

Пошук радіопротекторів особливо інтенсивно почав здійснюватися після атомного бомбардування міст Хіросіми та Нагасакі та провадився у двох напрямках.

У США пошуки радіозахисних засобів будувалися на основі розгортання широкого скринінгу препаратів.

У СРСР основна увага зверталася на отримання сполук, які б служили моделлю для вивчення залежності радіозахисного ефекту від хімічної структури речовини.

Такий підхід дозволив встановити ряд важливих закономірностей і зробити значний внесок у теорію хімічного захисту від іонізуючих випромінювань.

Класифікація радіопротекторів

Д.М. Гродзинского

Запропоновано кілька класифікацій радіопротекторів.

У більшості з них за основу взято принципи *хімічної будови* або механізму захисної дії.

Відповідно до Гродзинського, радіопротектори це речовини, що сприяють зменшенню радіаційного ефекту *за часом*, протягом якого вони мають *радіопротекторну дію*.

Ці речовини діляться на 3 групи:

1. Речовини, які ефективні при введенні *до опромінення* – *профілактичні радіопротектори*.

Ймовірно, ці речовини індукують процеси, що супроводжуються зростанням *радіостійкості клітин*.

2. Речовини, які активні лише тоді, коли вони присутні у *момент опромінення*.

Ці речовини є власне радіопротекторами, оскільки під їх впливом *інактивуються продукти радіолізу*, внаслідок чого зменшується вихід радіаційних пошкоджень макромолекул у клітинах.

3. Речовини, що сприяють зменшенню радіаційного ефекту після опромінення – *терапевтичні радіопротектори*.

Ці речовини сприяють пострадіаційному відновленню клітин.

Класифікація радіопротекторів

В.Г. Володимирова

В останні роки утвердилася класифікація, запропонована В.Г.Володимировим.

Відповідно до цієї класифікації всі радіопротектори поділяють залежно від термінів розвитку радіозахисного ефекту та тривалості захисної дії.

Відповідно до цієї класифікації радіопротектори поділяються на 2 групи: короткочасної та пролонгованої дії.

1. Короткочасні протектори це – радіопротектори або комбінація радіопротекторів, що мають короткочасну дію (в межах декількох хвилин або годин) призначені для одноразового захисту від гострого зовнішнього опромінення.

Основне призначення радіопротекторів короткочасної дії – захист організму від одномоментного та відносно нетривалого опромінення з досить високою потужністю дози (як індивідуальні засоби захисту при: ядерному вибуху, аварії, радіотерапії, для захисту космонавтів від сонячних спалахів).

Класифікація радіопротекторів

В.Г. Владимірова

2. Пролонговагі радіопротектори це – радіозахисні речовини тривалої дії призначені для більш тривалого підвищення радіорезистентності організму.

Ці препарати здатні забезпечити захист при тривалому у часі та фракціонованому опроміненні.

Тривалість захисту при одноразовому введенні радіопротекторів цього виду може становити від однієї доби до декількох тижнів.

Механізм дії цих препаратів здебільшого пов'язаний з активацією систем, що забезпечують підвищення загальної неспецифічної стійкості організму.

Практичне застосування цих протекторів можливе у професіоналів, які працюють з іонізуючим випромінюванням, у космонавтів та при тривалій радіотерапії.

Класифікація радіопротекторів (хімічні і біологічні)

Оскільки протектори короткочасно захисної дії найчастіше відносяться до речовин хімічної природи, говорять про хімічний радіозахист.

Тривала захисна дія виникає після введення в організм переважно речовин біологічного походження позначає біологічний радіозахист.

Вимоги до радіопротекторів короткочасної дії

Вимоги до радіопротекторів короткочасної дії повинні відповідати завданням використання їх як індивідуальних засобів захисту.

