

**Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології
Національного університету цивільного захисту України**

Кірсєв О.О., Жернокльов К.В., Калугін В.Д., Тарасова Г.В.

**НЕБЕЗПЕКИ РАДІАЦІЙНОГО, ХІМІЧНОГО
ТА БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Методичні вказівки з організації самостійної роботи
студентів при вивченні дисципліни

Харків 2014

**Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології
Національного університету цивільного захисту України**

Кірсєв О.О., Жернокльов К.В., Калугін В.Д., Тарасова Г.В.

**НЕБЕЗПЕКИ РАДІАЦІЙНОГО, ХІМІЧНОГО
ТА БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

**Методичні вказівки з організації самостійної роботи
студентів при вивченні дисципліни**

Харків 2014

У виданні наведено програму і стисло викладено основні положення дисципліни “Небезпеки радіаційного, хімічного і біологічного походження”. Наведено приклади розв’язання типових задач, а також умови задач для практичних і контрольних робіт, питання для самоконтролю та довідковий матеріал. Методичні вказівки розраховано на студентів, курсантів і слухачів вищих навчальних закладів.

Небезпеки радіаційного, хімічного і біологічного походження. Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів при вивченні дисципліни. Автори: Кіреєв О.О., Жернокльов К.В., Калугін В.Д., Тарасова Г.В. - Харків: НУЦЗУ, 2014.

ПЕРЕДМОВА

Мета методичних вказівок – допомогти курсантам і студентам у самостійній роботі з оволодіння теоретичними та практичними знаннями з дисципліни “Небезпеки радіаційного, хімічного і біологічного походження”. Методичні вказівки вміщують: програму курсу, список рекомендованої літератури, стислий виклад основних положень курсу, приклади розв’язання типових задач, умови задач до практичних і контрольних робіт, питання для самоконтролю та довідкові матеріали.

Основну увагу приділено темам, які виносяться на самостійне вивчення та темам, з яких є практичні заняття.

Мета дисципліни “Небезпеки радіаційного, хімічного і біологічного походження” – надання курсантам (студентам, слухачам) відомостей про основні небезпеки хімічного, біологічного і радіаційного походження, а також надбання знань, що допоможуть проводити оцінку небезпечних властивостей матеріалів, їх поведінку в умовах побуту, виробництва та в умовах виникнення надзвичайних ситуацій.

Задачею дисципліни є:

- ознайомлення з основними небезпеками хімічного, біологічного і радіаційного походження;
- оволодіння методиками розрахунків, пов’язаних з визначенням небезпечних умов праці в разі наявності небезпечних факторів різної природи;
- ознайомлення з механізмами впливу небезпечних факторів різного походження на організм людини;
- опанування основними методами захисту людини від дії небезпечних факторів хімічного, біологічного і радіаційного походження.

Внаслідок вивчення дисципліни курсанти (студенти, слухачі) повинні:

Знати:

- основні загальні і фахові поняття навчальної дисципліни;
- класифікацію небезпечних факторів різної природи;
- механізми дії небезпечних факторів хімічної, біологічної і радіаційної природи на організм людини;
- класифікацію шкідливої дії речовин;
- особливості дії різних видів іонізуючих випромінювань;
- основні мери боротьби з небезпеками біологічного походження.

Мати навички:

- застосовувати знання для розв’язання типових задач;
- застосовувати знання для обробки результатів вимірювань та пояснення наслідків експериментів;
- вміти визначати засоби захисту від впливу негативних факторів хімічного, біологічного і радіаційного походження;

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

ВСТУП.

Тема 1. Основні поняття дисципліни.

Предмет «Небезпеки хімічного, біологічно та радіаційного походження» та її зв'язок з іншими науками. Основні поняття дисципліни. Основні небезпеки хімічного походження. Особливості небезпечних властивостей неорганічних і органічних речовин. Основні небезпеки біологічного походження і методи їх попередження. Основні небезпеки радіаційного походження. Поняття про природну радіацію. Роль дисципліни в цивільній безпеці.

РОЗДІЛ 1. НЕБЕЗПЕКИ РАДІАЦІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Тема 2. Природа радіації. Види іонізуючих випромінювань

Основні терміни і визначення. Природа радіації. Види іонізуючих випромінювань: α , β , γ і нейтронне. Джерела іонізуючих випромінювань. Види радіаційного розпаду. Природні і штучні радіоактивні нукліди. Радіоактивні ряди. Кінетика радіоактивного розпаду, період напіврозпаду.

Кількісні характеристики іонізуючих випромінювань. Дозиметрія іонізуючих випромінювань. Проникаюча здатність різних видів іонізуючих випромінювань.

Природний радіаційний фон. Опромінювання від штучних джерел радіації. Джерела іонізуючих випромінювань, що використовуються в медицині. Основні джерела радіаційного забруднення навколишнього середовища. Атомна енергетика. Професійне опромінювання. Міграція радіаційних забруднень.

Тема 3. Фізична, хімічна і біологічна дія іонізуючих випромінювань

Фізична дія іонізуючих випромінювань. Поняття про радіаційне матеріалознавство і радіаційні дефекти. Хімічна дія іонізуючих випромінювань. Поняття про радіохімію. Біологічна дія іонізуючих випромінювань. Механізм біологічної дії радіації.

Фізико-дозиметричні аспекти дії іонізуючих випромінювань на організм людини. Вплив радіації низького і високого рівня на здоров'я людини. Гострі ураження. Летальні дози. Генетичні наслідки опромінювання. Зовнішнє та внутрішнє опромінення. Еволюція біосфери і дія малих доз випромінювання.

Тема 4. Захист від дії радіаційного випромінювання.

Захист від дії радіаційного випромінювання. Профілактичні міри захисту від природного опромінювання. Нормування радіаційної безпеки. Боротьба з радіаційним пилом. Засоби індивідуального захисту від радіації. Поняття про дезактивацію.

Правила роботи з джерелами іонізуючого випромінювання.

Радіаційні аварії та їх наслідки. Оцінка радіаційної обстановки. Оцінка віддалених наслідків аварій. Захист населення при радіоактивному забрудненні. Ліквідація наслідків радіаційних аварій.

РОЗДІЛ 2. НЕБЕЗПЕКИ ХІМІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ.

Тема 5. Загальна характеристика хімічного впливу речовин на організм людини.

Класифікація шкідливої дії речовин: токсичні, подразнюючі, фіброгенні, шкіряні, алергічні, канцерогенні і мутагенні речовини. Поняття про токсичність речовин: доза, концентрація, токсичність. Ступені небезпеки речовин: надзвичайно небезпечні, високо небезпечні, помірно небезпечні і мало небезпечні. Міграція небезпечних речовин в навколишньому середовищі.

Шляхи потрапляння шкідливих речовин до організму. Перетворення токсичних речовин в організмі. Біологічні особливості організму, що впливають на процес інтоксикації. Наслідки впливу токсичних речовин на організм. Засоби захисту від небезпечних речовин і боротьби з отруєннями.

Тема 6. Небезпечні властивості простих речовин

Класифікація простих речовин: метали, неметали і амфотерні метали. Агрегатний стан простих речовин і його зв'язок з міграцією в навколишньому середовищі.

Небезпечні властивості металів. Пожежна небезпека лужних та лужно-земельних металів. Охорона праці при роботі з лужними металами.

Небезпечні властивості ртуті, демеркуризація приміщень.

Небезпечні властивості неметалів. Пожежна небезпека водню. Поняття про водневу енергетику та її проблеми. Екологічні аспекти водневої енергетики.

Небезпечні властивості галогенів. Використання галогенів. Хлорування води. Зберігання і транспортування хлору. Надзвичайні ситуації під час зберігання і транспортування хлору.

Озон. Озон в атмосфері, проблема озонового шару. Технології пов'язані з використанням озону. Озонування питної води. Токсичні властивості озону.

Тема 7. Небезпечні властивості неорганічних речовини

Основні класи неорганічних речовин та їх вплив на навколишнє середовище і організм людини. Загальна характеристика небезпечних властивостей неорганічних речовин.

Небезпечні властивості оксидів. Оксиди нітрогену їх потрапляння в атмосферу і наступні перетворення в навколишньому середовищі. Оксиди карбону: порівнювальна характеристика небезпечних властивостей вуглекислого і чадного газів. Оксиди сульфуру, їх токсичні властивості і вплив на навколишнє середовище. Кислотні дощі.

Оксиди лужних та лужноземельних металів, їх небезпечні властивості. Використання вапна в будівництві і правила роботи з ним. Неорганічні пероксиди і супероксиди, їх небезпечні властивості.

Небезпечні властивості основ. Вплив основ на водневий показник середовища (рН). Особливості властивостей лугів, правила роботи з ними. Перша допомога при потраплянні лугів на шкіру. Гашене вапно в будівництві і правила роботи з ним.

Небезпечні властивості кислот. Вплив кислот на водневий показник середовища (рН). Особливості властивостей кислот, правила роботи з ними. Летучі та нелетучі кислоти. Сірчана (сульфатна) кислота як зневоджуючий засіб. Азотна (нітратна) кислота, як сильний окисник. Самозаймання під дією азотної кислоти на шкіряні покрови. Правила роботи з кислотами. Перша допомога при потраплянні кислот на шкіряні покрови. Синильна (ціанідна) кислота. Особливості її токсичної дії. Сірководень, його утворення і токсична дія.

Небезпечні властивості солей. Зв'язок розчинності солей з їх токсичними властивостями. Солі «важких металів», їх токсико-екологічна характеристика. Солі–окисники та їх пожежонебезпека. Внесок катіону та аніону солі в токсичну дію.

Окремі сполуки інших класів неорганічних речовин з небезпечними властивостями. Сірковуглець, фосген, аміак.

Тема 8. Небезпечні властивості органічних речовини

Основні класи органічних речовин та їх вплив на навколишнє середовище і організм людини. Загальна характеристика небезпечних властивостей органічних речовин.

Небезпечні властивості вуглеводнів. Пожежо– та вибухонебезпечні властивості вуглеводнів. Надзвичайні ситуації при зберіганні і транспортуванні вуглеводнів. Боротьба з розливами нафти та нафтопродуктів. Вплив вуглеводнів на навколишнє середовище. Токсичні властивості вуглеводнів. Залежність токсичності вуглеводнів від природи вуглеводнів. Особливості токсичної дії ароматичних сполук.

Галогенпохідні вуглеводнів, їх небезпечні властивості. Отрутохімікати на основі галогенпохідних вуглеводнів. Проблема утилізації отрутохімікатів. Органічні розчинники на основі галогенпохідних вуглеводнів, правила роботи з ними.

Спирти, їх небезпечні властивості: горючість і токсичність. Особливості дії метанолу на організм людини. Використання спиртів в побутових засобах, правила їх використання і зберігання. Антифризи на основі етиленгліколю.

Альдегіди і кетони, їх небезпечні властивості: горючість і токсичність. Використання ацетону в якості розчинника.

Карбонові кислоти, їх використання в побуті і промисловості. Мурашина і оцтова кислоти, правила роботи з ними.

Прості і складні ефіри (етери і естери), їх використання в техніці і побуті. Розчинники на основі ефірів. Токсичність ефірів. Органічні пероксиди, їх утворення під час зберігання. Вибухонебезпечність пероксидів.

Органічні нітросполуки, їх використання в техніці і побуті. Небезпечні властивості нітросполук.

Аміни, їх токсичність і горючість.

Елементоорганічні сполуки, їх пожежо– та вибухонебезпечність. Правила роботи з елементоорганічними сполуками. Поняття про отрути і бойові отруйні речовини.

Вплив складу та будови органічних речовин на їх токсичність.

Тема 9. Методи знешкодження і утилізації небезпечних речовин

Методи збору твердих і рідких речовин при потраплянні їх на в ґрунт і воду. Методи знешкодження твердих і рідких речовин. Боротьба з викидами газоподібних речовин в повітря. Використання адсорбентів і абсорбентів для збору небезпечних речовин.

Використання окисників і відновників, реакцій осадження і електрохімічних процесів для нейтралізації і знешкодження небезпечних речовин.

Термічні методи знешкодження небезпечних речовин. Біохімічні методи боротьби з забрудненням навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 3. НЕБЕЗПЕКИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Тема 10. Загальна характеристика джерел біологічної небезпеки

Характеристика патогенних біологічних агентів (ПБА): хвороботворні бактерії, віруси, хламідії, рикетсії, гриби, отрути біологічного походження (токсини). Небезпечні та отруйні рослини, комахи і тварини. Біологія розвитку ПБА, отруйних рослин, комах і тварин. Хвороби, що викликані ПБА, отруйним рослинами, комахами і тварини. Заходи індивідуального захисту та профілактика захворювань, організаційні заходи, щеплення.

Тема 11. Біологічна небезпека природного походження

Основні джерела біологічної загрози: епідемії й спалахи інфекційних захворювань; епізоотії; епіфітотії; аварії на біологічно небезпечних об'єктах; природні резервуари патогенних мікроорганізмів; трансграничний перенос патогенних мікроорганізмів, представників флори й фауни, небезпечних для екосистем. Традиційні вірусні інфекції, грип, віспа ; нетрадиційні вірусні інфекції – ВІЛ. Карантин, основи організації карантинної служби.

Тема 12. Небезпека сучасних біотехнологічних виробництв

Основні біотехнологічні виробництва. Виробництво вітамінів, антибіотиків, харчових добавок. Основні технологічні етапи, обладнання. Основи функціонування генетичного апарату, кодування, транскрипція, трансляція, реплікація, регуляція роботи генетичного апарату біологічних

об'єктів. Генна інженерія. Основні принципи створення генетично-модифікованих організмів. Екологічний і економічний аспекти створення генетично-модифікованих організмів.

Тема 13. Біотероризм

Основи створення біологічної зброї масового ураження. Біологічна зброя, для ураження людей, сільськогосподарських тварин і рослин.

ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Маршал В. Основные опасности химических производств. М.: Мир., 1989.– 326 с.
2. Чернобаев И.П. Химия окружающей среды.– К.: Высш. шк., 1990.–191 с.
3. Максимов М.Т. Защита от сильнодействующих ядовитых веществ.–М.: Энергоатомиздат.–1983.–223 с.
4. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кірючкін та ін. Х.: АЦЗУ. 2005.–530 с.
5. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества.– М.: Воениздат, 1990.– 271 с.
6. Шоботов В.М. Цивільна оборона. К.: 2004.–438 с.
7. Стебнюк М.І. Цивільна оборона.– К.: Знання-прес, 2003.–455 с.
8. Максимов М.Т. Радиоактивные загрязнения и их измерения.– М.: Энергоатомиздат.–1986.–123 с.
9. Міщенко І.М., Мезенцева О.М. Цивільна оборона. – Чернівці: Книги –XXI, 2004.– 404 с.
10. Євдін О.М., Могільниченко В.В., Скидан М.А., Рibaкова Е.О. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. Т.1.– К.: КіМ., 2007.–636с.
11. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учеб. пособие.- СПб: Химиздат. 1999. – 144 с.
12. Крамаренко В.Ф. Токсикологическая химия.- К.: Вища шк. 1989.- 447 с.
13. Гринин А. С., Новиков В. Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие. - М.: ФАИР-ПРЕСС, 2000. – 336 с.
14. Щелкунов С. Н. Генетическая инженерия: Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2004. –496 с.
15. Вирусология: В 3-х т. Под ред. Б. Филдса.- М.: Мир, 1989.
16. А. П. Дж. О.М. Бокрис Химия окружающей среды.— Пер. с англ./Под ред. Цыганкова.—М.: Химия, 1982. –672 с.

Додаткова:

1. Карапетянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия. - М.: Высш. школа, 1981.- 654 с.
2. Радиация. Дозы, эффекты, риск. Обзор научного комитета ООН. – М.: Мир, 1988.–79 с.
3. Фролов В.В. Химия.- М.: Высш. школа, 1984. – 487 с.
4. Органическая химия/ Под ред. А.А. Петрова. - М.: Высш.школа, 1983.- 623 с.
5. Гофман К.Ф., Гусев А.А. Охрана окружающей среды. - М.: Природа, 1980.- 238 с.
6. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Ю.О. Абрамов, Є.М. Грінченко, О.Ю. Кіроцькін та ін. Х.: АЦЗУ. 2005.–530 с.
7. Яковлева Р.А. Пластмаси в будівництві та їх пожежна небезпека: Навч. посібник. Харків, “Каравела”, 2000.-156с.
8. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века: Учеб. пособие.- М.: Изд-во РУДН. 2002. -140 с.
9. Бова А.А. Военная токсикология и токсикология экстремальных ситуаций: Мн.: БГМУ, 2005. — 662 с.
10. Куценко С. А., Бутомо Н. В., Гребенюк А. Н. и др. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита Учебник / Под ред. С. А. Куценко. —СПб: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2004. — 528 с: ил.
11. Мікробіологія: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Л. Дикий, І. Ю. Холупяк, Н. Ю. Шевельова, М. Ю. Стегній, Н. І. Філімонова; За ред. І. Л. Дикого.— Х.: Вид-во НФаУ; Оригінал, 2006.— 432 с

ВСТУП.

Тема 1. Основні поняття дисципліни.

Основним поняттям дисципліни «Небезпеки хімічного, біологічно та радіаційного походження» є поняття – **небезпека**. Небезпеками прийнято називати різноманітні види негативних впливів в системі “людина – навколишнє середовище”. Небезпека реалізується шляхом **небезпечних та шкідливих факторів**. У процесі розвитку цивілізації система “людина - довколишнє середовище” не залишається незмінною та визначається розвитком науково-технічного прогресу. Тому не залишаються незмінними як набір небезпечних та шкідливих факторів, так і рівень, сила, масштаб їх впливу на людину.

Небезпека є складним параметром, який має багато ознак. Щоб краще зрозуміти природу небезпек та протистояти їм, необхідна систематизація та класифікація, чим і займається таксономія – наука про систематизацію та класифікацію складних явищ, понять, що відіграють важливу роль в організації наукового знання у галузі безпеки життєдіяльності.

Залежно від конкретних потреб існують різні системи класифікації небезпек – за джерелом походження, локалізацією, наслідками, збитками, сферою прояву, структурою, характером впливу на людину тощо.

Небезпека наявна в усіх системах, в яких можливі зміни енергії, присутні хімічні та біологічно активні компоненти. Один і той самий небезпечний та шкідливий фактор за природою свого впливу може одночасно належати до різних груп. Тому дуже важливо ідентифікувати фактор навколишнього середовища, тобто визначити його тип та розмір.

Усі види небезпек, які формуються у процесі взаємодії людини з навколишнім середовищем, змінюють його стан. Але ж наявність небезпеки ще не означає того, що людині чи групі людей обов’язково може завдатись якась шкода чи ушкодження. Існування джерела небезпеки свідчить передусім про існування або ж можливість утворення конкретної небезпечної ситуації, при якій буде завдатись шкода. До матеріальних збитків, пошкоджень, шкоди здоров’ю, смерті або інших наслідків призводить конкретний **вражаючий фактор**.