Ці вимоги такі:

- 1. Препарат повинен бути досить ефективним та не викликати виражених побічних реакцій;**
- 2. Діяти швидко (протягом 30 хв) та тривалістю (не менше 3 годин);**
- 3. Не повинен викликати навіть короткочасного негативного впливу на працездатність людини;**
- 4. Мати зручну лікарську форму: для перорального введення або ін'єкції об'ємом не більше 2 мл;**
- 5. Не повинен надавати шкідливої дії при повторному застосуванні або мати кумулятивні властивості;**
- 6. Не повинен знижувати резистентність організму до інших несприятливих факторів довкілля;**
- 7. Препарат повинен бути стійким при зберіганні та зберігати свої фармакологічні властивості не менше 3-х років.**

Групи радіопротекторів короткочасної дії

Залежно від хімічної структури, початкових етапів та механізму протипроменевого ефекту радіопротектори короткочасної дії поділяють на наступні групи:

- 1. Сірковмісні сполуки (меркаптоалкіламіни, або аліфатичні амінотіоли)**
- 2. Похідні індолілалкіламінів;**
- 3. Препарати, які порушують в організмі транспорт кисню або його утилізацію (азиди, ціаніди, нітрити).**

Найбільш високий ефект ці препарати дають при застосуванні у максимально переносимих або близьких до них дозах.

1. Сірковмісні радіозахисні речовини (Аліфатичні амінотіоли)

Сірковмісні радіопротектори відрізняються великою різноманітністю хімічної структури.

Беручи до уваги особливості фізико-хімічних та біологічних властивостей сірковмісних сполук, виділено два підкласи хімічних сполук, які охоплюють майже всі речовини, випробувані на протипроменеву активність.

Перший підклас складають сполуки, що мають вільні сульфгідрильні SH-групи.

Наявність сульфгідрильних груп визначає деякі характерні властивості цих речовин (легка окислюваність, взаємодія з металами).

До другого підкласу можна віднести сполуки, що мають замісники при атомі сірки. До цього підкласу можна включити радіопротектори наступних структур: ді- та полісульфіди, тіофосфати, похідні тіосірчаної кислоти, меркаптالی, тiazolidини.

1. Аліфатичні амінотіоли

1.1. Цистеамін

До найбільш важливих, з точки зору практичного застосування, відносять такі сульфгідрильні сполуки: цистеамін, цистамін, гаммафос, цистафос, і меркаптопропіонілгліцин (МППГ).

Розглянемо деякі з них.

1.1. Цистеамін. Цистеамін відноситься до аміноалкілтіолів, які мають сильно виражену фізіологічну дію.

На одному кінці молекули цистеаміну є сульфгідрильна група $---HS$, а на іншому, відокремленому двома атомами вуглецю – сильно основна аміногрупа $-NH_2$.

Такий тип будови суттєвий для прояву захисної дії.



1. Аліфатичні амінотіоли

1.2. Цистамін

1.2. Цистамін це меркаптоетиламін



Цистаміну гідрохлорид РС1 – радіопротектор швидкої дії. Це токсичний препарат. Цистамін показаний до застосування в осіб, які працюють з джерелами іонізуючих випромінювань тільки в такій явно аварійній ситуації, яка загрожує одноразовим опроміненням всього тіла в дозі 1 Гр.

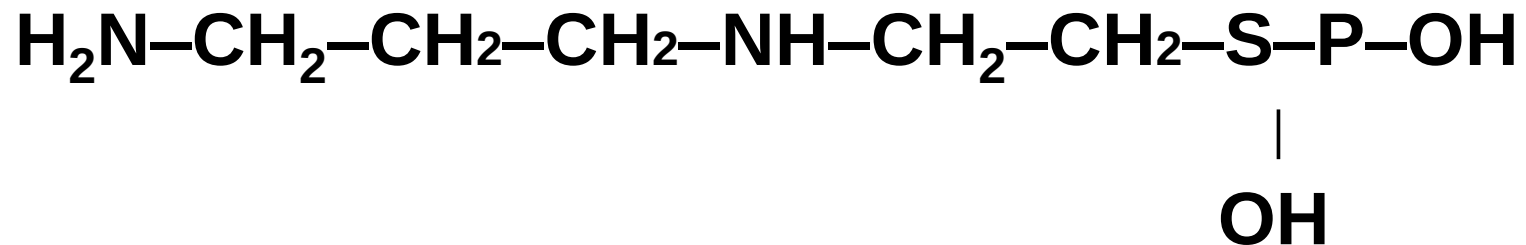
1. Аліфатичні амінотіоли

1.3. Гамафос.

Усі амінопохідні тіофосфорної кислоти менш токсичні ніж амінотіоли та меркаптоетиламіни.

1.3. Гамафос – є аміноалкілпохідною тіофосфорної кислоти, S-2-(3-амінопропіламіно) етиловий ефір тіофосфорної кислоти.

Його хімічна формула:

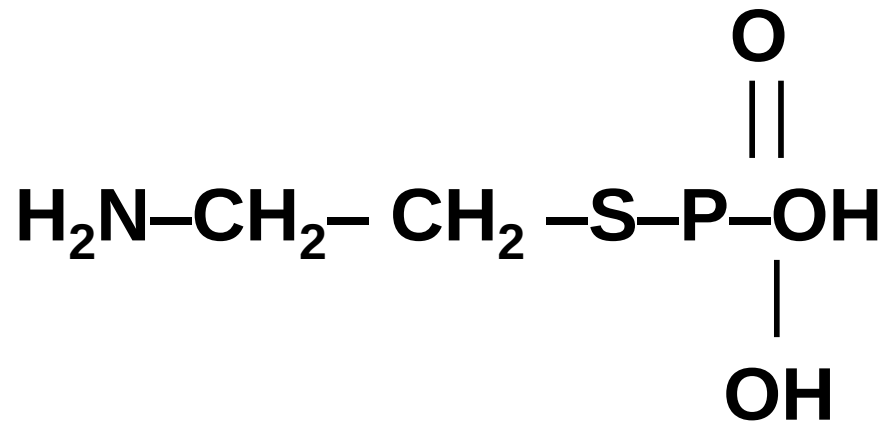


1. Аліфатичні амінотіоли

1.4. Цистафос

1.4. З групи похідних тіофосфорної кислоти велика увага приділяється захисній дії цистафосу (WR-638), S-2-аміноетилтіофосфорна кислота.

Цистафос особливо ефективний при нейтронному опроміненні (мишей).



Комбіновані амінотіоли

1.5. Цитрифос та

1.6. 2-меркаптопропіонілгліцин (МПГ)

1.5. Шляхом з'єднання цистеаміну з аденозинтрифосфатом (АТФ) було створено ефективний захисний засіб цитрифос.

Препарат є ефективним і у разі пролонгованого опромінення низької потужності.

1.6. Значний інтерес викликає 2-меркаптопропіонілгліцин скорочено МПГ.

Він є нетоксичною радіозахисною речовиною.

МПГ вважають, поряд з гамафосом, найперспективнішим із усіх сірковмісних радіопротекторів для клінічного застосування.

Механізми захисної дії сульфгідрильних протекторів

Протипроменева активність сірковмісних радіопротекторів визначається насамперед наявністю в їх структурі SH групи, яка легко вивільняється у фізіологічних умовах.

Щодо механізму радіозахисного ефекту сірковмісних сполук прийнятої загальної теорії нині немає.

На даному етапі вважаються можливими два механізми захисної дії сірковмісних сполук: радіаційно-хімічний та біохімічний:

1. Радіаційно-хімічний механізм дії сульфгідрильних протекторів:

1.1. Конкуренція за окислювачі та вільні радикали, що утворюються в результаті радіолізу води;

1.2. Обрив ланцюгових реакцій окиснення;

1.3. Утворення міцних комплексів з важкими металами.