Залежно від наслідків впливу конкретних вражаючих факторів на організм людини вони в деяких випадках поділяються на шкідливі та небезпечні.

Небезпечний фактор – природний чи техногенний чинник, вплив якого на людину за певних умов призводить до травм, гострого отруєння або іншого раптового погіршення стану здоров’я або смерті.

Шкідливий фактор – природний чи техногенний чинник, вплив якого за певних умов може призвести до захворювання, зниження працездатності і (або) негативного впливу на здоров’я людини чи її нащадків.

Техносфера має багато негативних факторів. Основними носіями небезпечних і шкідливих факторів в оточуючому середовищі є машини та

інші технічні пристрої, хімічні і біологічні активні предмети праці, джерела енергії, нерегламентовані дії працюючих, порушення режимів і організації діяльності, а також відхилення від допустимих параметрів мікроклімату у робочій зоні. **Небезпечні та шкідливі фактори** за своїм походженням відповідно до ГОСТ 12.0.003.-74 поділяються на:

- **фізичні** – рухомі машини та механізми, пересувні частини виробничого та побутового устаткування; підвищена запиленість та загазованість повітря, підвищена чи знижена температура повітря, підвищений рівень шуму, вібрації, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації; підвищення чи зниження барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря, небезпечне значення напруги в електричному ланцюгу, підвищена напруга електричного чи магнітного полів, відсутність чи недостатність природного світла, підвищена яскравість світла:

- **хімічні** – хімічні речовини, які за характером впливу на організм людини поділяються на загально токсичні, подразнювальні, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні та такі, що впливають на репродуктивну функцію;

- **біологічні** – патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, грибки) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини);

- **психофізіологічні** – фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, монотонність праці, перенапруження органів чуття, емоційні перевантаження).

В багатьох випадках використовується поняття “небезпечна речовина”. **Небезпечна речовина** – радіоактивна, токсична, вибухова, горюча речовина, речовина–окисник, біологічні агенти, які становлять небезпеку для життя і здоров’я людей та навколишнього природного середовища

Для визначення серйозності небезпеки існують різні критерії. **Категорії серйозності небезпеки** встановлюють кількісне значення відносної серйозності ймовірних наслідків небезпечних умов. Виділяють такі категорії:

I категорія – катастрофічна небезпека;

II категорія – критичні небезпеки;

III категорія – граничні небезпеки;

IV категорія – незначні небезпеки.

Рівні ймовірності небезпеки є якісними відображенням відносної ймовірності того, що відбудеться небажана подія, яка є наслідком не усуненої або невідконтрольної небезпеки. Розрізняють:

Рівень А – часта небезпека;

Рівень В – можлива небезпека;

Рівень С – випадкова небезпека;

Рівень D – віддалена небезпека;

Рівень E – неймовірна небезпека.

До сфери безпеки життєдіяльності стосується такі **види ризиків**:

- за масштабами розповсюдження – ризики стосовно людини, групи людей, населення регіону, нації, всього людства;
- за позицій доцільності – обґрунтований та необґрунтований (безглуздий) ризик;
- за волевиявленням – добровільний та вимушений ризик;
- стосовно до сфери людської діяльності – економічний, побутовий, виробничий, політичний, соціальний ризик та ризик у природокористуванні;
- за ступенем припустимості – знехтуваний, прийнятий, гранично допустимий, надмірний ризик.

На практиці досягти нульового рівня ризику, тобто абсолютної безпеки, неможливо. Прямим наслідком неможливості забезпечення нульового рівня ризику є необхідність зниження ризику до деякого **допустимого рівня**.

Сучасна концепція безпеки життєдіяльності базується на досягненні саме допустимого (прийнятого) ризику. Допустимий рівень ризику формується індивідуальною та суспільною свідомістю і є функцією соціального, економічного та культурного рівня розвитку суспільства. Концепція допустимого ризику – досягнення такого малого ризику, який, з одного боку, є технічно неможливим, а з іншого – допустимим суспільством на певний час.

Основними питаннями теорії і практики безпеки життєдіяльності є питання підвищення рівня безпеки. Якщо виявлену небезпеку неможливо виключити повністю, необхідно **знижити ймовірність ризику до припустимого рівня** шляхом вибору відповідного рішення. Досягти цієї мети в будь-якій ситуації можна такими шляхами:

- повна або часткова відмова від робіт, операцій та систем, які мають високий ступінь небезпеки;
- заміна небезпечних операцій іншими – менш небезпечними;
- удосконалення технічних систем та об'єктів;
- розробка та використання спеціальних засобів захисту;
- засоби організаційно-управлінського характеру, в тому числі контроль за рівнем безпеки, навчання людей з питань безпеки, стимулювання безпечної роботи та поведінки.

РОЗДІЛ 1. НЕБЕЗПЕКИ РАДІАЦІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Тема 2. Природа радіації. Види іонізуючих випромінювань

Біосфера протягом усієї своєї еволюції перебувала під впливом фонового електромагнітного випромінювання, спричиненого природними джерелами (сонцем, зірками). *Електромагнітне випромінювання поділяють на інфрачервоне (ІЧ), видиме, ультрафіолетове (УФ), рентгенівське та γ – випромінювання.* Крім того, в навколишньому середовищі присутні речовини до складу яких входять елементи які піддаються радіоактивному розпаду. Під час такого розпаду виникають *радіоактивні випромінювання.*

Останні три види випромінювання мають велику біологічну дію. Це обумовлено їх високою здатністю до іонізації речовини. Усі види випромінювань яка викликають сильну іонізуючу дію отримали назву *іонізуючі випромінювання.* Вони існували на землі ще задовго до появи на ній людини. Проте вплив іонізуючих випромінювань на організм людини був виявлений лише наприкінці ХІХ ст. з відкриттям французьким вченим А.Бекерелем, а потім дослідженнями П'єра і Марі Кюрі явища радіоактивності, які проводили дослідження цього впливу безпосередньо на собі.

Поняття «іонізуюче випромінювання» об'єднує різноманітні види, різні за своєю природою випромінювання. Подібність їх полягає в тому, що всі вони відрізняються високою енергією, мають властивість іонізувати і руйнувати біологічні об'єкти. Під впливом іонізуючого випромінювання атоми і молекули живих клітин іонізуються, в результаті чого відбуваються складні фізико-хімічні процеси, які впливають на характер подальшої життєдіяльності людини. Іонізуюче випромінювання, діючи на організм людини, викликає у ньому зворотні і незворотні зміни.

Розрізняють корпускулярне і фотонне іонізуюче випромінювання.

Корпускулярне – потік елементарних частинок із масою спокою, відмінною від нуля, що утворюються при радіоактивному розпаді, ядерних перетвореннях або генеруються на прискорювачах. Це α і β – частинки, нейтрони, протони та ін. Фотонне іонізуюче випромінювання – електромагнітні хвилі в інтервалі довжин хвиль, що відповідають рентгенівському та гамма діапазонам. Енергія γ – кванта дорівнює:

$$E_{\gamma} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda},$$

де c – швидкість світла, h – стала Планка, λ – довжина хвилі, ν – частота.

Особливість радіохімічних процесів – надзвичайно великі енергетичні ефекти. Ці ефекти на 5-6 порядків перевищують енергетичні

ефекти хімічних реакції. Такім енергетичним ефектам відповідають значні біологічні ефекти.

Ядро атома має розміри 10^{-14} – 10^{-15} м, але майже вся маса атома зосереджена в ядрі. Ядро складається з протонів і нейтронів (загальна назва - нуклони).

Протон (p) - це елементарна частинка з масою $m_p = 1,672 \times 10^{-27}$ кг, або 1,0073 а.о.м., і позитивним зарядом $q = 1,602 \times 10^{-19}$ Кл (який приймають за одну відносну одиницю заряду + 1). Протон стабільна частинка.

Нейтрон (n) - незаряджена частинка з масою $m_n = 1,674 \times 10^{-27}$ кг, тобто 1,0087 а.о.м. Нейтрон поза ядром не стабільний і самочинно перетворюється у протон електрон і антинейтрино:

$$n = p^+ + e^- + \bar{\nu}$$

Сума числа протонів (Z) і числа нейтронів (N) називається нуклонним числом (масовим числом).

Крім протонів і електронів до елементарних частинок відносять електрони, нейтрино, мезони, мюони, гіперони та інші (всього більш сотні назв). Висунуто припущення про існування істинно елементарних частинок кварків.

Ізотопними нуклідами (ізотопами) називають нукліди, що мають однакову кількість протонів, але різну масу (різну кількість нейтронів). Хімічні властивості елементів залежать від заряду ядра і не залежать від його маси.

Маса ядра менша за суму мас нуклонів, що утворюють ядро. Різниця становить 0,005–0,01% від маси ядра (дефект маси). **Дефект маси (Δm)** визначає енергію зв'язку в ядрі:

$$E_{\text{зв'язк}} = \Delta m \cdot c^2,$$

– де c – швидкість світла.

Здатність ядер або їх збуджених станів самочинно переходити в інші стани з меншою енергією, випускаючи при цьому частинки або кванти, називається **радіоактивним розпадом**. Явище випускання ядрами частинок або гама-квантів називається **радіоактивністю**.

Сили яки утримують в ядрі нуклони називають ядерними силами. Властивості ядерних сил:

ядерні сили дуже великі і діють на дуже малих відстанях ($\sim 10^{-15}$ м);

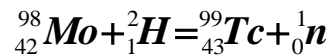
ядерні сили діють тільки між нуклонами;

кожен нуклон взаємодіє тільки з кількома сусідніми нуклонами.

Існують декілька основних моделей ядра: крапельна, шарова, модель Фермі – газа.

Радіоактивні нукліди існують у природі, а також можуть утворюватись штучно в ході ядерних реакцій, що відбуваються в ядерних реакторах або різного роду прискорювачах. Ядерні реакції – реакції між ядрами, або між ядром і елементарної частинкою. Під час ядерних реакцій виконується закон

збереження заряду і закон збереження маси (частина маси може переходити в частинки, що не мають маси спокою).



Закони радіоактивного розпаду.

В одиницю часу число нуклонів даного виду, що розпадається пропорційно їх кількості.

Тобто процес розпаду описується кінетичним рівнянням *першого порядку*:

$$dN = -N \cdot \lambda dt,$$

де N – кількість ядер, λ – стала розпаду, яка має смисл – вірогідності розпаду в одиницю часу, t – час.

Разом зі сталою розпаду використовують обернену до неї величиною, яка має смисл *середнього часу життя нукліда* (τ):

$$\tau = 1/\lambda.$$

Закон радіоактивного розпаду у диференційному виді:

$$\frac{dN}{dt} = N \cdot \lambda$$

Закон радіоактивного розпаду у інтегральному виді

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Швидкість радіаційного розпаду dN/dt називається *абсолютною радіоактивністю* (a):

$$a = \frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N,$$

або в інтегральному виді:

$$a = a_0 \cdot e^{-\lambda t}.$$

У відповідності до визначення абсолютна радіоактивність визначається числом розпадів в одиницю часу. В системі СІ одиницею радіоактивності є бекерель (Бк). До введення системи СІ використовувалися інші одиниці радіоактивності кюрі (Ки) і резерфорд (Рд):

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ розпадів/с}, \quad 1 \text{ Рд} = 1 \cdot 10^6 \text{ розпадів/с}.$$

Вимірювальні прилади реєструють величину пропорційну абсолютній радіоактивності, яку називають активністю, що реєструють (I).

$$I = a \cdot \varphi,$$

де φ – коефіцієнт реєстрації.

Активністю, що реєструють також слідує основному закону розпаду:

$$I = I_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Періодом напіврозпаду ($T_{1/2}$) називається проміжок часу за який розпадається половина кількості ядер даного ізотопу.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$$

$$\lambda \cdot T_{1/2} = \ln 2 = 0,693,$$

або

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Сукупність нуклідів, які пов'язані між собою взаємними радіоактивними перетвореннями називаються **радіоактивними родинами**. На Землі існують три радіоактивних родини, родоначальниками яких є ізотопи ^{232}Th , ^{238}U и ^{235}U , що входять до складу Землі з часу її виникнення:

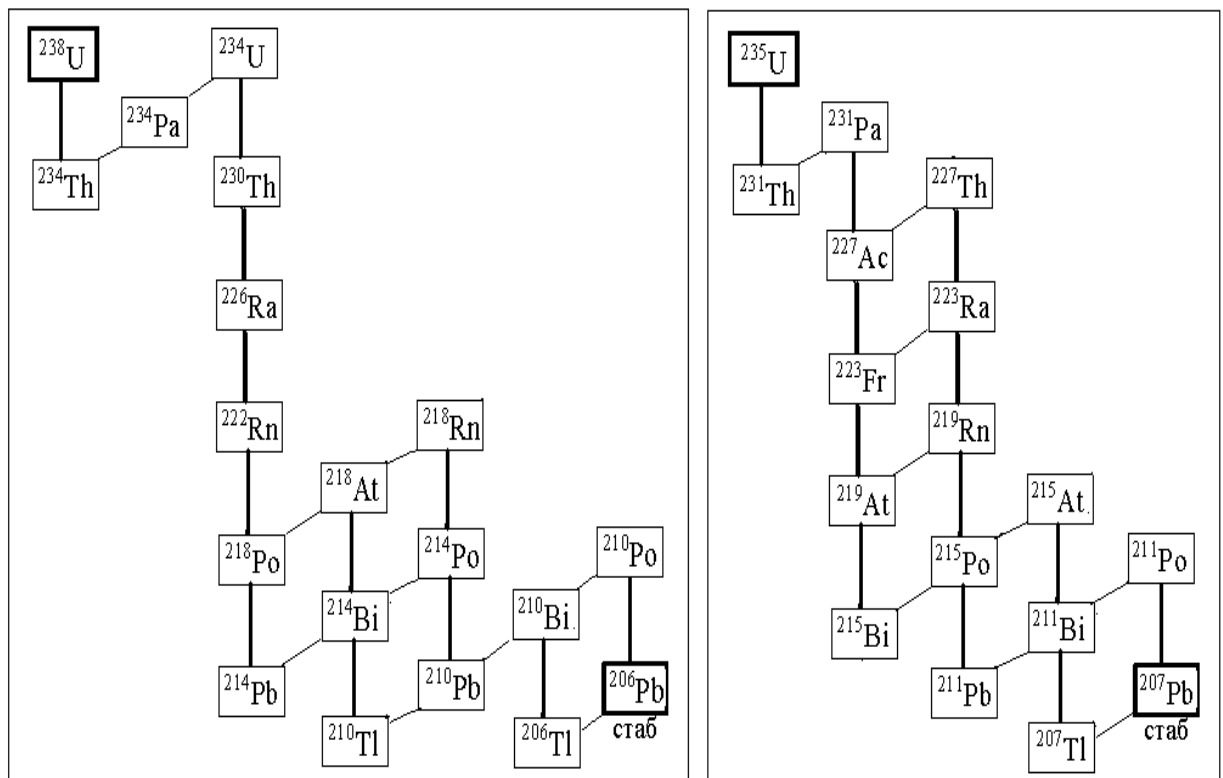
$$A = 4n - \text{родина } ^{232}\text{Th} \quad (T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10} \text{ лет});$$

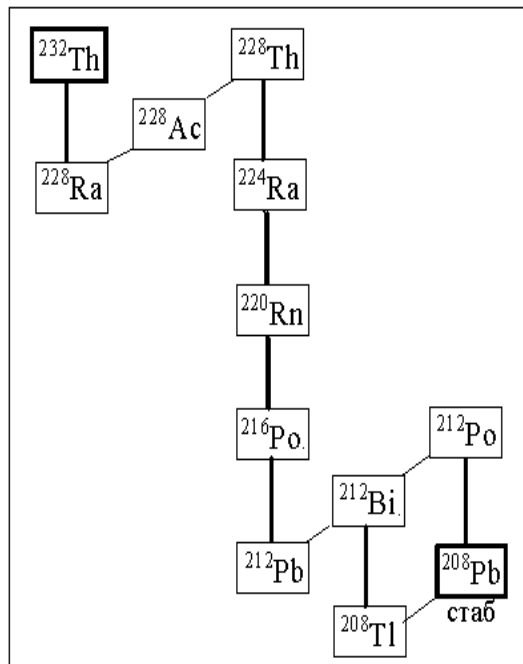
$$A = 4n + 2 - \text{родина } ^{238}\text{U} \quad (T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет});$$

$$A = 4n + 3 - \text{родина } ^{235}\text{U} \quad (T_{1/2} = 7,13 \cdot 10^8 \text{ лет}).$$

Родина з $A = 4n + 1$ (родина ^{237}Np) було одержано штучно. Ця родина повністю зникла за час існування Землі. Кінцевими елементами цих родин є стабільні ізотопи Плюмбуму та Бісмуту.

Нижче наведені радіоактивні родини ^{232}Th , ^{238}U и ^{235}U



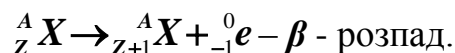
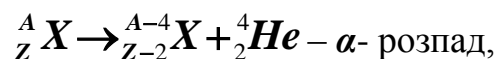


При будь яком акті розпаду $A \rightarrow B$, нуклід A називають *материнським* по відношенню до B , а B – *дочірнім* по відношенню до A . Якщо період напіврозпаду материнського ядра набагато більший ніж дочірнього, виконується співвідношення:

$$\lambda_1 \cdot N_1 = \lambda_2 \cdot N_2,$$

яке називають *радіоактивною рівновагою або віковою рівновагою*.

Перехід одного елемента в інший відбувається шляхом α і β розпаду:



Також для важких ядер ($A \geq 232$) можливий ще один вид розпаду - *спонтанний розпад*. У цьому процесі ядро ділиться на два осколки (дочірніх ядра) з близькими масами. Спонтанне ділення спостерігається у ізотопів актиноїдів і більш важких елементів. Під час ядерних реакцій може відбуватися *випускання протонів або нейтронів і γ – квантів*. Розрізняють три *види β -розпаду: β^- -розпад, β^+ -розпад і K – захоплення*.

Дозиметрія іонізуючих випромінювань

Основні дозиметричні величини: потік енергії іонізуючого випромінювання; інтенсивність іонізуючого випромінювання; доза, що поглинута; потужність дози, що поглинута; лінійна передача енергії; еквівалентна доза; експозиційна доза; коефіцієнт якості випромінювання, γ -стала.

Потік енергії іонізуючого випромінювання – (одиниця вимірювання Дж/с = Вт).

$$\Phi_E = dE/dt,$$

E – енергія іонізуючого випромінювання, t – час.

Інтенсивність іонізуючого випромінювання – (одиниця вимірювання Вт/м², або МеВ).

$$I = d\Phi_E/dS,$$

S – площа поперечного перетину об'єму речовини, що поглинає випромінювання.

Поглинена доза – (одиниця вимірювання – Грей; Гр = Дж/кг).

$$D_{\text{погл}} = dE/dM,$$

M – маса речовини, що поглинає випромінювання.