2. Біохімічний механізм захисної дії сульфгідрильних протекторів

2. Біохімічний механізм захисної дії сульфгідрильних протекторів.

В даний час висунуто гіпотезу біохімічного захисту, згідно з якою механізм радіозахисної дії сульфгідрильних сполук полягає в так званому «біохімічному шоці».

Він полягає в тому, що сульфгідрильні сполуки у захисних концентраціях викликають у всіх живих організмах глибокі біохімічні порушення, що призводять до зміни нормального метаболізму.

При цьому зсув біохімічних процесів під впливом радіопротектора зумовлює підвищення стійкості організму до опромінення.

Недоліки сірковмісних радіопротекторів

1. Недоліком всіх сірковмісних радіопротекторів з числа низькомолекулярних сполук, включаючи тіофосфати, є малий термін радіозахисної дії.

Тому в умовах пролонгованого та фракціонованого опромінення виникає необхідність неодноразового застосування радіопротекторів.

2. Мають побічні токсичні ефекти.

2. Похідні індоліалкіламінів

Одне з перших місць за чисельністю та протипроменевою ефективністю поряд з аліфатичними сірковмісними препаратами займають гетероциклічні сполуки різної будови.

Інтерес до вивчення гетероциклічних похідних значною мірою пояснюється їхньою високою біологічною активністю.

Перевагою цих радіопротекторів є досить висока ефективність при використанні порівняно невеликих доз і швидкий розвиток захисного ефекту після введення в організм.

Вони менш токсичні, ніж сульфгідрилні сполуки.

Представниками цієї групи радіопротекторів є похідні індоліалкіламінів:

- серотонін та мексамін.

Обидві речовини – похідні триптаміну.

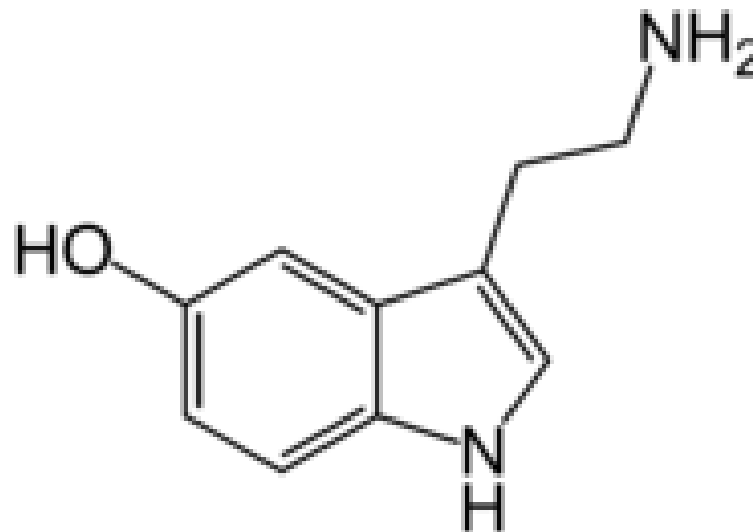
2.1. Серотонін

Серотонін (5-гидрокситриптамін).

Серотонін має амфотерні властивості.

У фізіологічних умовах поводить ся як луг і лише за $\text{pH} > 10$ виявляє властивості кислоти.

НЕДОЛІК. Через значну нестабільність його розчинів необхідно постійно готувати свіжі розчини серотоніну, оберігати їх від світла та високої температури.



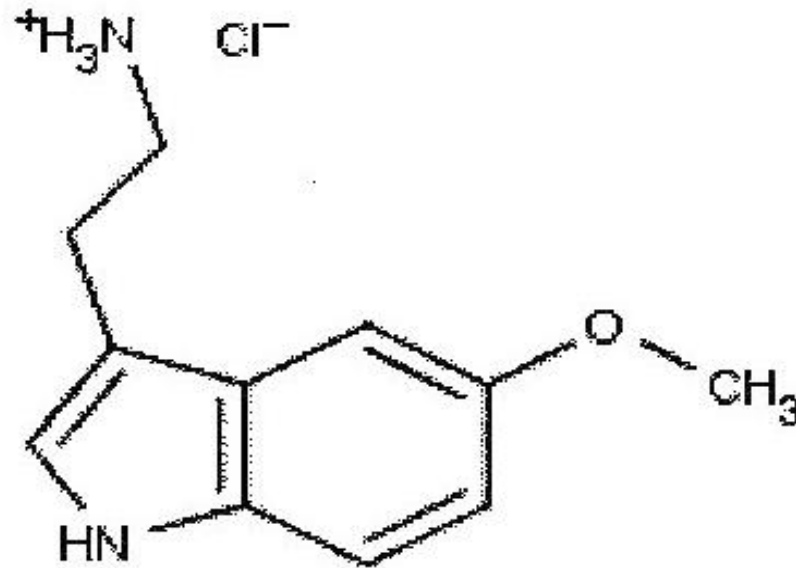
2.2. Мексамін

Мексамін є 5-метокситриптамін, скорочено 5-MOT.

Мексамін легко утворює солі.

Найчастіше застосовується гідрохлорид

5-метокситриптаміну. Це біла кристалічна речовина, добре розчинна у воді, з температурою плавлення 240–243 °С і молекулярною масою 226,72.



Механізми захисної дії похідних індолілалкіламінів

Від впливу гамма-променів індолілалкіламіни захищають, приблизно, так само як і сірковмісні радіопротектори.

Похідні індолілалкіламінів підвищують радіорезистентність тканин та всього організму головним чином завдяки розвитку гіпоксії внаслідок судинозвужувальної фармакологічної дії серотоніну та мексаміну.

3. Сполуки, що порушують транспорт та утилізацію кисню

Досить ефективними радіопротекторами крім сульгідпильних сполук та похідних індолілалкіламінів є багато сполук-відновників: аскорбінова кислота, адреналін, гістамін, нітроти, азида, ціаніди.

Радіозахисний ефект перерахованих сполук пов'язаний з гіпоксією клітин та тканин та порушенням процесів утилізації в них кисню.

Препарати короткочасної дії та їх застосування для протипроменевого захисту людини

Існують 2 способи застосування препаратів короткочасної дії.

1 спосіб – введення перорально.

Способом виявлення захисного ефекту у людей є введення досліджуваного протектора перорально у передбачуваний ефективній дозі перед локальним опроміненням.

У США застосовується гаммафос. Це найефективніший радіопротектор.

У Росії з метою зменшення небажаних пострадіаційних ефектів дозволено цистамін для клінічного застосування при радіотерапії.

Іншим радіопротектором, який застосовується в Росії, є гідрохлорид мексаміну.

Усі ці препарати мають побічні токсичні ефекти.

2 спосіб – введення внутрішньом'язово (гаммафос).

У Японії 2-меркапто-пропіонгліцин (МПГ).

Побічні ефекти не виявлено.

Біологічний радіозахист (речовини пролонгованої дії)

Недоліки існуючих нині хімічних радіопротекторів – це побічні токсичні ефекти та обмеження тривалості їх дії 1–4 години, послужили основою дослідження радіозахисних властивостей нетоксичних речовин біологічного походження.

Механізм їх протипроменевої дії принципово відрізняється від механізму дії препаратів короточасного впливу.

Ці препарати підвищують загальну стійкість організму та опірність до інфекції

До таких препаратів відносяться: бактеріальний ендотоксин, полісахариди, метилтестостерон, фітоуреаза (білковий фермент), кип'ячене коров'яче молоко (ін'єкції), солкосерил, поліфлавін, женьшень, екстракт гречіхи, калієва та магнієва солі аспарагінової кислоти, альгінати, пектин, сульфат декстрину, латекс, глікоген, полістирол (внутрішньовенно).