Потужність дози, що поглинута – (одиниця вимірювання Гр/с).

$$P = dD_{\text{погл}}/dt,$$

Лінійна передача енергії (ЛПЕ) – (одиниця вимірювання еВ/нм).

$$L = dE/dx,$$

x – довжина траєкторії, яку проходить в середовищі іонізуюче випромінювання (одиниця вимірювання еВ/нм).

Еквівалентна доза – (одиниця вимірювання (СІ) – зіверт (Зі), позасистемна одиниця бер, 1 бер = 0,01 Зв).

$$D_{\text{екв}} = k \cdot D_{\text{погл}}$$

k – безрозмірний **коефіцієнт якості випромінювання (радіаційний зважуючий фактор)**, який є критерієм біологічної ефективності при опромінюванні живих організмів. Чим більше k тим більш небезпечно опромінювання. Для β і γ випромінювання $k = 1$, для нейтронів ($0,1 \text{ МеВ} < E < 10 \text{ МеВ}$) і для протонів ($E < 20 \text{ кеВ}$) $k = 10$, для α -частинок та ядер віддачі $k = 20$.

Експозиційна доза – міра іонізації повітря при дії на нього фотонів – (одиниця вимірювання бер, 1 бер = 0,01 Зв), позасистемна – рентген (P)).

$$D_{\text{експ}} = dQ/dM,$$

Q – заряд іонів одного знаку, які утворилися за рахунок іонізуючого випромінювання.

Гама-стала радіонукліда – потужність експозиційної дози у повітрі, яка створюється γ випромінюванням крапкового ізотопного радіонуклідного

джерела активністю 1 Бк (1 Мки) на відстані 1 м без початкової фільтрації випромінювання.

Методи реєстрації випромінювання

Основні методи реєстрації іонізуючих випромінювань: іонізаційні, люмінесцентні, напівпровідникові, фотоемульсійні, хімічні і калориметричні.

Найбільше розповсюдження і практичне застосування одержав **іонізаційний** метод, який базується на вимірюванні електропровідності газів під дією іонізуючих випромінювань. В такому методі в якості детекторів випромінювання використовуються іонізаційні камери і газорозрядні лічильники (пропорційні лічильники, лічильники Гейгера – Мюллера, коронні та іскрові).

Напівпровідникові детектори також як і газорозрядні роблять з використанням принципу вимірювання зміни електропровідності під дією іонізуючого випромінювання. Напівпровідникові детектори мають високу чутливість і компактність.

Люмінесцентні (сцинтиляційні) методи базуються на перетворенні енергії іонізуючих випромінювань при взаємодії з твердими речовинами – сцинтиляторами у світлові спалахи. Останні за допомогою фотоелектронних помножувачів підсилюють після чого реєструють.

Фотоемульсійні методи базуються на здатності іонізуючих випромінювань викликати почорніння фотоемульсії. Ступінь почорніння матеріалу після проявлення залежить від виду випромінювання, його енергії та інтенсивності.

Хімічні методи використовують здатність іонізуючих випромінювань викликати протікання хімічних реакцій. Зміна концентрацій хімічних речовин у спеціально підібраних системах пропорційна енергії опромінювання. Хімічні методи використовують для визначення великих доз випромінювання, що поглинаються.

За основу **калориметричних методів** реєстрації іонізуючих випромінювань покладена здатність енергії випромінювання переходити у теплову енергію середовища, що поглинає випромінювання.

Проникаюча здатність іонізуючих випромінювань

Для всіх типів іонізуючих випромінювань характерно передача їх енергії під час руху крізь речовини. Але різні види іонізуючих випромінювань мають різну проникаючу здатність. Найбільшу проникаючу здатність мають рентгенівське і гамма випромінювання. Дуже велику проникаючу здатність має також нейтронне випромінювання. Рентгенівське і гамма випромінювання мають пробіг у повітрі сотні метрів. Бета-частинки мають пробіг в повітрі декілька метрів, а в біотканинах декілька міліметрів. Альфа-частинки швидко поглинаються в повітрі (пробіг декілька сантиметрів), а в біотканині майже повне поглинання відбувається на відстанях $\sim 0,1$ мм.

Добре затримують різні види іонізуючих випромінювань тверди та рідкі речовини з великими значеннями густини. Для нейтронного випромінювання існують речовини які мають аномально високу поглинаючу здатність.

Існують **два типи взаємодії ядерних випромінювань з речовиною: пружне і непружне**. Під час пружної взаємодії сума кінетичних енергій частинок (або фотонів), що взаємодіють не змінюється, а відбувається тільки перерозподіл енергій між частинками. При цьому частинки змінюють напрямок свого руху. В такому випадку говорять про **пружне розсіяння**.

Під час **непружної взаємодії** сума кінетичних енергій взаємодіючих частинок зменшується – частина енергії витрачається на збудження атомів і молекул, розрив хімічних зв'язків, іонізацію. В кінцевому рахунку енергія розсіюється у вигляді тепла і довгохвильового випромінювання. При дії іонізуючих випромінювань на конструкційні матеріали відбувається зміна їх механічних властивостей.

Для α – частинок характерне **іонізаційне гальмування**. Гальмівна здатність середовища по відношенню до α – частинок пропорційна густині середовища і протонному числу атомів поглинача. Шлях який проходить α – частинка до повної витрати енергії називається **довжиною пробігу**. Довжина пробігу α – частинок у повітрі змінюється в межах 2,5 – 8,5 см. α – частинки мають найбільшу іонізаційну здатність. Вони проявляють дуже сильну фізіологічну дію, особливо при внутрішньому опромінюванні.

β -частинки мають значно меншу ніж α -частинки іонізаційну дію.

γ – випромінювання має високу проникаючу дію. Для нього характерне поступове зменшення інтенсивності випромінювання. Послаблення γ – випромінювання відповідає експоненціальному закону:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot l},$$

де I – інтенсивність випромінювання після проходження крізь речовину,

I_0 – початкова інтенсивність випромінювання,

l – довжина шляху випромінювання в середовищі,

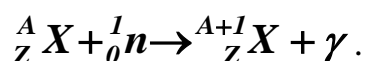
μ – лінійний коефіцієнт послаблення γ – випромінювання.

Проникаючу здатність γ – випромінювання також характеризують товщиною шару половинного послаблення – $l_{1/2}$:

$$l_{1/2} = 0,693 / \mu.$$

При взаємодії із атомами γ – випромінювання виникає **характеристичне рентгенівське випромінювання**.

Під час проходження нейтронів крізь речовину відбувається **уповільнення нейтронів**. Для уповільнених нейтронів характерним є його **захоплення ядром**:



В разі виникнення нестабільного ядра воно піддається радіаційному розпаду. Такі взаємодії нейтронів з ядром називаються **ядерними реакціями**.

Природний радіаційний фон

Природний радіаційний фон це – випромінювання, що створюються космічними джерелами і природними радіонуклідами, що містяться в землі, воді, повітрі, продуктах харчування та організмі людини. Інколи окремо розглядають **космічне випромінювання і природне випромінювання** радіонуклідами, що знаходяться в біосфері.

Первинне космічне випромінювання – це високоенергетичне випромінювання, що приходить до Землі з глибин космосу і від Сонця. Воно складається з потоку протонів (90%) і α -частинок (10%). Первинне космічне випромінювання майже повністю зникає на висоті 20 км. Під час взаємодії космічного випромінювання з атмосферою утворюються такі радіонукліди ${}^3_1\text{H}$, ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^7_4\text{Be}$, ${}^{22}_{11}\text{Na}$ та інші.

Вторинне космічне випромінювання виникає в наслідок взаємодії первинного космічного випромінювання з атмосферою Землі, що призводить до утворення вторинних частинок і електромагнітного випромінювання.

Інтенсивність космічного випромінювання (первинного та вторинного) залежить від висоти над рівнем моря, географічної широти та активності сонця. На ріні моря потужність дози космічного випромінювання становить ~40 нЗв/годину. Зі зростанням висоти над рівнем моря потужність дози космічного випромінювання збільшується на 0,6 нЗв/годину на кожні 100 м. За рахунок космічного випромінювання кожна людина на Землі в середньому отримує дозу 350 мкЗв.

Природне випромінювання обумовлено наявністю в Земній корі, ґрунті, повітрі, воді та інших об'єктах зовнішнього середовища радіонуклідів, які випромінюють γ – кванти. Найбільший внесок в таке випромінювання вкладають ${}^{40}_{19}\text{K}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$, ${}^{232}_{90}\text{Th}$ разом з разом з продуктами їх розпаду. Основний вклад в дозу опромінення вносять нукліди, які знаходяться на глибині до 30 см. В опромінення людини дають внесок і радіонукліди, що знаходяться в будівельних матеріалах, з яких побудовано житло.

Найбільший внесок в природне опромінювання людини вносить радіоактивний газ радон (${}^{220}_{86}\text{Rn}$, ${}^{222}_{86}\text{Rn}$). Він є продуктом радіоактивного розпаду урану (U) и торію (Th), і виділяється із земної кори. Радон і продукти його розпаду дають близько $\frac{3}{4}$ річної індивідуальної ефективної дози опромінення, яку людина одержує від земних джерел радіації. Більшу частину цієї дози людина одержує від радіонуклідів, які потрапляють в організм людини із повітрям, яким вона дихає. Основну частину дози опромінення від радону людина одержує коли знаходиться в закритому приміщенні. Особливо це відноситься до кухонь із поганою вентиляцією (за рахунок спалювання природного газу) і ванних кімнат (за рахунок виділення його із води).

Зовнішнє опромінювання – це дія на людину іонізуючих випромінювань ззовні.

Внутрішнє опромінювання – викликається радіонуклідами, що потрапили в середину організму. Найбільший внесок до внутрішнього опромінення людини вносять ${}^3_1\text{H}$, ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{40}_{19}\text{K}$, ${}^{87}_{37}\text{Rb}$, ${}^{210}_{84}\text{Po}$, ${}^{220}_{86}\text{Rn}$, ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.

Внутрішнє опромінення значно шкідливіше за зовнішнє. Це пояснюється рядом причин. Головна причина – це здатність деяких радіонуклідів вибірково накопичуватися в окремих органах і тканинах. Це призводить до локального переопромінювання окремих органів та тканин. Так до 30% радіоактивного йоду акумулюється у щитовидній залозі, яка становить лише 0,02–0,05% маси всього тіла людини.

Майже виключно в скелеті накопичуються стронцій та ітрій, що призводить до опромінення дуже радіочутливого органу – кісткового мозку. До 60% церію і лантану концентруються в печінці. Рівномірно розподіляються в організмі тритій, карбон, ферум і полоній.

Другою важливою особливістю дії радіонуклідів, яки потрапили в середину організму є дуже велика руйнівна дія α і β випромінювань при внутрішньому опромінюванні. Третьою особливістю дії інкорпорованих радіонуклідів є, як правило, великі строки опромінювання організму.

Потрапляння радіонуклідів в організм людини здійснюється наступними шляхами:

- **інгаляційним** – через органи дихання;
- **аліментарним** – через шлунково-кишковий тракт;
- **контактним** – через пошкоджену або непошкоджену шкіру.

Основним шляхом потрапляння радіонуклідів до організму людини є аліментарний.

Основні харчові ланцюги потрапляння радіонуклідів до організму людини:

- водоймище → зоопланктон → молюски → риби → людина;
- ґрунти → рослини → домашні та дикі тварини → людина;
- ґрунти → рослини → корови → молоко → людина;
- ґрунти → рослини (овочі, злаки) → людина;

Такі чином, основними джерелами радіонуклідів при їх потрапленні до організму людини є ґрунти і вода.

Час, протягом якого активність радіонуклідів в організмі зменшується в двічі за рахунок процесів біологічного виведення, називається періодом напіввиведення.

Опромінювання від штучних джерел радіації

В результаті діяльності людини у навколишньому середовищі з'явилися штучні радіонукліди, різноманітні технічні пристрої яки є джерелами іонізуючих випромінювань. Також зросла кількість природних радіонуклідів, що потрапили в біосферу в результаті добування із надр Землі корисних копалин.

Основний внесок у дозу, що отримує людина від техногенних джерел радіації, вносять медичні процедури і методи лікування пов'язані із використанням опромінювання. В першу чергу це відноситься до рентгенологічних досліджень.

Атомна енергетика

Атомна енергетика отримала значного розвитку у промислово розвинених країнах. Розрізняють такі типи атомно-енергетичних об'єктів: *атомні електричні станції (АЕС)*, атомні станції теплопостачання (*АСТ*) і атомні теплоелектроцентралі (*АТЕЦ*). Найбільше поширення отримали АЕС, на яких відбувається вироблення електричної енергії із використанням ядерного палива. Процес перетворення атомної (ядерної) енергії у теплову з якої потім виробляється електрична енергія відбувається у ядерних реакторах. В енергетичних ядерних реакторах відбуваються процеси ділення – із елементів з великими кількостями нуклонів утворюються елементи із меншою кількістю нуклонів. Прикладом такої реакції є реакція ділення ${}_{92}^{235}\text{U}$ тепловими нейтронами:



Схожі процеси відбуваються під час вибуху атомної бомби, але ці процеси відбуваються за дуже короткий час).

Першою стадією ядерного циклу є видобування уранової сировини та її первинна переробка. При видобуванні урану в шахтах основну небезпеку представляє радіоактивний радон ${}^{222}\text{Ra}$.

В якості ядерного палива на сучасних атомних АЕС використовується ${}_{92}^{235}\text{U}$. Цього ізотопу в природному урані всього 0,7204%. Це викликає необхідність *ізотопного збагачення* урану. На більшості сучасних типів реакторів використовується слабозбагачений уран (2–5% ${}_{92}^{235}\text{U}$). Для збагачення природного урану використовують фізичні методи, тому, що хімічні властивості ізотопів урану майже однакові. В більшості випадків для збагачення урану використовують *газодифузійний і центрифужний методи*. В обох методах використовують уран у вигляді гексафториду (UF_6).

Ядерне паливо застосовується в реакторах у вигляді металів, сплавів, оксидів, карбідів, нітридів або інших паливних композицій. В Україні на *реакторах типу ВВЕР* використовується паливо – UO_2 . Конструкційною основою ядерного палива в реакторі є *тепловиділяючий елемент – ТВЕЛ*, який складається з сердечника (палива) і оболонки (покриття). В кожному реакторі ВВЕР міститься близько 50000 твелів, які заповнені таблетками із діоксидом урану. Твели конструкційно об'єднуються у тепловиділяючу збірку.

При роботі ядерного реактора з його активної зони частина енергії виходить за межі реактора. Найбільшу небезпеку представляють два види випромінювання: нейтронне і гама – випромінювання. Для захисту персоналу

АЕС реактори оточують спеціальним захистом. В якості матеріалів які використовують для захисту в більшості випадків використовують воду, сталь, чавун, бетони. Товщина захисного шару досягає декілька метрів.

Під час роботи АЕС не вдається повністю уникнути радіаційних викидів у навколишнє середовище. Одним з видів викидів яких важко повністю позбутися є газоаерозольні викиди. До газоподібних відносяться радіоактивні благородні гази $^{85-88}\text{Kr}$, $^{133-138}\text{Xe}$, $^{33-41}\text{Ar}$. Ці викиди проходять багатостадійне очищення, яке включає витримання газів в спеціальних ємностях для витримки – газгольдерах. Після глибокого очищення ці гази викидають у високу (100-150 м) газовідвідну трубу.

Тверді та рідкі радіоактивні відходи збирають, концентрують в малому об'ємі і з часом утилізують (ховають відходи у стабільних геологічних формаціях).

Значний вклад в радіаційне забруднення навколишнього середовища вносить переробка опроміненого палива. Під час такої переробки можливе попадання у навколишнє середовище таких радіонуклідів як: ^{13}C , ^{85}Kr , ^3He , ^{129}I .

Таким чином, повний ядерний цикл складається з таких складових.

1. Видобування уранової сировини та її первинна переробка.
2. Збагачення урану і виробництво ядерного палива.
3. Використання ядерного палива в реакторах.
4. Переробка твелів, що використані.
5. Переміщення радіоактивних матеріалів на підприємстві.
6. Зберігання і утилізація ядерних відходів.

У разі безаварійної роботи АЕС потрапляння радіоактивних відходів у навколишнє середовище мінімальне. АЕС, які нормально працюють менше забруднюють навколишнє середовище ніж ТЕС, що використовують вугілля.

Таблиця 1

Внесок підприємств атомного паливного циклу у фонову дозу опромінення відносно малий. У 2000 році він становив 1 мкЗв/рік.

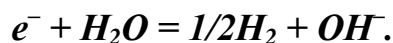
№	Джерела випромінювання	Доза, %
1	Природній радіаційний фон	100
2	Атомна енергетика	0,9
3	Випробування ядерної зброї	8,1
4	Медичні процедури	18,9
5	Повітряний транспорт	0,11
6	Побутові джерела радіації	0,11

Тема 3. Фізична, хімічна і біологічна дія іонізуючих випромінювань

Взаємодія іонізуючих випромінювань з речовиною

Під час дії іонізуючих випромінювань на речовини утворюються проміжні дуже активні продукти: *електрони* (термалізовані і сольватовані),

іони, іон-радикали, збуджені атоми та молекули, радикали. Ці продукти, як правило є дуже реакційноздатні і тому час їх існування малий. В деяких розчинниках можуть утворюватися досить стабільні сольватовані електрони. Але в більшості розчинників сольватовані електрони реагують із молекулами розчинника. Наприклад під час реакції з водою вони утворюють водень:



Кінцевими продуктами радіолізу води є водень, кисень і пероксид водню.

При радіолізі органічних речовин утворюється суміш багатьох речовин. Так при електролізі алканів основними стабільними продуктами радіолізу є водень (головний продукт), а також суміш насичених і ненасичених вуглеводнів. Опромінювання алкенів супроводжується процесами полімеризації.

У випадку дії іонізуючих випромінювань на полімери можлива **деструкція полімерів та їх зшивання.**

Фізико-дозиметричні аспекти дії іонізуючих випромінювань на організм людини.

Біологічну дію іонізуючого опромінювання поділяють на декілька етапів:

- первинні радіаційно-фізичні і радіаційно-хімічні процеси які виникають в молекулах живих клітин.

- вторинні процеси – пошкодження окремих клітин і порушення функцій організму, як наслідок первинних процесів (радіоліз води).

Наслідки опромінювання людини поділяють на два типи ефектів – **порогові і безпорогові.** До першого типу відносять дію великих доз опромінення. Вони мають невідповідні наслідки (нестохастичні ефекти). До них відносять гостри променеві ураження (гостре променеве захворювання, променеві опіки, випадіння волос, променева катаракта).

У випадку дії доз радіації нижче порогових можуть спостерігатися стохастичні (випадкові) ефекти. Такі дози збільшують вірогідність виникнення ракових захворювань і генетичних мутацій. Таки ефекти можуть спостерігатися через великий проміжок часу після опромінення. Більшістю дослідників вважає, що для таких ефектів не існує порогової дози.

Вважається, що при разовій дозі опромінення всього організму людини в 1 Гр не виникає нестохастичних ефектів. Мінімальна абсолютна смертельна разова доза для людини становить 6 Гр (600 рад). Середня смертельна разова доза для людини (50 % виживання) становить 4,5 Гр).

Результат опромінення залежить не тільки від повної загальної дози, а також від часу за який вона отримана. Чим більше час за який отримана доза, тим менші негативні наслідки для людини. Це пояснюється можливістю організму людини до відновлення.

Різні органи людини мають різну радіочутливість. Найбільш вразливими для іонізуючих випромінювань є кістковий мозок, статеві органи. Найменш вразливими є шкіра, кісткова тканина. Також треба відмітити, що внутрішнє опромінення більш небезпечне для людини ніж зовнішнє.

Таблиця 2.
Стадії радіобіологічних процесів.

Тип процесу	Час проходження	Основні процеси
Радіаційно-фізичний	10^{-18} – 10^{-15} , с	Поглинання енергії іонізуючого випромінювання
Радіаційно-хімічний	10^{-15} – 10^{-8} , с	Іонізація, утворення вільних радикалів і кисню
Хімічний	10^{-14} – 10^{-4} , с	Утворення первинних пошкоджень ДНК (руйнування хімічних зв'язків в наслідок реакцій із вільними радикалами)
Клітинний	Хвилини – години	Перебудова мембранних систем. Загибель клітин або зміна їх властивостей за рахунок мутацій
Соматичний	Дні – роки	Порушення метаболізму в організмі
Генетичний	Десятиріччя	Формування мутацій у популяції

Тема 4. Захист від дії іонізуючого випромінювання.

Захист від дії іонізуючого випромінювання відбувається за такими основними напрямками: обмеження дози опромінення та забезпечення припустимого рівня концентрації радіонуклідів у повітрі. Перший напрямок в основному пов'язаний з роботою із закритими джерелами іонізуючого випромінювання, а другий при роботі із відкритими джерелами іонізуючого випромінювання.

Захист від зовнішнього опромінювання базується на трьох способах **фізичного захисту**. По–перше, роботи в зоні дії іонізуючих випромінювань організуються так, щоб час роботи в такій зоні був мінімальним (**захист часом**). По–друге, роботи проводяться так, щоб відстань людини від джерел випромінювання була максимальною (**захист відстанню**). Для цього використовують пінцети, захвати, маніпулятори, механізми із дистанційним керуванням. Третій спосіб захисту – **екранування** джерел іонізуючого випромінювання. Вибір матеріалів для екранування джерел іонізуючого випромінювання залежить від виду випромінювання та його енергії. Для захисту від γ – випромінювання використовують бетон, чавун, свинець, воду. Для захисту від нейтронного випромінювання крім перерахованих матеріалів використовують парафін, поліетилен і сполуки бору.

Для захисту від β – випромінювання достатньо використати тонких (декілька міліметрів) пластин або плівок. Але β – випромінювання з високими енергіями при проходженні крізь тверді матеріали викликає виникнення

гальмівного рентгенівського випромінювання, тому для захисту від високо енергетичного β – випромінювання потрібно проводити захист і від рентгенівського випромінювання.

Найменшу проникаючу здатність має α – випромінювання, воно легко поглинається навіть повітрям.

Під час роботи з відкритими джерелами випромінювання або при роботі на забрудненій радіоактивними речовинами території треба вживати заходи для захисту органів дихання, очей і шкіряного покриву від потрапляння радіоактивних речовин. Для цього використовують пластикові костюми, халати, комбінезони, освинцьовані фартухи, перчатки, респіратори, протигази, головні убори, спеціальне взуття.

В лабораторіях де проводяться роботи із відкритими джерелами радіоактивних речовин треба постійно проводити вологе прибирання з використанням спеціальних засобів дезактивації. В таких приміщеннях також потрібно проводити газоочищення.

Існує також **хімічний захист** від іонізуючих випромінювань. Він здійснюється за допомогою **радіопротекторів**. Радіопротектори – це речовини введення яких до організму людини перед опромінюванням знижують ступінь радіаційних уражень. Так прийняття препаратів йоду дає захист від накопичення радіоактивного йоду в щитовидній залозі.

Профілактичні заходи захисту від опромінення в забруднених районах: захист від радіоактивного пилу за допомогою респіраторів, захист тіла і голови шляхом використання одягу і головних уборів із щільних матеріалів, використання незабрудненої їжі та води, вологе прибирання у приміщеннях, боротьба із радіоактивним пилом.

Основним державним документом який встановлює систему радіаційно – гігієнічних регламентів для забезпечення припустимих рівнів опромінювання як для окремої людини, так і суспільства в цілому є «Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ–97). Радіаційна безпека базується на наступних **принципах**:

принцип виправданості – будь яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людини, не повинна здійснюватися, якщо вона не принесе більше користі людям, що опромінюються або суспільству в цілому у порівнянні зі шкодою, який вона спричиняє;

принцип неперевищення – рівні опромінювання, від усіх, видів практичної діяльності, що підпадають під регулювання, не повинні перевищувати встановлені межі доз;

принцип оптимізації – рівні індивідуальних доз і кількість осіб, що опромінюються повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з урахуванням економічних і соціальних факторів.

Згідно з Норм радіаційної безпеки України встановлені наступні **категорії осіб що опромінюються**:

категорія А (персонал) – особи, які постійно або тимчасово працюють з джерелами іонізуючого випромінювання;

категорія Б (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку із розташуванням робочих місць можуть одержувати додаткові дози опромінювання;

категорія В – усе інше населення.

В НРБУ – 97 введено поняття **граничної дози (ГД)** для різних органів людини. Усі органи і тканини в порядку зменшення радіочутливості поділяються на три групи, для кожної з яких встановлені відповідні граничні дози:

1. Гонади, кістковий мозок;
2. Щитовидна залоза, молочна залоза, селезінка, підшлункова залоза, кришталик ока, Жирова тканина, печінка, нірки;
3. Шкіряний покрив, кісткова тканина, стопи, кістки рук.

Таблиця 3.

Граничні дози (мЗв/рік) для різних груп органів людини і категорій осіб

Граничні дози мЗв/рік	Групи органів		
	1	2	3
А	50	150	500
Б	5	15	50
В	5	15	50

Опромінювання в таких дозах за даними багаторічних спостережень не викликає ні гострих, ні хронічних захворювань.

Приклади розв'язання задач.

Приклад 1.

Які виділяють види небезпечних факторів за характером походження?

Розв'язання.

Небезпечні та шкідливі фактори за своїм походженням поділяються на: фізичні, хімічні біологічні та психофізіологічні.

Приклад 2.

Які види вражаючих факторів виділяють за характером дії на організм людини?

Розв'язання.

Залежно від наслідків впливу конкретних вражаючих факторів на організм людини вони поділяються на шкідливі та небезпечні.

Небезпечний фактор – природний чи техногенний чинник, вплив якого на людину за певних умов призводить до травм, гострого отруєння або іншого раптового погіршення стану здоров'я або смерті.

Шкідливий фактор – природний чи техногенний чинник, вплив якого за певних умов може призвести до захворювання, зниження працездатності і (або) негативного впливу на здоров'я людини чи її нащадків.

Приклад 3.

Які кількісні характеристики швидкості радіоактивного розпаду використовуються?

Розв'язання.

Для характеристики швидкості радіоактивного розпаду використовують:

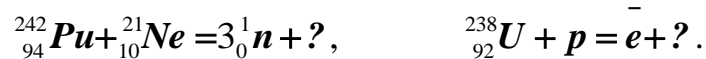
– λ – *сталу розпаду*, яка має смисл – вірогідності розпаду в одиницю часу;

– обернену до неї величиною, яка має смисл *середнього часу життя нукліда* $\tau = 1/\lambda$;

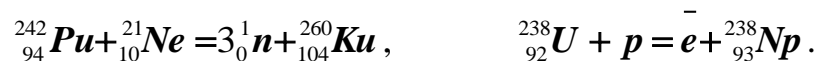
– *період напіврозпаду* ($T_{1/2}$) це проміжок часу за який розпадається половина кількості ядер даного ізотопу.

Приклад 4.

Закінчити рівняння реакцій ядерних перетворень:



Розв'язання.



Приклад 5.

Виразити 1 атомну одиницю маси в кг.

Розв'язання.

Маса одного атома ізотопу карбону ${}_{6}^{12}\text{C}$ прийнята точно рівною 12 а.о.м. Один моль атомів карбону має масу точно 12 г и містить $N_A = 6,02205 \cdot 10^{23}$ атомів.

Маса 1 атома карбону дорівнює $12 / (6,02205 \cdot 10^{23}) = 1,99268 \cdot 10^{-23}$ г = $1,99268 \cdot 10^{-26}$ кг.

Тоді 1 а.о.м. відповідає $1,99268 \cdot 10^{-26} / 12 = 1,66057 \cdot 10^{-27}$ кг.

Приклад 6.

Розрахувати енергію зв'язку в ядрі атому ${}_{9}\text{F}$ ($m = 18,9984$ а.о.м.), якщо відомо що: $m(p) = 1,00728$ а.о.м., $m(n) = 1,00866$ а.о.м., $m(e) = 0,000549$ а.о.м.

Розв'язання.

Атом фтору складається з 9 протонів, 10 нейтронів і 9 електронів. Сумарна маса цих елементарних частинок буде дорівнювати: $9 \cdot 1,00728 + 10 \cdot 1,00866 + 9 \cdot 0,000549 = 19,15703$ а.о.м.

Дефект маси складає: $\Delta m = 19,15703 - 18,9984 = 0,15863$ а.о.м. = $2,63416 \cdot 10^{-28}$ кг.

Енергія зв'язку складе: $E_{\text{зв'язк}} = \Delta m \cdot c^2 = 2,63416 \cdot 10^{-28} \cdot (2,99792 \cdot 10^8)^2 = 2,3675 \cdot 10^{-11}$ Дж.

Приклад 7.

Скільки атомів ${}^{234}_{90}\text{Th}$ розпадеться за 1 годину, якщо зразок матеріалу містить 1 г атомів цього нукліду? Час напіврозпаду ${}^{234}_{90}\text{Th}$ складає 24,1 дня?

Розв'язання.

Кількість атомів ${}^{234}_{90}\text{Th}$ дорівнює $N_0 = (m \cdot N_A) / A = (1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}) / 234 = 2,573 \cdot 10^{21}$ атомів.

Запишемо закон радіоактивного розпаду:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-(0,693 \cdot t) / T_{1/2}} = 2,573 \cdot 10^{21} \cdot e^{-(0,693 \cdot 60 \cdot 60) / (24,1 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60)}$$

$$= 2,5699 \cdot 10^{21}$$

$$N_0 - N_t = 2,573 \cdot 10^{21} - 2,567 \cdot 10^{21} = 6 \cdot 10^{18} \text{ атомів.}$$

Приклад 8.

Під час проходження γ -випромінювання крізь матеріал товщиною 0,4 м його інтенсивність зменшилася на 65%. Визначити шлях половинного послаблення γ -випромінювання для цього випадку.

Розв'язання.

Послаблення γ – випромінювання відповідає експоненціальному закону:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot l},$$

де I – інтенсивність випромінювання після проходження крізь речовину,

I_0 – початкова інтенсивність випромінювання,

l – довжина шляху випромінювання в середовищі,

μ – лінійний коефіцієнт послаблення γ – випромінювання.

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1 - 0,65}{1} = 0,35. \quad \frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot l} = e^{-(0,693 \cdot l) / l_{1/2}} = 0,35.$$

$$-(0,693 \cdot l) / l_{1/2} = \ln 0,35 = -1,0498. \quad l_{1/2} = 0,693 \cdot 0,4 / 1,0498 = 0,26 \text{ м}$$

Приклад 9.

Чому дорівнює еквівалентна доза α -опромінення людини, що знаходилась в області де потужність поглинутої дози складала $2 \cdot 10^{-6}$ Гр/с протягом 2,5 години. Коефіцієнт якості α -випромінення дорівнює 20.

Розв'язання.

Еквівалентна доза дорівнює: $D_{екв} = k \cdot D_{погл}$

де k – коефіцієнт якості випромінювання.

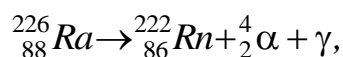
Поглинена доза дорівнює: $D_{погл} = P \cdot t$,

де P – потужність дози, що поглинута, t – час опромінення.

$$D_{екв} = k \cdot D_{погл} = k \cdot P \cdot t = 20 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2,5 \cdot 3600 = 0,36 \text{ Зв.}$$

Приклад 10.

Розрахувати початкову швидкість α -частинки, яка утворюється під час розпаду Радію:



Якщо енергія α -частинки дорівнює 4,8 Мев.
Розв'язання.

Кінетична енергія α -частинки дорівнює $E = \frac{mv^2}{2}$.

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,8 \cdot 10^6 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}}} = 1,522 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 15220 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Контрольні питання

1. З яких елементарних частинок складається ядро атома?
2. Які Вам відомі природні радіоактивні елементи?
3. Що таке – радіоактивні сімейства?
4. Що таке радіоактивний розпад?
5. Запишіть закони радіоактивного розпаду в диференційному та інтегральному вигляді.
6. Що таке період напіврозпаду і постійна розпаду?
7. Що називають віковою рівновагою?
8. Дати визначення активності нукліда.
9. Які існують види радіоактивного розпаду?
10. Які процеси називають ядерними реакціями?
11. Які особливості взаємодії α -частинок з речовинами?
12. Які особливості взаємодії β -частинок з речовинами?
13. Взаємодія γ -квантів з речовинами.
14. Які Вам відомі хімічні ефекти іонізуючих випромінювань?
15. Що таке радіоліз води ?
16. Які продукти утворюються при радіолізі органічних сполук?
17. Які процеси відбуваються під час дії випромінювань на тверді тіла?
18. Які процеси відбуваються під час дії випромінювання на полімери?
19. В чому закладається біологічна дія іонізуючих випромінювань?
20. Які Вам відомі джерела радіаційного випромінювання на живі організми?
21. Який тип опромінювання – зовнішнє або внутрішнє більш небезпечно для людини?
22. Які шляхи проникнення радіоактивних речовин в організм Вам відомі?
23. Що таке – радіочутливість органів?
24. Ядерна енергетика. Ланцюгова реакція поділу урану.

25. Що таке – ядерно-паливний цикл?
26. Як впливає ядерна енергія на навколишнє середовище?
27. Які методи переробки опроміненого ядерного палива Вам відомі?
28. Що таке ядерні відходи?
29. Які методи реєстрації випромінювання існують?
30. Що таке радіаційна безпека?
31. Основні поняття й терміни радіаційної безпеки.
32. Дати визначення таких понять: поглинена доза випромінювання, еквівалентна доза випромінювання, ефективна доза випромінювання, гранично припустима доза випромінювання.
33. Джерела радіоактивності в навколишньому середовищі: природні, техногенні, антропогенні.
34. Що таке природний радіаційний фон?
35. Що таке технологічний радіаційний фон?

Розрахункові задачі

1. Розрахувати енергію зв'язку в ядрі атому ${}^2_1\text{H}$ ($m = 2,01374$ а.о.м.), якщо відомо що: $m(p) = 1,00728$ а.о.м., $m(n) = 1,00866$ а.о.м., $m(e) = 0,000549$ а.о.м.
2. Визначити масу ядра ${}^{16}_8\text{O}$, якщо відомо, що енергія зв'язку в ядрі дорівнює 128 МеВ, а $m(p) = 1,00728$ а.о.м., $m(n) = 1,00866$ а.о.м.
3. Закінчити рівняння реакцій ядерних перетворень:

$${}^{242}_{94}\text{Pu} + {}^{22}_{10}\text{Ne} = 4{}_0^1n + ?$$
,
$${}^{238}_{92}\text{U} + n = \bar{e} + ?$$
.
4. Закінчити рівняння реакцій ядерних перетворень: ${}^{99}_{42}\text{Mo} = \bar{e} + ?$,

$${}^{225}_{89}\text{Ac} = \alpha + ?$$
.
5. Визначити середній час життя ядра елемента час напіврозпаду якого дорівнює 23 дні.
6. Визначити імовірність розпаду протягом 1с ядра атома з часом напіврозпаду 3,4 години.
7. Як зміниться число ядер атома ${}^{234}_{90}\text{Th}$ за 1 годину, якщо $T_{1/2} = 24,1$ дні?
8. Визначити час напіврозпаду елемента, якщо відомо, що за 10 годин його активність зменшилась на 22%.
9. Визначити абсолютну радіоактивність зразка матеріалу, що містить 10^{-4} г ${}^{210}_{84}\text{Po}$. $T_{1/2} = 138,4$ дня.
10. Визначити швидкість руху α - частинки, енергія якої дорівнює 5,31 МеВ.
11. Визначити масу радіоактивного ізотопу ${}^{209}_{82}\text{Pb}$ ($T_{1/2} = 3,22$ години) який міститься в зразку нерадіоактивного матеріалу, якщо абсолютна радіоактивність його становить $1,8 \cdot 10^6$ Бк.

12. У зразку нерадіоактивного матеріалу міститься 10^{17} атомів ізотопу радіоактивного елемента. Абсолютна радіоактивність цього зразка становить $7,14 \cdot 10^7$ Бк. Визначити період напіврозпаду цього радіоактивного елемента.

13. За який час кількість атомів ізотопу ${}^{220}_{86}\text{Rn}$ ($T_{1/2} = 3,82$ дня) зменшиться в 10 разів?

14. Який час потрібно для зменшення активності ізотопу ${}^{209}_{82}\text{Pb}$ ($T_{1/2} = 3,22$ години) в 1000 разів?

15. Який час потрібно для зменшення вмісту ${}^{238}_{92}\text{U}$ ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ років) на 10 %?

16. Яке ядро утвориться під час α -розпаду ізотопу ${}^{210}_{84}\text{Po}$?

17. Яке ядро утвориться під час β -розпаду ізотопу ${}^{32}_{15}\text{P}$?

18. Яка енергія виділиться під час анігіляції електрона і позитрона?

19. Яка частота і довжина хвилі відповідає γ -кванту з енергією $2,7 \cdot 10^6$ еВ?

20. Під час проходження γ -випромінювання крізь матеріал товщиною 0,52 м його інтенсивність зменшилася на 15%. Визначити шлях половинного послаблення γ -випромінювання для цього випадку.

РОЗДІЛ 2. НЕБЕЗПЕКИ ХІМІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ.

Тема 5. Загальна характеристика хімічного впливу речовин на організм людини.

Основні поняття і параметри токсикології

Хімічні фактори небезпеки обумовлені наявністю небезпечних речовин. **Небезпечна хімічна речовина (НХР)** – хімічна речовина, безпосередня чи опосередкована дія якої на людину може спричинити загибель, гостре або хронічне захворювання людей, завдає шкоди навколишньому середовищу (ДСТУ 4933:2008 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Техногенні надзвичайні ситуації. Терміни та визначення основних понять). Для небезпечних речовин використовують також терміни: отрути, токсиканти, ксенобіотики і біотоксиканти.