Застосування препаратів пролонгованої дії

Препарати біологічного радіозахисту мають низку загальних властивостей:

- Захисна дія засобів біологічного захисту порівняно з хімічними радіопротекторами виражена значно слабше.**
- Вони виявляються неефективними, якщо речовина вводиться безпосередньо перед опроміненням.**
- Для прояву захисного ефекту препаратів, як правило, потрібне їх введення протягом однієї або більше доби до опромінення.**
- Так як більшість засобів і методів біологічного захисту стимулюють кровотворну активність, вони можуть бути перспективними при хронічному опроміненні дозами, нижчими від летальних.**
- Практичне застосування протекторів біологічного захисту можливе у професіоналів, що працюють з іонізуючим випромінюванням, у космонавтів та при тривалій радіотерапії.**

Захист від внутрішнього опромінення

Для захисту людини від внутрішнього опромінення потрібне вжиття заходів, що виключають можливість потрапляння радіоактивних речовин в організм у кількостях, що перевищують гранично допустимі.

Гранично допустимі кількості радіонуклідів безпосередньо пов'язані з гранично допустимими концентраціями радіоактивних речовин у повітрі, воді і на поверхні підлог, стін і обладнання у виробничих приміщеннях.

Заходи запобігання внутрішнього опромінення

Весь комплекс заходів у сфері захисту від внутрішнього опромінення реалізується у двох напрямках:

1. Зменшення забруднення будь-якого з харчових ланцюгів, що ведуть до надходження радіонуклідів усередину організму.

До таких заходів відноситься застосування прийомів, що зменшують рухливість радіонуклідів у системі ґрунт – рослина.

НАПРИКЛАД:

Зняття забрудненого шару землі, внесення добрив, вапнування (у кислому середовищі радіонукліди переходять у розчинний стан). Органічні добрива збільшують сорбційну ємність ґрунтів, при цьому вони перешкоджають надходженню в рослини ^{90}Sr , ^{137}Cs , і ще ^{106}Ru , ^{60}Co ; ^{144}Ce ;

2. Введення в сівозміну толерантних культур або культур, що вибірково накопичують певний радіонуклід (люпин, люцерна, конюшина, горох, віка – ^{90}Sr -Ca – кальціофільні; люцерна, капуста, перець, картопля, буряк калієвофільні – ^{137}Cs).

Мета другого напрямку – профілактика та терапія уражень радіонуклідами в результаті їх потрапляння у внутрішнє середовище організму або на поверхню тіла.

Медична допомога

1. Механічне видалення – промивання шлунку, введення сорбентів, комплексоутворювачів.
2. Введення радіопротекторів (антиоксидантів, речовин, що знижують ефект біологічної дії опромінення).
3. Прискорення виведення інкорпорованих радіонуклідів за допомогою різних препаратів. Такі препарати поділяються на два класи:
 1. Сполуки, що прискорюють виведення радіонуклідів, депонованих в органах та тканинах.
 - а). Нерадіоактивні аналоги – конкуренти (препарати йоду-аналогу ^{131}I , препарати калію-аналогу ^{137}Cs та кальцію-аналогу ^{90}Sr). Багато з цих елементів входять до складу харчових продуктів: кальцій – сир, перець, кабачки, кріп; калій – у баклажани, горошок, картопля, помідори, буряки.
 - б). Комплексоутворювачі (трилон Б, альгінати);
 - в). Ентеральні сорбенти. При попаданні радіоактивних сполук у шлунок застосовують (активоване вугілля та ін.); різні комплексони (Пентацин, Ферроцин та ін.).
 2. Речовини, що прискорюють обмін речовин (Питний режим, біологічно активні речовини).

Серед населення поширена думка про те, що під час підвищеної радіації корисно вживати спиртні напої. Дія червоного вина у великих дозах сприяє кровотворенню, а деякі фенольні сполуки (антоціани, катехіни), що містяться в них, здатні утворювати з деякими радіонуклідами важко розчинні комплекси, які потім виводяться з організму.