Токсичність - здатність хімічної речовини впливати на організм, яка проявляється тільки при їхньої взаємодії. Токсичність поняття кількісне, при цьому вимірюванню підлягають **біологічний ефект**, що проявляється в результаті хімічної агресії, і **доза** (концентрація), у якій хімічний агент викликає наслідки різної виразності.

Отрута хімічна речовина, яка при взаємодії із організмом у певних умовах середовища й у певній кількості здатна завдати шкоди (аж до загибелі).

Токсична дія - дія речовини, що призводить до порушення функцій біологічних систем.

Токсична доза (токсодоза) – така кількість речовини, наслідком якої є певний токсичний ефект. Доза виражається в одиницях маси або об'єму шкідливої речовини на одиницю маси тварини або людини (мг/кг).

Токсодози визначаються:

– при інгаляційних ураженнях як добуток середньої за часом концентрації небезпечної речовини в повітрі (C) на час дії (експозицію) (t):

$$W = C \cdot t;$$

– при шкіряно-резорбтивних ураженнях – це маса рідкої хімічної речовини, яка в наслідок потрапляння на шкіру приводить до значного її ураження (на одиницю площі поверхні або одиницю маси).

На практиці часто застосовують такі токсодози:

середня смертельна токсодоза (LD_{50}) – це маса хімічної речовини віднесена до одиниці маси тіла ураженого, яка при пероральному надходженні спричиняє загибель 50% уражених (мг/кг);

середня смертельна концентрація (LC_{50}) речовини в повітрі це така концентрація речовини, що викликає загибель 50% піддослідних тварин після 2-4 годинної інгаляційної дії (мг/м³).

Концентрація токсичної речовини виражається звичайно в наступних одиницях: мг/м³, мг/л, мг/кг, %, у частинах на тисячу (‰, проміле), у частинах на мільйон (пастпроміле, ppm).

Порогова концентрація – мінімальна ефективна концентрація хімічної речовини або найменша кількість речовини, яка може викликати помітний фізіологічний ефект (первинні ознаки ураження зі збереженням працездатності).

Границя перенесення – це мінімальна концентрація хімічної речовини, яку людина може витримати певний час без тривалого ураження. У промисловості границею перенесення є **гранично допустима концентрація (ГДК)**. ГДК речовини в якомусь середовищі (повітрі, воді, повітрі робочої зони) називають таку концентрацію, при дії якої на організм людини періодично або протягом всього життя не виникає соматичних або психічних захворювань або змін стану здоров'я, що виходять за межі фізіологічних коливань що до пристосування до дії такої речовини. Причому такі зміни не можна визначити сучасними методами дослідження протягом життя людини а також життя його нащадків. ГДК не може використовуватися для оцінки небезпеки аварійної ситуації у зв'язку зі значно меншим інтервалом дії небезпечної хімічної речовини.

Для однієї речовини залежно від шляхів проникнення в організм, виділяють наступні види нормативів:

ГДК_{рз} — гранично допустима концентрація токсиканта у повітрі робочої зони, мг/м³;

ГДК_{сд} — середньодобова гранично допустима концентрація токсиканта в повітрі населених місць, мг/м³;

ГДК_{мр} — максимальна разова гранично допустима концентрація токсиканта у повітрі населених місць, мг/м³;

ОБРВ — орієнтовний безпечний рівень максимального разового впливу хімічної речовини у повітрі населених місць, мг/м³;

ГДК_{водн} — гранично допустима концентрація забруднювачів у водоймах різних типів: господарсько-питних (ГДК_{гп}) культурно-побутових (ГДК_{кп}), рибогосподарських (ГДК_{рг}), мг/дм³;

ГДК_г — гранично допустима концентрація забруднювачів у ґрунті, мг/кг маси ґрунту.

При вмісті в повітрі робочої зони кількох речовин односпрямованої дії для забезпечення безпеки роботи слід дотримуватися наступної умови:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1$$

де C_1, C_2, C_n - фактична концентрація компонентів суміші;

$ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$ - гранично допустима концентрація компонентів суміші.

Нормування і класифікація отруйних речовин

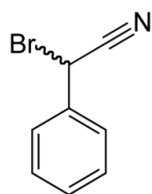
На сьогодні відомо близько 7 млн. хімічних речовин, з яких 60 тис. застосовується у життєдіяльності людини: 5500 – у вигляді харчових добавок, 4000 – ліків, 1500 – препаратів побутової хімії. На Міжнародному ринку щорічно з'являється від 500 до 1000 нових хімічних сполук і сумішей.

Хімічні речовини за характером впливу на організм людини поділяються на **загально токсичні, подразнювальні, шкіряні, нейротоксичні, сенсibilізуючі, канцерогенні, мутагенні та такі, що впливають на репродуктивну функцію.**

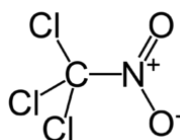
До **загально токсичних** речовин відносять більшість промислових шкідливих речовин: ароматичні вуглеводні, амидо- і нітропохідні вуглеводнів, дихлоретан, тетрачлоретан, синильна кислота (ціанистий водень), чадний газ (карбон (II) оксид) та багато елементоорганічних речовин.

Речовини, що мають високу вибірковість у дії на чутливі нервові закінчення, в покривних тканинах, називаються **подразнюючими**. Подразнювальну дією проявляють кислоти, луги, оксиди сульфуру та нітрогену, фосген, аміак, сірководень. Ці речовини об'єднує те, що під час контакту з біологічними тканинами вони викликають запалювальну дію. В першу чергу від дії таких речовин уражаються органи дихання, шкіра і слизові очей.

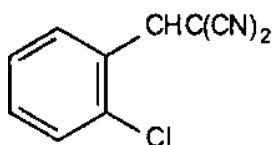
Структури деяких речовин, що мають виражену подразнюючу дію



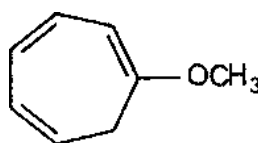
бромбензилціанід (CA)



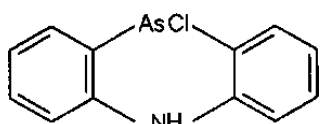
хлорпікрин (PS)



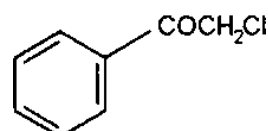
хлорбензиліден-малонодинітрил (CS)



метоксициклогептатриєн (CH)



адамсит (DM)



хлорацетофенон (CN)

Для зменшення явищ подразнення необхідно промити очі й порожнину рота чистою водою або 2% водяним розчином натрію гідрокарбонату.

Шкіряні отруйні речовини уражають шкіряний покрив людини, вони в малих кількостях викликають подразнювальну дію, а у великих можуть

викликати сильні хімічні опіки, нариви. Так діють концентровані кислоти та луги, іприт.

До **сенсibiliзуючих** отруйних речовин відносять такі, що після короткострокової дії на організм людини викликають підвищену чутливість до такої речовини. При наступному контакті з такою речовиною у людини виникає сильна реакція на неї. Частіше за все такі речовини викликають ураження шкіри, астматичні явища або приводять до захворювань крові. Представниками отруйних речовин сенсibiliзуючої дії є сполуки меркурію, сполуки платини деякі альдегіди.

Нейротоксичність — це здатність хімічних речовин, діючи на організм, викликати порушення структури й/або функціонування нервової системи. До числа токсикантів нервово-паралітичної дії можна віднести: фосфорорганічні сполуки (карбофос, дихлофос і ін.), похідні карбамінової кислоти, біциклофосфати, похідні гідразину (гідразин, диметилгідразин і т.д.), складні гетероциклічні сполуки (тетродотоксин, сакситоксин і ін.), білкові токсини (ботулотоксин, тетанотоксин).

Одним з представником токсинів біологічної природи є ботулотоксин – білок, який продукується мікроорганізмами *Clostridium botulinum*. Ці бактерії здатні розмножуватися в білковому середовищі в анаеробних умовах, і продукований ними екзотоксин часом є причиною масових отруєнь, при використанні в їжу зіпсованих консервів, копченостей, грибів і т.д. (ботулізм). Речовина проникає в організм через шлунково-кишковий тракт із зараженою водою і їжею, а при застосуванні його у вигляді аерозолу — через органи дихання й поранену поверхню. Смертельна доза токсину для людини при аліментарному способі впливу становить близько 50 нг/кг маси. При застосуванні у формі аерозолу середньосмертельна токсодоза (L_{ct50}) — $2 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-5}$ г·хв/м³. Найбільшу токсичність ботулотоксин має при потраплянні в організм через рани (LD_{50} менш 1 нг/кг).

Канцерогенні речовини в разі попадання в організм людини викликають розвиток злоякісних пухлин. До канцерогенних речовин відносять поліциклічні ароматичні вуглеводні, ароматичні аміни, пил азбесту та багато інших.

Отрути, що мають мутагенну активність, впливають на генетичний апарат зародкових і соматичних клітин організму. Дія мутагенних речовин може привести до раннього старіння організму, викликати тяжкі захворювання, а також вплинути на потомство. Мутаційну дію мають етиленамін, уретан, органічні пероксиди, оксид етилену, формальдегід, гідроксиламін.

До речовин, що **впливають на репродукційну** функцію організму відносять бензол та його похідні, свинець, марганець, отрутохімікати, нікотин сполуки меркурію.

Багато токсичних речовин мають вибірккову дію – вони уражають один орган або одну систему організму. По вибіркової уражуючої дії виділяють токсиканти:

- переважно серцевої дії (солі барію, кобальту, кадмію);

- нервової дії (чадний газ, фосфорорганічні сполуки, наркотики, снодійні);
- печіночні (хлорпохідні вуглеводнів, феноли, альдегіди);
- ниркові (сполуки важких металів, етиленгліколь, щавлева кислота);
- кров'яні (анілін, нітрити);
- такі що уражають легені (оксиди нітрогену, озон, фосген).

Отруйні властивості можуть виявляти практично всі речовини, однак до отрут прийнято відносити лише ті, котрі свою шкідливу дію виявляють у звичайних умовах і у відносно невеликих кількостях. Важливою характеристикою хімічно небезпечної речовини є її токсичність. Кількісно токсичність характеризується пороговою концентрацією, границею перенесення, припустимою концентрацією і токсичною дозою.

Для кількісної характеристики токсичності речовин використовують поняття **токсичної дози** (токсодози). Доза – це така кількість речовини, наслідком якої є певний токсичний ефект.

За ступенем токсичності хімічні речовини поділяють на:

надзвичайно токсичні, з $LC_{50} < 1$ мг/л і $LD_{50} < 1$ мг/кг;

високотоксичні, з $LC_{50} = 1-5$ мг/л і $LD_{50} = 1-50$ мг/кг;

сильнотоксичні з $LC_{50} = 6-20$ мг/л і $LD_{50} = 51-500$ мг/кг;

помірнотоксичні з $LC_{50} = 21-80$ мг/л і $LD_{50} = 501-5000$ мг/кг;

малотоксичні з $LC_{50} = 81-160$ мг/л і $LD_{50} = 5001-15000$ мг/кг;

нетоксичні з $LC_{50} > 160$ мг/л і $LD_{50} > 15000$ мг/кг;

У системі стандартів безпеки праці за ступенем дії на організм людини небезпечні хімічні речовини поділяють на **чотири класи небезпеки**:

I - надзвичайно небезпечні речовини;

II - високонебезпечні речовини;

III - помірнонебезпечні;

IV - малонебезпечні.

Клас небезпеки речовин встановлюється за чотирма показниками: гранично допустимі концентрації речовини в повітрі робочої зони, середньої смертельної дози при потраплянні речовини до шлунку, середньої смертельної дози при потраплянні речовини на шкіру та середньої смертельної концентрації речовини в повітрі. Клас небезпеки встановлюють за найбільш жорстким показником, характерним для даної речовини (Табл. 4).

Здатність НХР переходити в основний уражуючий стан визначається їх фізико-хімічними властивостями. Найбільше значення у випадку ураження людини має агрегатний стан, розчинність її у воді і органічних розчинниках, летучість, питома теплота випарування.

За швидкістю токсичної дії НХР поділяють на речовини, що діють швидко (декілька хвилин) і речовини, що діють повільно (години).

Слід мати на увазі, що малонебезпечні речовини в разі великого часу дії і великої концентрації можуть спричиняти тяжкі отруєння.

Таблиця 4. Характеристика класів небезпеки хімічних речовин (ГОСТ 12007-76)

Показник	Норма для класу небезпеки			
	I	II	III	IV
гранично допустима концентрація речовини в повітрі робочої зони, мг/м ³	менше 0,1	0,1–1	1,1–10	більше 10
середня смертельна доза при потраплянні речовини до шлунку, мг/кг	менше 15	15–150	151–500	більше 500
середня смертельна доза при потраплянні речовини на шкіру, мг/кг	менше 100	100–500	501–2500	більше 2500
середня смертельна концентрація речовини в повітрі, мг/м ³ .	менше 0,5	0,5–5	5–50	більше 50

Суттєву роль в небезпечних властивостях речовин має їх здатність до міграції в навколишньому середовищі. Особливу небезпеку проявляють речовини здатні накопичуватися в продуктах сільськогосподарського виробництва. В таку випадку вони можуть потрапляти в організм людини у великих кількостях.

Небезпека яку створюють токсичні речовини визначається не тільки токсичними властивостями речовин, але і їх фізико-хімічними характеристиками. Температура кипіння речовини визначає її здатність переходити в газоподібний стан. Це в свою чергу визначає її здатність забруднювати приземний шар атмосфери. Так речовини з температурою кипіння менше ніж -40°C швидко переходять в газоподібний стан (викид токсичної речовини), утворюють первинну газову хмару. Концентрація токсичної речовини в такій хмарі може бути великою, але час дії цієї хмари в місті викиду невеликий. Для речовин температура кипіння яких більша за температуру навколишнього середовища (звичайно приймається більше $+40^{\circ}\text{C}$) випарування відбувається повільно. Концентрація таких речовин в повітрі невисока, але час дії паро-повітряної хмари в місті викиду великий. При попаданні такі речовин на ґрунт виникає небезпека зараження ґрунтових вод.

Існують такі шляхи потраплення шкідливих речовин до організму людини: через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, через ушкоджену та неушкоджену шкіру. Проте основним шляхом надходження токсичних речовин є легені. Динаміка надходження речовини в організм через легені визначається його агрегатним станом (газ, пил, туман, дим). Надходження ОР через дихальну систему - найбільш швидкий шлях проникнення ксенобіотиків в організм. Це пояснюється великою поверхнею легеневих альвеол ($100\text{—}120\text{ м}^2$) і безперервним потоком крові по легеневих капілярах.

Надходження в організм летучих сполук (газів і парів), наприклад фтористого й хлористого гідрогену, ацетону, ацетальдегіду й інших, відбувається частково вже у верхніх дихальних шляхах і трахеї.

Небезпечні речовини, що потрапили до організму можуть накопичуватися в якомусь органі, вступати в різноманітні реакції (окиснення, відновлення). В результаті хімічних перетворень більшість токсикантів поступово втрачають свої небезпечні властивості. Але в деяких випадках токсичні речовини перетворюються в більш токсичні. Наприклад, метанол (CH_3OH) окислюється до більш токсичних формальдегіду (метанолу) і мурашиної кислоти (метанової кислоти)ю

Деякі токсичні речовини не перетворюються в організмі в інші речовини (наприклад бензин) і поступово видаляються з організму у незмінному виді. Якщо виділення речовини або її перетворення в організмі відбувається більш повільно ніж надходження, то токсикант накопичується в організмі і його негативна дія на організм поступово зростає.

При потраплянні до організму одночасно декількох токсичних речовин приводе до їх комбінованої дії. Комбінована дія може бути трьох типів:

- **синергізм** – одна речовина підсилює токсичну дію іншого;
- **антагонізм** – одна речовина послаблює токсичну дію іншого;
- **адитивна** дія речовин в комбінації додаються.

Наприклад, відносно безпечні аміни які містяться у рибі і помірно небезпечні нітрати із рослинної їжі утворюють канцерогени - нітрозаміни.

Токсичним процесом називається формування і розвиток реакцій біосистеми на дію токсиканту, що призводить до її пошкодження (порушенню функцій, зниженню життєздатності) або загибелі. Токсичний процес може відбуватися на різних рівнях біологічної системи: клітини, окремого органу, всього організму і популяції. Характер токсичного процесу визначаються токсичною речовиною (її складом і будовою) і особливостями організму.

Залежно від часу дії токсиканту характер його дії може бути **гострим, підгострим і хронічним**. Залежно від дози токсиканту інтоксикація може бути: **важкою, середньої ступеню важкості та легкою**. Важка інтоксикація – стан, що загрожує життю. Інтоксикація середнього ступеня важкості – хвороба, яка триває протягом тривалого часу. Легка інтоксикація закінчується повним одужання протягом декількох днів.

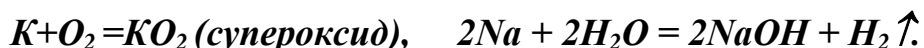
Тема 6. Небезпечні властивості простих речовин

До **простих речовин** відносять такі речовини, що складаються атомів одного елемента. Вони поділяються на **метали** та **неметали**. Для металів характерна здатність легко віддавати електрони. Метали не здатні приєднувати електрони. Неметали здатні приєднувати електрони, тоді як для відриву від них електронів треба затратити велику енергію. Деякі елементи в приблизно однаковому ступеню проявляють здатність до віддачі та приєднання електронів.

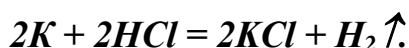
Небезпечні властивості металів

Майже всі метали (крім ртуті) це тверді речовини. Їх здатність до випарування дуже мала. Тому у повітрі немає парів металів. Єдиний метал який має помітну летучість – ртуть, який утворює дуже токсичну пару.

Найбільш активні метали – **лужні і лужноземельні** є небезпечними речовинами. Вони здатні (особливо в подрібненому виді) до займання при контакті з повітрям і водою:



Ще більш інтенсивно, ніж з водою, лужні та лужноземельні метали реагують з кислотами:



Під час реакцій з водою і кислотами утворюється у значних кількостях водень, що може привести до вибуху його суміші із повітрям.

Лужні і лужноземельні метали при контакті зі шкірою викликають її сильне ураження через те, що у місці контакту між металом і шкірою утворюються луги.

У пожежному плані небезпечними є і деякі метали середньої активності. Такі властивості вони проявляють в подрібненому стані (алюмінієві, магнієві і залізні порошки і стружка).

Найбільш небезпечним металом є **ртуть**. Тиск насиченої пари ртуті значно перевищує її ГДК у повітрі будинків ($0,0003\text{мг/м}^3$). Тому при випадковому потраплянні ртуті в приміщення вона повинна бути обов'язково видалена. Процес видалення ртуті називається **демеркуризацією**.

Процес демеркуризації регламентовано наказом МНС України №463 від 08.07.2009 р. Комплекс робіт із демеркуризації приміщення включає наступні обов'язкові заходи:

- обмеження доступу людей до приміщень, забруднених ртуттю;
- обстеження приміщень з метою виявлення осередків ртуті та межі зони хімічного забруднення;
- механічне видалення ртуті із забруднених поверхонь (механічний метод демеркуризації) та підготовка поверхонь до хімічної обробки;
- обробка забруднених поверхонь хімічними речовинами (хімічний метод демеркуризації);
- вологе прибирання;
- передача зібраних під час демеркуризації відходів, забруднених ртуттю (її сполуками), підприємствам, які мають дозвіл Мінприроди на роботу із ртуттю;
- контроль за повнотою проведення демеркуризації;
- спеціальна обробка забруднених ртуттю техніки, приладів, засобів індивідуального захисту та санітарна обробка особового складу;

документальне підтвердження СЕС щодо завершення демеркуризації.

Хімічний метод демеркуризації застосовується тільки після завершення механічного збирання рідкої ртуті в осередках забруднення.

До переліку *основних демеркуризаторів* входять:

мильно-содовий розчин (4% розчин мила у 5% водному розчині соди);

піролюзіт (паста, що складається з 1 вагової частини піролюзіту (MnO_2) і 2 вагових частин 5% соляної кислоти (HCl);

0,2% водний розчин перманганату калію, підкислений соляною кислотою (5 мл кислоти. густина 1,19, на 1 л розчину перманганату калію);

20% водний розчин хлорного заліза (приготування розчину здійснюється на холоді);

5 - 10% водний розчин сірчастого натрію;

4 - 5% водний розчин полісульфіду натрію або кальцію;

20% розчин хлорного вапна;

4 - 5% розчин монохлораміну або діхлораміну;

25 - 50% водний розчин полісульфіду натрію;

5 - 10% розчин соляної кислоти; сірка;

2 - 3 % розчин йоду в 30% водному розчині йодиду калію.

Для проведення демеркуризації можна використовувати готові суміші хімічних речовин, що виробляються промисловістю.

З метою підвищення ефективності хімічної демеркуризації доцільно використовувати засоби для розбрикування розчину та підтримувати температуру в приміщеннях не нижче 18-20°C.

Зберігання та транспортування ртутних відходів (ртуть, її сполуки, будівельні конструкції тощо) здійснюється тільки в герметичних ємностях, стійких до механічного, хімічного та термічного впливу.

Небезпечні властивості неметалів

Частина неметалів – є газоподібними речовинами (водень, інертні гази, фтор, хлор, кисень, азот), один неметал (бром) – легколетуча рідина, інші – тверді речовини. З твердих неметалів високу летучість мають йод и білий (жовтий) фосфор. Вміст газоподібних фтору и хлору, а також пара білого фосфору і йоду можуть значно перевищувати ГДК у повітрі. Тому ці неметали є потенційно небезпечними забруднювачами повітря.

Основна небезпека яку викликає *водень* пов'язана із його горючістю. Особливо небезпечні суміші водню з повітрям які здатні вибухати. В останній час водень знаходить застосування як екологічно чисте паливо, під час його згоряння утворюється практично тільки вода.

Кисень – газ без кольору і запаху. Він не горить, але підтримує горіння. Наявність підвищених концентрацій кисню в атмосфері підвищує пожежну небезпеку. Кисень – газ що бере участь в окисних процесах в живому організмі. В атмосфері вміст кисню становить 21%. Зменшення вмісту кисню призводить до негативних наслідків. В разі зменшення вмісту кисню до 16-17% у людини посилюється серцебиття та з'являється задишка. При вмісті кисню 11-13% спостерігається серцева нестача, підвищується частота пульсу

та дихання. Якщо вміст кисню зменшується до 10% відбувається втрата свідомості (запаморочення). При вмісті кисню 7-8% може наступити загибель людини.

В умовах високогір'я знижується парціальний тиск усіх газів повітря, в тому числі і кисню. Вважається, що граничне значення парціального тиску кисню у повітрі що вдихають становить 13 кПа. При меншому тиску в організмі людини відбуваються функціональні розлади.

Дихання повітрям, що має в своєму складі підвищений вміст кисню в основному безпечно для людини. Але дихання чистим киснем протягом трьох днів приведе до розвитку запальних процесів у легенях людини. Дихання газовими сумішами в яких парціальний тиск кисню перевищує 0,28 МПа (водолазні роботи на великих глибинах) може привести до кисневого отруєння.

Однією з дуже токсичних речовин (перший клас небезпеки) є **озон (O₃)** – алотропна модифікація кисню. В атмосфері він утворюється в невеликих кількостях під впливом ультрафіолетового випромінювання сонця. В останні часи концентрація озону в атмосфері знижується (озонові дірки), що призводить до проникнення до поверхні Землі жорсткого ультрафіолетового випромінювання. Це випромінювання дуже шкідливе для людини і тварин. В наш час приймаються заходи по зниженню потрапляння в атмосферу речовин, що руйнують озоновий шар планети.

Озон в невеликих кількостях виробляють на спеціальних пристроях – озонаторах. У зв'язку із низкою стійкістю газоподібного озону він не накопичується і не транспортується на значні відстані. Його виробляють за потребою в місцях використання. Найбільші кількості озону використовують під час підготовки питної води (озонування води). Озонування води дозволяє одержати більш якісну питну воду ніж процес хлорування води. Але вартість озонування води більша ніж хлорування.

Найбільшу частину земної атмосфери (78%) становить азот. **Азот** – це газ без кольору, запаху і смаку, він не горить і не підтримує горіння. За нормального тиску це нешкідливий газ, але при парціальному тиску більше 0,55 МПа він спричиняє наркотичну дію. Це факт потрібно враховувати під час глибоководних робіт.

Високотоксичними речовинами є всі **галогени**. Особливо токсичним є найбільш сильний окисник серед простих речовин – флуор. Найбільше із всіх галогенів застосовується хлор. **Хлор** має зелено-жовтий колір і різкий запах. Хлор подразнює дихальні шляхи та викликає набряк легенів. Він використовується в хімічному синтезі, при виробництві паперу, відбілюванні тканин, а також у великих обсягах під час підготовки питної води (хлорування води). Хлор зберігають і транспортують в скрапленому вигляді. В разі розгерметизації ємностей з хлором він потрапляє в повітря, при цьому утворюється газо-повітряна хмара з великою концентрацією хлору. Завдяки тому, що хлор в 2,5 рази важчий за повітря така хмара буде рухатися за вітром близько до поверхні землі.

З твердих простих речовин – неметалів відмітимо дві горючі речовини

сірку і фосфор. Особливу небезпеку виявляє білий фосфор – алотропна модифікація фосфору, він здатний самозайматися при контакті з повітрям. Крім того білий фосфор летуча речовина, пара якої токсична.

Тема 7. Небезпечні властивості неорганічних речовини

Неорганічні речовини поділяються на такі основні класи: **оксиди, основи, кислоти та солі**. Серед них зустрічаються небезпечні речовини. Найбільшу токсичність проявляють сполуки Меркурію, Кадмію, Хрому, Арсену, Плюмбуму, Берилію, Цинку, Купруму, Талію та інших. Сполуки таких елементів проявляють свою токсичність завдяки їх особливим властивостям. Крім того деякі класи неорганічних речовин є небезпечними завдяки приналежності до конкретного класу речовин.

Оксидами називаються речовини, що складаються з двох елементів, одним з яких є кисень зі ступенем окиснення -2 . **Основні оксиди** – це оксиди, яким відповідають їх гідрати – **основи**. До основних оксидів відносяться оксиди лужних, лужноземельних, а також інших металів у нижчих ступенях окиснення. Оксиди лужних і лужноземельних металів при взаємодії з водою утворюють сильні основи – луги. Луги при потраплянні на шкіру викликають сильні хімічні опіки. Це явище пояснюється тим, що розчини лугів мають високі значення рН і здатні розкладати білок шкіри.

Кислотні оксиди це оксиди, яким відповідають їх гідрати – кислоти. Більшість кислотних оксидів взаємодіють з водою з утворенням кислот:



З кислотних оксидів в атмосферу у значних кількостях потрапляють оксиди карбону, нітрогену і сульфуру (CO_2 , NO_2 , SO_2 , SO_3). Ці оксиди отримали назву "**кислих газів**". Їх негативний вплив на навколишнє середовище обумовлено утворенням кислот в результаті реакції з водою.

Діоксид нітрогену – газ бурого кольору, із сильним неприємним запахом. Він уражає легені (набряк легенів), викликає подразнення шкіри та слизових оболонок.

Оксид сульфуру (IV) (сірчистий газ) утворюється при горінні сірки або сульфідів у повітрі. Це безбарвний газ із різким запахом. Навіть мала концентрація його в повітрі викликає подразнення шкіри, кашель, біль в очах, нежить.

Вуглекислий газ (CO_2) – газ без кольору та запаху, зі слабким кислуватим смаком, важчий за повітря. Якщо у повітрі міститься до 3% CO_2 , то він стимулює дихання. При диханні повітрям яке містить 6% CO_2 , з'являється задишка та слабкість, при 10% можливий запаморочний стан, при 20-25 % - смертельне отруєння.

Оксид карбону (II) (CO) і **оксид нітрогену (II) (NO)** відносять до оксидів, що не утворюють солей. Оксид нітрогену (II) в атмосфері легко окиснюється до оксиду нітрогену (IV) тому його теж відносять до кислих

газів.

Дія оксиду карбону (II) (чадного газу) при потраплянні до організму людини обумовлена його міцним зв'язуванням з гемоглобіном крові, що призводить до неможливості перенесення кисню гемоглобіном крові. Це викликає кисневе голодування, яке погано переноситься людиною й може призвести до серйозних порушень із боку різних органів і систем. Особливо чутливі до гіпоксії клітини органів із інтенсивним енергообміном - серцевого м'яза, нирок і головного мозку.

У мозку «місцевих» запасів кисню вистачає лише на 10 с. Мозок, становлячи по масі 2-3% від маси тіла, витрачає близько 20% усього споживаного кисню. Свідомість втрачається вже протягом кілька секунд повної аноксії мозку. Необоротні зміни нейронів настають, через 4-5 хв після припинення постачання до мозку кисню.

Чадний газ може утворюватися під час пожеж, в разі неповного згоряння карбоновмісних речовин. Перші слабкі симптоми отруєння чадним газом спостерігаються після декількох годин перебування людини в атмосфері з концентрацією CO 0,016%. Слабке отруєння спостерігається в разі перебування протягом 1 години в повітрі, що містить 0,048% CO . В разі перебування протягом 0,5-1 години в атмосфері що містить 0,128 % CO спостерігається тяжке отруєння. Короткочасний вплив повітря, що містить 0,4% CO викликає небезпеку смертельного отруєння. Після декількох вдихів повітрям, що містить більше 1% CO призводить до швидкої загибелі людини. Для захисту від нього при гасінні пожеж використовують ізолюючі протигази.

Найбільш поширеними кислотами є хлоридна (соляна), сульфатна (сірчана), нітратна (азотна) і фосфатна (фосфорна) кислоти. Хлоридна кислота – це розчин газу хлороводню у воді. Концентровані розчини **хлоридної кислоти** містять 36-39% HCl . Над концентрованими розчинами цієї кислоти утворюється газоповітряна суміш з великою концентрацією HCl . Хлороводень – негорючий газ з різким запахом в 1,3 рази важчий за повітря. Отруєння звичайно відбувається туманом хлоридної кислоти. Пари діють на організм як через органи дихання, так і через шкіру. ГДК HCl в повітрі робочих приміщень $0,005 \text{ г/м}^3$, при концентрації $0,015 \text{ г/м}^3$ відбувається подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів. Концентрації HCl більше $0,05 \text{ г/м}^3$ важко переносяться.

Нітратна кислота – жовтувата рідина з різким запахом, на повітрі димить, пара важча за повітря в 2,2 рази. ГДК пари HNO_3 в повітрі робочих приміщень $0,005 \text{ г/м}^3$. При концентрації пари HNO_3 більше $0,2 \text{ г/м}^3$ можливий набряк легенів. В разі перевищення концентрації $0,5 \text{ г/м}^3$ відбувається швидка загибель людини. При попаданні рідкої кислоти на шкіру виникає сильний хімічний опік. Особливістю нітратної кислоти є її сильні окислювальні властивості. При контакті з багатьма горючими матеріалами вона може викликати їх самозаймання.

На відміну від нітратної і хлоридної кислоти **фосфатна і сульфатна кислоти** – нелетким речовини. На органи дихання вони можуть негативно

діяти в разі утворенні ними аерозолів. В рідкому стані вони представляють небезпеку в разі попадання в очі та на шкіру. Особливо сильні хімічні опіки шкіри виникають у випадку сульфатної кислоти. Її дія обумовлена не тільки високими кислотними властивостями, але і високими водовідбираючими властивостями.

Фторидна (фтороводнева) кислота безбарвна легколетка рідина з різким запахом. Пара HF легша за повітря (відносна густина за повітрям 0,7). Пара HF або аерозоль фтороводневої кислоти викликає подразнення верхніх дихальних шляхів. ГДК в повітрі робочої зони для HF становить 0,0005 г/м³. При потраплянні на шкіру викликає сильні хімічні опіки. Фтороводнева кислота здатна сильно уражати нігті.

Характерною особливістю фторидної кислоти є її здатність реагувати з силікатними матеріалами, в тому числі зі склом. Тому фторидну кислоту неможна зберігати в скляному посуді.

Однією з найбільш токсичних кислот є **ціановоднева кислота (HCN, синильна кислота)**. та її солі набули широкого застосування в сільському господарстві (як засоби боротьби зі шкідниками плодкових дерев), у промисловості (для видобування золота й срібла з руд), у хімічному синтезі нітрільного каучуку, синтетичних волокон, пластмас і т.д. Синильна кислота зустрічається в рослинах у формі гетероглікозидів. Наприклад, у вигляді амігдаліну HCN міститься в насінні гіркового мигдалю (2,5-3,5%), у кісточках персиків (2-3%), абрикосів і слив (1-1,8%), вишні (0,8%) і ін.

Синильна кислота — безбарвна рідина із запахом гіркового мигдалю. Характерний запах відчувається при концентрації в повітрі 0,009 мг/л. Синильна кислота кипить при +25,7° С. Відносна густина її парів до повітря 0,93. Пара синильної кислоти погано поглинається активованим вугіллем. При взаємодії з лугами HCN утворює солі (ціаністий калій, ціаністий натрій і т.д.), які за токсичністю не поступаються синильній кислоті. При отруєнні через рот смертельними дозами для людини є: HCN - 1 мг/кг; KCN - 2,5 мг/кг; NaCN - 1,8 мг/кг.

Сірководень (H₂S)— безбарвний токсичний газ із неприємним запахом тухлих яєць. Може утворюватися при гнитті органічних сполук, завдяки цьому можливе утворення небезпечних концентрацій сірководню в каналізаційних колекторах і овочесховищах. У воді сірководень розчиняється помірно (в 1 об'ємі води розчиняється 2,5 об'єми H₂S) з утворенням розчину слабкої сірководневої кислоти.

Кислоти можуть руйнувати шкіряний покрив людини та викликати ураження слизових оболонок. При потраплянні у шлунково-кишковий тракт крім ураження поверхонь шлунку та кішок, кислоти порушують процес травлення.

Для кислот характерна здатність реагувати з більшістю конструкційних металів (кислотна корозія). Тому потрапляння кислот на металеві конструкції і обладнання може привести до їх пошкодження або руйнування, що може призвести до аварій.

Уражаюча дія кислот залежить від їх сили і концентрації. Сильні

кислоти є більш небезпечними речовинами ніж слабкі кислоти. Розчини кислот з великою концентрацією проявляють більшу уражаючу дію у порівнянні із розчинами кислот з малими концентраціями.

Солі – це продукти повного або часткового заміщення водню кислоти металом, або продукти обміну гідроксогрупи гідроксидів металів на кислотні залишки. В кислих солях також присутні іони водню, а в основних солях – гідроксид іони. Токсичність солей може бути обумовлена властивостями катіонів і аніонів.

Токсичність солей значною мірою залежить від їх розчинності. Добре розчинні солі у разі наявності в їх складі іонів металу або аніонів які проявляють токсичні властивості є токсичними речовинами. Солі які погано розчиняються навіть у разі наявності в їхньому складі токсичних груп є малотоксичними речовинами. Високотоксичними є добре розчинні солі, так званих, “**важких металів**”. До них відносять більш ніж 40 елементів Періодичної системи з атомною масою більше 50 а.о.м.: **V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi** та інші. Для важких металів характерна висока токсичність по відношенню до живих організмів за відносно низьких концентрацій, а також здатність до біоаккумуляції. Джерелами забруднення довкілля важкими металами є стічні води гальванічних цехів, викиди підприємств гірничо-видобувної, чорної і кольорової металургії. Важкі метали можуть входити до складу добрив і пестицидів. В таблиці 5 наведені ГДК деяких важких металів у воді природних водоймищ.

З аніонів що можуть входити до складу солей найбільш токсичним є ціанід-іон (**CN**). Токсичні властивості проявляють також аніони до складу яких входять важки метали: CrO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$, VO_3^- , $[Zn(OH)_4]^{2-}$, $[HgCl_4]^{2-}$ та інші.

Таблиця 5

ГДК деяких важких металів у воді природних водоймищ

Елемент	<i>Bi</i>	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Hg</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Sr</i>
ГДК, мг/дм ³	0,1	0,001	0,1	0,1	0,1	$5 \cdot 10^{-4}$	0,03	1	2

Солі до складу яких входять метали у високих ступенях окиснення проявляють окисні властивості. Найбільш сильні солі-окисники (**KMnO₄, KClO₃, K₂CrO₄**) здатні викликати самозаймання деяких органічних речовин. В багатьох випадках такі процеси відбуваються вибухоподібно. Деякі солі-окисники здатні під зовнішнім впливом до детонації: **NH₄NO₃, KClO₃** (бертолетова сіль):



З інших неорганічних сполук, що не відносяться до основних класів

неорганічних речовин значне поширення мають: аміак, сірковуглець, фосген.

Аміак – безбарвний, горючий газ з різким запахом. Відносна густина за повітрям 0,59. Концентраційні межі поширення полум'я (15–28)%. Добре розчиняється у воді (1:700 – за об'ємом). Водний розчин аміаку має лужну реакцію середовища, його використовують як концентроване азотне добриво (аміачна вода). Аміак використовують у виробництві азотної кислоти, вибухових речовин і азотних добрив. У великих кількостях аміак використовують в якості холодоагенту в холодильних агрегатах. Такі холодильні агрегати використовують на м'ясокомбінатах, багато з яких знаходяться в межах населених пунктів. У зв'язку із цим аміак відносять до однієї з поширених аварійно небезпечних хімічних речовин.

Сірковуглець (CS₂) – безбарвна, легко летуча рідина з ефірним запахом. У воді розчиняється погано, добре розчиняється в більшості органічних розчинників. Пара сірковуглецю легко займається від мало енергетичних джерел запалювання. Основний шлях потрапляння до організму – через органи дихання. Може потраплять до організму також крізь шкіру, при цьому викликає хімічні опіки. ГДК сірковуглецю в повітрі робочої зони 0,001 г/м³.

Фосген – дуже токсичний безбарвний газ із запахом прілого сіна. Уражає легені людини, проявляє кумулятивну дію. Застосовувався як бойова отруйна речовина. ГДК фосгену в повітрі робочої зони 0,0005 г/м³.

Тема 8. Небезпечні властивості органічних речовини

Великої шкоди екологічному стану завдає забруднення навколишнього середовища **органічними сполуками**. Більшість органічних сполук є токсичними. Слід зауважити, що на живі істоти можуть впливати не тільки самі речовини, а і продукти їх розкладання або метаболізму. Так, сам метанол є малотоксичною речовиною, але в організмі людини він окиснюється до альдегіду метанолу, який є набагато більш токсичним. Метаналь у відносно малих кількостях уражає органи зору, в більших кількостях він призводить до загибелі організму. Крім того, більшість органічних сполук є горючими речовинами, а деякі з них можуть детонувати за відсутності кисню.

Основні класи органічних речовин, їх загальні формули і окремі представники наведені у таблиці 6.

Таблиця 6. Назви та загальні формули органічних сполук

Гомологічний ряд	Загальна формула	Закінчення або префікс	Приклад
Алкани (насичені вуглеводні)	C _n H _{2n+2}	ан	C ₂ H ₆ – етан
Циклоалкани	C _n H _{2n}	циклоалкан	C ₆ H ₁₂ – циклогексан
Алкени (етиленові вуглеводні)	C _n H _{2n}	ен	C ₄ H ₈ – бутен

Диєнові вуглеводні	C_nH_{2n-2}	диєн	C_4H_6 – бутадієн
Алкїни (ацетиленові вуглеводні)	C_nH_{2n-2}	їн або ин	C_2H_2 – етин, C_3H_4 – пропїн
Ароматичні вуглеводні	C_6H_5-R	бензол	$C_6H_5-CH_3$ – метил- бензол
Спирти	$R-OH$	ол	CH_3-OH – метанол
Спирти двоатомні	$2-OH$	діол	CH_2OH-CH_2OH – етандіол-1,2
Феноли	$R-C_6H_4-OH$	фенол	$CH_3-C_6H_4-OH$ – метилфенол
Альдегіди	$R-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow H \end{array}$	аль	$H-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow H \end{array}$ метаналь
Кетони	$R_1-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow O \\ \text{---} R_2 \end{array}$	он	$CH_3-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow CH_3 \end{array}$ пропанон-2
Карбонові кислоти	$R-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow OH \end{array}$	кислота	$CH_3-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow OH \end{array}$ – етанова кислота
Прості ефіри	R_1-O-R_2	ефір	CH_3-O-CH_3 диметиловий ефір
Складні ефіри	$R_1-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow OR_2 \end{array}$	ефір	$H-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow O-CH_3 \end{array}$ етиловий ефір мурашиної кислоти
Нїтросполуки	$R-NO_2$	нїтро	CH_3NO_2 нїтрометан
Аміни	$R-NH_2$	амїн	$C_2H_5-NH_2$ етиламін

Для кожного класу органічних речовин характерні загальні токсичні властивості. Крім того для окремих представників кожного класу органічних можливе проявлення індивідуальних особливостей токсичної дії.

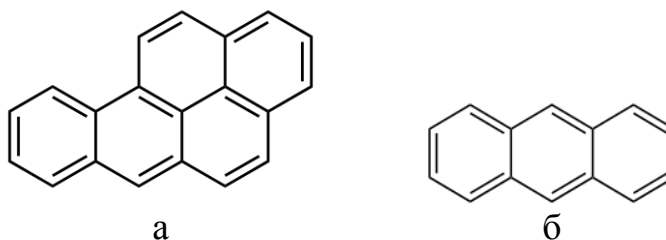
Вуглеводні (алкани, алкени, алкїни та ароматичні сполуки) горючі речовини, їх суміші з повітрям здатні вибухати. Більшість **алканів** відносять до малотоксичних речовин (IV клас небезпеки). При високих концентраціях

проявляють токсичну і пожежну небезпеку. Алкани мають помітну наркотичну дію, деякі з рідких алканів проявляють подразнюючий ефект.

Вуглеводні є основною складовою **нафти** і продуктів її переробки (бензину, гасу, дизельного пального). Аварійне потрапляння нафти та нафтопродуктів до навколишнього середовища викликають забруднення ґрунту, води і повітря. Велику екологічну загрозу мають аварії танкерів що перевозять нафту. Плівка нафти порушує газообмін, змінює інтенсивність проникнення у воду світла. Плівка завтовшки 30-40 мкм повністю поглинає інфрачервоне випромінювання. Змішуючись з водою, нафта утворює емульсію двох типів: пряму – «нафта у воді», і зворотну – «вода у нафті». Прямі емульсії, складені крапельками нафти діаметром до 0,5 мкм, менш стійкі і характерні для нафти, яка має поверхнево-активні речовини. При виділенні летких фракцій, нафта утворює в'язкі оборотні емульсії, які можуть зберігатися на поверхні, переноситись течією, викидатися на берег і осідати на дно.

Ненасичені вуглеводні (алкени і алкіни) за пожежонебезпечними властивостями схожі на алкани, але за токсичністю перевершують їх.

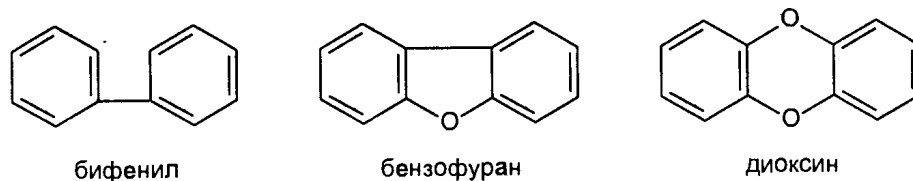
Токсичність **ароматичних сполук** значно перевершує токсичність інших вуглеводнів. Так перший член ряду ароматичних сполук – бензол, відноситься до другого класу небезпеки, тоді як більшість алканів, алкенів і алкінів відносяться до четвертого класу небезпеки. Особливу небезпечні властивості проявляють **поліциклічні ароматичні сполуки**. Деякі з них відносяться до першого класу небезпеки. Поліциклічні ароматичні сполуки – це органічні сполуки бензойного ряду, які мають в своєму складі декілька бензольних кілець. Основними представниками їх – є бензапірен і антрацен.



Структурні формули бензаперену (а) і антрацену (б)

Бензапірен у невеликих кількостях може утворюватися при спалюванні вуглеводневих палив, в тому числі при роботі двигунів внутрішнього згорання. Міститься бензапірен і у табачному димі. Кожна цигарка є джерелом приблизно 52-95 нанограм бензапірену. Бензапірен здатний до накопичування в організмі людини. При досягненні критичної концентрації бензапірен викликає утворення злоякісних пухлин.

Високу токсичність проявляють похідні **поліциклічних ароматичних сполук**: полігалогеновані ароматичні вуглеводні (ПГВ), галогеновані діоксини, дибензофурані й біфеніли, серед них найбільшу біологічну активність мають діоксин і діоксинподібні речовини.

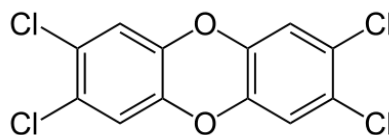


Структура основних класів поліциклічних вуглеводнів

Хлоровані сполуки можуть утворюватися при взаємодії хлору з ароматичними вуглеводнями в кисневому середовищі, зокрема, при хлоруванні питної води. До інших джерел надходження ПГВ у навколишнє середовище відносять: термічне розкладання хімічних продуктів за низьких температур, металообробна й металургійна промисловість, вихлопні гази автомобілів, лісові пожежі, а також виробництво й застосування деяких видів пестицидів. Діоксини можуть утворюватися під час спалювання пластмас на сміттєпереробних заводах. Але існують режими спалювання ($t > 1000^\circ\text{C}$), коли діоксини не утворюються.

Різноманітність хімічної структури діоксинів визначається типом галогену (хлор або бром), числом його атомів у молекулі й можливістю ізомерії (положення галогенів у молекулі). У наш час налічується кілька десятків сімейств цих отрут, а загальне число сполук перевищує тисячу.

Діоксини відрізняються надзвичайною стійкістю, накопичуються в об'єктах зовнішнього середовища, організмах тварин, передаються по харчових ланцюгах. У зовнішньому середовищі діоксини абсорбуються на органічних, пилових і аерозольних частках, розносяться повітряними потоками, надходять у водні екосистеми. У донних відкладеннях стоячих водойм можуть зберігатися десятки років. Період напівелімінації із ґрунту становить 1-1,5 року. За іншим даними, цей строк значно більший (близько 10 років), що визначається кліматогеографічними умовами й характером ґрунту. Отрута віднесена до числа «суперекотоксикантів». 2,3,7,8-тетрахлордибензо-пара-діоксин (ТХДД) — самий токсичний представник групи. Його ефективна доза становить 1 мкг/кг.



Структурна формула 2,3,7,8-тетрахлордибензо-пара-діоксину

За токсичністю *галогенопохідні вуглеводнів* значно перевищують відповідні алкани. Причому зі збільшенням кількості атомів галогенів токсичність галогенопохідних зростає. В ряду F—Cl—Br—I токсичність галогенопохідних також збільшується. Багато галогенопохідних вуглеводнів проявляють наркотичну дію. Трихлорметан (хлороформ) і тетрахлорметан

мають наркотичну дію. Хлороформ викликає загальний наркоз. При отруєнні хлороформом може виникнути припинення дихання.

Серед галогенопохідних вуглеводнів виділяють окремих вид – **фреони**. Фреони раніше широко застосовувалися в холодильній техніці і як засіб пожежогасіння. Але після того як було встановлено руйнівну дію фреонів на озоновий шар Землі, їх використання було обмежено.

Більшість **спиртів** відносяться до III і IV класу небезпеки. Найменш токсичним спиртом є етанол, його ГДК у повітрі робочої зони становить 1000 мг/м³. ГДК для інших спиртів в десятки – сотні разів менші ніж для етанолу. Причому зі зростанням кількості атомів карбону токсичність спиртів зростає. Виключенням є метанол, його ГДК у повітрі робочої зони становить 5 мг/м³. Метанол дуже небезпечний при потрапленні до шлунку. Токсичність метанолу залежить від особливостей організму людини. Смертельна доза метанолу при потрапленні його до шлунку становить 30-100 г, при менших дозах може відбутися втрата зору. Метанол за зовнішнім видом, запахом і смаком майже не відрізняється від етанолу, що в багатьох випадках призводило до його вживання замість етанолу. Тому існують жорсткі вимоги до його перевезення і зберігання.

Тривале вживання етанолу призводить до хронічного захворювання – алкоголізму, та може викликати ряд порушень функцій організму (цироз печінки, ураження нирок, виродження серцевого м'язу).

Токсичність ненасичених спиртів перевищує таку для насичених. Двохатомні спирти мають високу токсичність. Двохатомний спирт – етиленгліколь (етандіол–1,2) широко застосовується в техніці як антифриз. Смертельна доза для дорослої людини при потрапленні до шлунку становить 100–150 г.

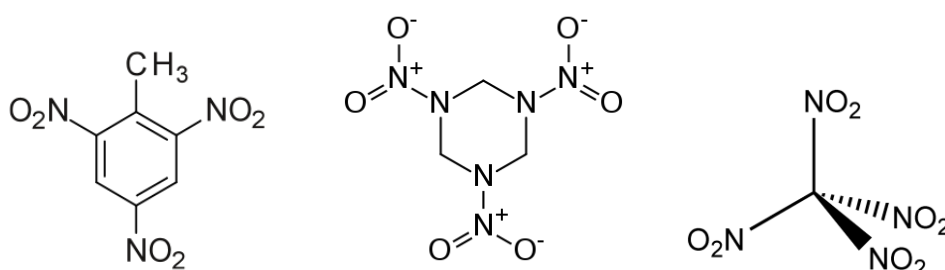
Небезпека спиртів також пов'язана з їх горючістю – пара спиртів може займатися або вибухати при контакті з джерелом запалення.

Більшість **альдегідів** є помірно токсичними речовинами, вони проявляють подразнюючу дію та негативно впливають на нервову систему. Метаналь уражає нервову систему, печінку, нирки, серце та головний мозок. Зі збільшенням кількості атомів карбону у альдегідів подразнююча дія зменшується. Ненасичені альдегіди більш токсичні ніж насичені. **Кетони** порівняно із альдегідами є менш токсичними речовинами. Так ГДК ацетону (пропанону–2) у повітрі робочої зони становить 200 мг/м³. Ацетон проявляє наркотичну дію, він повільно виводиться з організму. Перші члени гомологічних рядів альдегідів і кетонів є легколетучими горючими речовинами, завдяки чому вони пожежо- та вибухонебезпечні.

Більшість **простих та складних ефірів** відносяться до III і IV класів небезпеки. Деякі з них проявляють наркотичну дію. Подразнююча дія ефірів низка. Ефіри – легколетучі горючі речовини, тому вони пожежонебезпечні. Для ефірів характерно утворення пероксидів під час зберігання. Органічні пероксиди здатні вибухати, тому робота з простими та складними ефірами потребує заходів щодо виключення умов їх вибуху.

Пара **карбонових кислот** викликає подразнення слизових оболонок дихальних шляхів. При контакті зі шкірою концентровані карбонові кислоти викликають хімічні опіки. При потраплянні у шлунок 10-20 г оцтової (етанової) кислоти або такої самої кількості (у перерахунку на чисту кислоту) оцтової есенції може наступити загибель людини.

Більшість **нітросполук** мають сильну подразнюючу дію. Вони викликають сильне ураження нервової системи, викликають захворювання печінки, а також порушують обмін речовин в організмі людини. Ароматичні та ненасичені нітросполуки більш токсичні за насичені нітросполуки. Ще більшу токсичність мають хлоровані нітросполуки. Нітросполуки які містять у своєму складі багато нітрогруп (більше двох) мають здатність детонувати (тринітротолуол, гексоген, тетранітрометан):



Для **амінів** характерна здатність до ураження нервової системи. Деякі ароматичні аміни мають канцерогенні властивості. Диметилгідрозин несиметричний (компонент ракетного палива – гептіл) сильно подразнює шкіру, слизові оболонки очей та дихальних шляхів. ГДК диметилгідрозину несиметричного в повітрі робочої зони – 1 мг/м³. Аміни є горючими речовинами, причому деякі з них здатні займатися при контакті з сильними окисниками.

Токсичність **полімерних матеріалів** обумовлена наявністю в їх складі неполімеризованих (залишкових) **мономерів** і різноманітних домішок (барвників, пластифікаторів, отверджувачів, ініціаторів полімеризації, антиоксидантів). Більшість пластмас є горючими речовинами. При горінні їх можуть утворюватися токсичні продукти горіння (синильна (ціанідна) кислота, фосген (COCl₂), хлороводень, чадний газ (CO)). Під час пожеж основним фактором що викликає загибель людей є наявність токсичних продуктів горіння.

Пестициди складають групу штучно утворених речовин, які використовуються для боротьби зі шкідниками і хворобами рослин. Більшість пестицидів наносять шкоду і багатьом корисним організмам, в тому числі і людині. Багато з пестицидів – є хлорорганічними сполуками. Ці сполуки мають періоди напіврозпаду до кількох десятків років і дуже стійкі до біодеградації. Навіть у найменших концентраціях вони пригнічують імунну систему організму й зменшують його здатність до адаптації у змінених умовах зовнішнього світу, виявляють мутагенну та канцерогенну дію, уражають центральну нервову систему, травні органи та інше.

Поверхнево активні речовини (ПАР) широко застосовуються в промисловості і побуті (мила, пральні порошки, засоби для миття посуду). В пожежної справі використовуються **піноутворювачі**, основу яких складають ПАР. Вони також входять до складу розчинів для дезактивації і дегазації. ПАР – є помірно токсичними речовинами з широким спектром токсичної дії. Під час контакту зі шкірою ПАР можуть викликати алергічні реакції. Переважно ПАР забруднюють воду водоймищ. ГДК аніонних ПАР у воді водоймищ становить $0,5 \text{ мг/м}^3$. Найбільші токсичні властивості мають катіонні ПАР, менші - аніонні.

Для виготовлення піноутворювачів можна використовувати тільки ПАР які відносяться до 3 або 4-го класу небезпеки, і є також **біологічно "м'які"**. Біологічно "м'які" ПАР здатні розкладатися під дією мікрофлори водоймищ і ґрунтів не менш як на 80 %. Якщо здатність до розкладання у навколишньому середовищі менша ніж 80 % речовина відноситься до **біологічно "жорсткої"**.

Вплив функціональних груп на токсичність органічних сполук

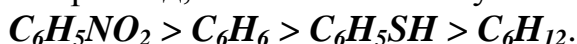
Вплив будови органічних сполук на їх токсичність можна оцінити за такими правилами. Функціональні групи, які **зменшують токсичність** органічних речовин: $-SH$, $-SO_3H$, $-COOH$, CH_3-CO- , C_2H_5- .

Функціональні групи які **збільшують токсичність** органічних речовин: $-NO_2$, $-NH_2$, $-C\equiv N$, $-CH_3$, $CH_2=CH-$, $-N=O$.

Токсичність аліфатичних вуглеводнів **збільшується зі збільшенням кількості атомів карбону у ланцюгу та збільшенням його розгалуження.**

Ненасичені вуглеводні більш токсичні, ніж насичені.

Наприклад, токсичність сполук зменшується в ряду:



На токсичність органічних сполук впливає **взаємне розміщення функцій цих груп у молекулі**. Так, **оптично активні ізомери токсичніші** за відповідні оптично неактивні. Відповідні **пара-ізомери** ароматичних сполук **токсичніші за мета-ізомери, а мета-ізомери токсичніші за орто-ізомери.**

Іншим правилом є таке: **збільшення кількості метильних груп збільшує токсичність органічної сполуки.** Це явище враховують при синтезі пестицидів.

Ще декілька закономірностей пов'язано із розташуванням гідроксильної групи, яка пов'язана з алкільним радикалом. **Введення $-OH$ групи призводить до посилення паралітичної дії на клітини мозку.** Первинні одноатомні спирти мають наркотичну дію, причому ця дія збільшується зі зменшенням кількості атомів карбону в ланцюгу. Це підтверджується тим фактом, що метанол є найбільш токсичним із одноатомних спиртів. Проте, разом зі збільшенням кількості гідроксильних груп у молекулі її токсичність зменшується. Наприклад, токсичність спиртів в ряду: пропанол-1; пропандіол-1,2; пропантріол-1,2,3; – зменшується.

Гідроксильна група також збільшує токсичність ароматичних сполук. Наприклад, фенол більш токсичний, ніж бензол.

На стійкість молекули в біосфері впливає кількість атомів хлору в молекулі – чим більша кількість атомів хлору, тим повільніше розкладається молекула органічної речовини. Для деяких груп речовин з'ясовано вплив елементів будови на мутагенні і канцерогенні властивості. Наприклад, для нітроаренів наявність нітрогрупи і чотирьох або шести сусідніх атомів карбону збільшує мутагенні і канцерогенні властивості.

Тема 9. Методи знешкодження і утилізації небезпечних речовин

Поняття про хімічний аналіз токсичних неорганічних речовин

Для з'ясування можливого негативного впливу на здоров'я людини використовують *екологічні нормативи*. Деяким екологічним нормативам надана функція стандартів. Таким стандартом є *величина гранично допустимої концентрації (ГДК)* шкідливих речовин в різних середовищах (повітрі, ґрунті, річковій воді, питній воді).

Однією з найважливіших екологічних характеристик води є її водневий показник (рН). Значення рН води, яку можна використовувати в побуті, повинно бути близьким до 7 (нейтральне середовище). Кількісно кислотність середовища визначається як:

$$pH = - \lg[H^+],$$

де $[H^+]$ концентрація іонів гідрогену.

Для визначення якісного складу речовини застосовують *хімічні, фізико-хімічні і фізичні методи досліджень*. Хімічні методи базуються на використанні хімічних реакцій. Речовини, за допомогою яких визначають елементи або іони, називають *аналітичними реагентами*. Реагенти, які дають характерні реакції тільки з одним іоном (речовиною) і дозволяють визначати його в суміші з іншими іонами, називаються *специфічними*.

Хімічні і фізико-хімічні методи знешкодження токсичних неорганічних речовин

Токсичні неорганічні речовини можуть потрапляти в навколишнє середовище як завдяки природним процесам (виверження вулканів, лісові пожежі, грози), так і завдяки діяльності людини. Останній фактор, з огляду на швидкий розвиток промисловості і сільського господарства, все більше впливає на стан навколишнього середовища. Так, теплові електростанції викидають в атмосферу вуглекислий газ, оксиди нітрогену і сульфур, пил. Шкідливий вплив на атмосферу міст спричиняє автотранспорт. Природні води забруднюються промисловими і побутовими стічними водами.

Особливу небезпеку для навколишнього середовища, життя та здоров'я людини являють *надзвичайні ситуації*, пов'язані із *потраплянням в навколишнє середовище токсичних і хімічно агресивних неорганічних речовин*. Такі надзвичайні ситуації в більшості випадків пов'язані з *аваріями*

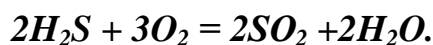
на виробництві або транспорті. Токсичні та агресивні речовини, що потрапили в навколишнє середовище, потрібно **зібрати** та **видалити** або **знешкодити** (нейтралізувати).

Складну задачу являє собою знешкодження **токсичних газоподібних речовин**. У разі їх потрапляння в атмосферу вони швидко розповсюджуються і викликають забруднення атмосфери на великих площах. Однією з можливих надзвичайних ситуацій є потрапляння в атмосферу аміаку. Для зменшення ефекту зараження повітря **аміаком** застосовують розпилення води (водяні завіси). В такому випадку використовують властивість аміаку добре розчинятися у воді.

Іншою надзвичайною ситуацією є потрапляння в повітря сірководню (H_2S). **Сірководень** є дуже токсичним газом. Розчинність у воді сірководню невелика, тому створення водяних завіс для поглинання сірководню малоефективне. Краще за воду сірководень поглинають розчини лугів або речовин, що утворюють лужне середовище. В такому випадку відбувається зв'язування сірководню у нелетучі сполуки:



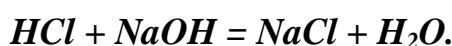
Якщо в ситуації із потраплянням газоподібного сірководню в атмосферу існують відповідні умови, застосовують спалювання горючого газу:



Хоча при горінні сірководню утворюється SO_2 , його токсичність набагато менша ніж H_2S .

Великої шкоди завдає забруднення **природних вод**. Основним джерелом забруднення природних вод є **стічні води** промисловості, сільського господарства та побутові стічні води. Для їх очищення використовують **механічні, хімічні, фізико-хімічні і біологічні методи**. Основними **методами хімічного очищення** вод є **нейтралізація, окиснення і осадження**.

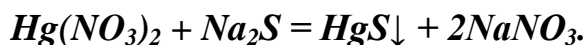
Нейтралізацію здійснюють для приведення **pH** води до реакції, близької **до нейтральної (pH = 6,5 – 8,5)**. Частіше зустрічаються води з підвищеною кислотністю (pH < 6,5). Такі води **нейтралізують** за допомогою реагентів основного характеру (негашене або гашене вапно, кальцинована або каустична сода):



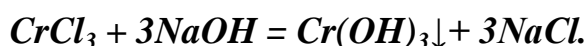
Якщо стічні води мають лужний характер, їх нейтралізують речовинами кислотного характеру: HCl , H_2SO_4 , CO_2 .



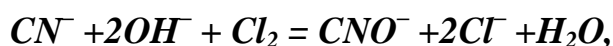
Для вилучення із стічних вод іонів важких металів застосовують **реакції осадження**. Для проведення такої реакції треба підібрати реагент, здатний утворити нерозчинну сполуку. Для виділення з розчинів іонів важких металів використовують сульфідний метод, який базується на осадженні металів у формі нерозчинних сульфідів:



Багато металів можна перевести в нерозчинений стан за допомогою лугів:



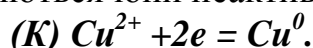
В багатьох випадках гарні результати дають **методи окиснення**. При окисненні отруйні речовини можуть переходити у нетоксичні або малотоксичні сполуки. Як окисник найчастіше застосовується хлор. Так, хлор ефективно руйнує в розчинах дуже токсичні ціаніди:



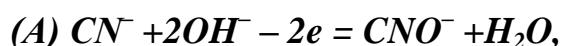
Ще більш ефективним окисником є озон, він здатен окиснювати як органічні, так і неорганічні сполуки:



До **фізико-хімічних методів** очищення вод відносять: **електроліз, сорбцію, коагуляцію, іонний обмін, електродіаліз** та інші. Разом із хлоруванням або озонуванням забруднених вод для їх очищення застосовують електрохімічне окиснення і відновлення. В основу цього методу покладено реакції анодного окиснення і катодного відновлення. В такому випадку на катоді виділяються іони неактивних металів:



На аноді окиснюються такі іони як CN^- , CNO^- :



Природні та стічні води мають у своєму складі частинки колоїдних розмірів (0,001–0,1 мкм). Їх неможливо вилучити з води шляхом відстоювання і фільтрування. Але при додаванні до таких вод **коагулянтів** частинки злипаються, збільшуються в розмірах і осаджуються. Одержані таким чином осади легко вилучаються шляхом фільтрування.

Для очищення вод широке застосування знайшов **метод іонного обміну**. Цей метод базується на обміні між іонами, які знаходяться в розчині,

та іонами, наявними на поверхні твердої фази, – **іонітами**. Іоніти поділяють на катіоніти [К] і аніоніти [А]. На катіоніті відбувається обмін катіонами (Kat^{n+}), а на аніоніті – аніонами (An^{n-}):



Сорбційні методи очищення вод використовуються в основному для виділення органічних речовин. Як сорбенти використовуються природні та штучні пористі матеріали. Як сорбент найчастіше використовують активоване вугілля.

Методи знешкодження органічних речовин

Токсичні органічні речовини, що потрапили в навколишнє середовище, потрібно **зібрати** та **видалити** або **знешкодити**. Для нейтралізації органічних речовин використовують різноманітні методи: **термічні (вогневі), сорбційні, електрохімічні, хімічні, біологічні**.

Широке поширення знайшли **термічні методи**. В деяких випадках можна просто спалювати токсичні органічні речовини. Це роблять в таких випадках коли не утворюються токсичні продукти горіння або їх легко знешкодити. Режими спалювання або термічної дії значною мірою впливає на токсичність продуктів горіння або термодеструкції органічних речовин. Так при простому спалюванні побутових відходів, що містять полімери та галогенопохідні вуглеводнів утворюються дуже токсичні діоксини. Підібрані такі режими спалювання або термічної дії які забезпечують відсутність в продуктах реакцій цих токсичних речовин. Використовуються також методи піролізу і плазмовий.

Сорбційний методи очищення газів від органічних речовин використовується у протигазах. В такому випадку у якості адсорбенту в більшості випадків застосовується активоване вугілля. Сорбційний метод використовується при збиранні нафти та нафтопродуктів з поверхні води у випадку розливу таких речовин.

При **біологічному очищенні** від органічних речовин, в середовище що очищують додають спеціально підібрані мікроорганізми. Ці мікроорганізми переробляють органічні речовини у вуглекислий газ, воду та гумус. В деяких випадках при біологічному очищенні одержують біогаз. Біологічне очищення використовується як одна із стадій очищення стічних вод.

Під час **хімічних та електрохімічних** методів очищення за допомогою електролізу або хімічних реактивів токсичні органічні речовини перетворюють у нешкідливі. Різновидом таких методів є метод хімічного або електрохімічного **окиснення**. У випадку використання озону в якості окисника метод має назву – **озонування**.

Приклади розв'язання задач.

Приклад 10.

Що таке «небезпечні хімічні речовини»? Які ще Вам відомі терміни для таких речовин?

Розв'язання.

Небезпечна хімічна речовина – речовина, безпосередня чи опосередкована дія якої на людину може спричинити загибель, гостре або хронічне захворювання людей, завдає шкоди навколишньому середовищу. Для небезпечних речовин використовують також терміни: отрути і токсиканти.

Приклад 11.

До якого класу небезпеки відноситься речовина для якої ГДК в повітрі робочої зони складає 8 мг/м^3 , середня смертельна доза при потраплянні речовини до шлунку – 140 мг/кг , середня смертельна доза при потраплянні речовини на шкіру 2200 мг/кг , середня смертельна концентрація речовини в повітрі, 55 мг/м^3 ?

Розв'язання.

Для відповіді на це питання використаємо таблицю 4. Клас небезпеки встановлюють за найбільш жорстким показником, характерним для даної речовини. Таким чином речовина відноситься до другого класу небезпеки (високонебезпечні речовини).

Приклад 12.

Які існують типи комбінованої дії токсичних речовин?

Розв'язання.

При потраплянні до організму одночасно декількох токсичних речовин приводе до їх комбінованої дії. Комбінована дія може бути трьох типів:

- синергізм – одна речовина підсилює токсичну дію іншого;
- антагонізм – одна речовина послаблює токсичну дію іншого;
- адитивна дія речовин в комбінації додаються.

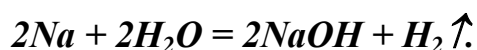
Приклад 13.

Яку небезпеку можуть проявляти метали у вигляді простих речовин?

Розв'язання.

Найбільш токсичним металом є ртуть – це єдиний метал який має помітну летучість. Вона утворює дуже токсичну пару.

Велику пожежну небезпеку проявляють лужні та лужноземельні метали – вони здатні легко займатися і інтенсивно горіти. Небезпечним є контакт цих металів з водою – при цьому виділяється вибухонебезпечний газ (водень). Небезпечним також є контакт таких металів зі шкірою. Лужні і лужноземельні метали при контакті зі шкірою викликають її сильне ураження через те, що у місці контакту між металом і шкірою утворюються луги –



У пожежному плані небезпечними є і деякі метали середньої активності. Такі властивості вони проявляють в подрібненому стані (алюмінієві, магнієві і залізні порошки і стружка).

Небезпеку викликає також здатність конструкційних металів до корозії. Завдяки корозії можливі аварії і катастрофи на транспорті, в промисловості, сільському господарстві і побуті.

Приклад 14.

Дати характеристику небезпечних властивостей оксидів карбону.

Розв'язання.

Карбон утворює два оксиди – вуглекислий газ (CO_2) і чадний газ (CO).

Вуглекислий газ (CO_2) – газ без кольору та запаху, зі слабким кислуватим смаком, важчий за повітря. Якщо у повітрі міститься до 3% CO_2 , то він стимулює дихання. При диханні повітрям яке містить 6% CO_2 , з'являється задишка та слабкість, при 10% можливий запаморочний стан, при 20-25 % - смертельне отруєння.

Дія оксиду карбону (II) (чадного газу) при потраплянні до організму людини обумовлена його міцним зв'язуванням з гемоглобіном крові, що призводить до неможливості перенесення кисню гемоглобіном крові. Чадний газ може утворюватися під час пожеж, в разі неповного згоряння карбоновмісних речовин. Перші слабкі симптоми отруєння чадним газом спостерігаються після декількох годин перебування людини в атмосфері з концентрацією CO 0,016%. Слабке отруєння спостерігається в разі перебування протягом 1 години в повітрі, що містить 0,048% CO. В разі перебування протягом 0,5-1 години в атмосфері що містить 0,128 % CO спостерігається тяжке отруєння. Короткочасний вплив повітря, що містить 0,4% CO викликає небезпеку смертельного отруєння. Після декількох вдихів повітрям, що містить більше 1% CO призводить до швидкої загибелі людини. Для захисту від нього при гасінні пожеж використовують ізолюючи протигази.

Приклад 15.

Як водневий показник впливає на подразнюючу дію водних розчинів?

Розв'язання.

Однією з найважливіших екологічних характеристик води є її водневий показник (рН). Він кількісно визначає кислотність середовища, яка визначається як: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$, (де $[\text{H}^+]$ концентрація іонів гідрогену). Значення рН води, яку можна використовувати в побуті, повинно бути близьким до 7 (нейтральне середовище).

При збільшенні рН (зменшенні концентрації іонів водню) збільшується концентрація гідроксильних іонів – середовище стає лужним. Це викликає посилення подразнюючої дії розчинів. Якщо рН стає більше за 12 розчин починає руйнувати шкіру. Особливо небезпечно потрапляння такі розчинів в

очі. При зменшенні рН (збільшенні концентрації іонів водню) – середовище стає кислим. Якщо рН стає менше за 2 розчин починає викликати хімічні опіки шкіри. Особливо небезпечно потрапляння такі розчинів в очі.

Приклад 16.

Чім відрізняється розповсюдження в повітрі аміаку і хлору? Які небезпечні властивості проявляють ці речовини?

Розв'язання.

Хлор зберігають і транспортують в скрапленому вигляді. В разі розгерметизації ємностей з хлором він потрапляє в повітря, при цьому утворюється газо-повітряна хмара з великою концентрацією хлору. Завдяки тому, що хлор в 2,5 рази важчий за повітря така хмара буде рухатися за вітром близько до поверхні землі. Хлор є дуже токсичним газом, який уражує в основному органи дихання.

Аміак – безбарвний, горючий газ з різким запахом. Його також як і хлор зберігають і транспортують в скрапленому вигляді. Відносна густина аміаку за повітрям 0,59. Тому він здатен швидко підніматися у гору. Крім токсичності, за якою він уступає хлору, аміак є пожежо і вибухонебезпечною речовиною. Концентраційні межі поширення полум'я (15–28)%.

Приклад 17.

Які небезпечні властивості має кисень?

Розв'язання.

Кисень – газ без кольору і запаху. Наявність підвищених концентрацій кисню в атмосфері підвищує пожежну безпеку. Кисень – газ що бере участь в окисних процесах в живому організмі. В атмосфері вміст кисню становить 21%. Зменшення вмісту кисню призводить до негативних наслідків. В разі зменшення вмісту кисню до 16-17% у людини посилюється серцебиття та з'являється задишка. При вмісті кисню 11-13% спостерігається серцева нестача, підвищується частота пульсу та дихання. Якщо вміст кисню зменшується до 10% відбувається втрата свідомості (запаморочення). При вмісті кисню 7-8% може наступити загибель людини.

В умовах високогір'я знижується парціальний тиск усіх газів повітря, в тому числі і кисню. Вважається, що граничне значення парціального тиску кисню у повітрі що вдихають становить 13 кПа. При меншому тиску в організмі людини відбуваються функціональні розлади.

Дихання повітрям, що має в своєму складі підвищений вміст кисню в основному безпечно для людини. Але дихання чистим киснем протягом трьох діб привде до розвитку запальних процесів у легенях людини. Дихання газовими сумішами в яких парціальний тиск кисню перевищує 0,28 МПа (водолазні роботи на великих глибинах) може привести до кисневого отруєння.

Кисень зберігають і транспортують у балонах під високим тиском. Ці балони можуть сильно вибухати при підвищенні тиску в них вище критичної. Це може відбуватися при неправильній їх експлуатації. Неможна допускати

нагрівання цих балонів та їх механічне пошкодження. Особливо небезпечно застосування змазки при експлуатації кисневих балонів.

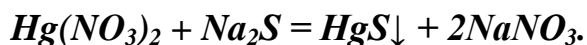
Приклад 18.

Запропонувати хімічні методи видалення солей важких металів зі стічних вод.

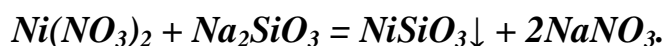
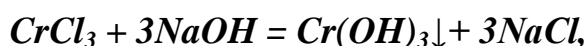
Розв'язання.

Токсичність солей залежить від їх розчинності. Добре розчинні солі у разі наявності в їх складі іонів металу або аніонів які проявляють токсичні властивості є токсичними речовинами. Солі які погано розчиняються навіть у разі наявності в їхньому складі токсичних груп є малотоксичними речовинами. Високотоксичними є добре розчинні солі, так званих, “важких металів”. До них відносять більш ніж 40 елементів Періодичної системи з атомною масою більше 50 а.о.м.: *V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi* та інші. Для важких металів характерна висока токсичність по відношенню до живих організмів за відносно низьких концентрацій, а також здатність до біоаккумуляції.

Найбільш простим методом видалення таких солей є осадження їх іонів з розчинів. Для проведення такої реакції треба підібрати реагент, здатний утворити нерозчинну сполуку. Для виділення з розчинів іонів важких металів використовують сульфідний метод, який базується на осадженні металів у формі нерозчинних сульфідів:



Багато металів можна перевести в нерозчинений стан за допомогою лугів або силікатів:



Осади сполук важких металів, що утворились можна видалити шляхом фільтрування.

Приклад 19.

Які органічні сполуки проявляють найбільшу токсичність?

Розв'язання.

Особливу небезпечні властивості проявляють поліциклічні ароматичні сполуки та їх похідні, деякі з них відносяться до першого класу небезпеки. Поліциклічні ароматичні сполуки – це органічні сполуки бензойного ряду, які мають в своєму складі декілька бензольних кілець. Основними представниками їх – є бензапірен і антрацен. Бензапірен здатний до накопичування в організмі людини. При досягненні критичної концентрації бензапірен викликає утворення злужісних пухлин.

Дуже небезпечним для природного середовища й людини є забруднення біосфери хлорорганічними сполуками. Ці сполуки, крім того,

що вони є токсичними, ще й дуже стійкі і здатні накопичуватися в організмі людини. До класу хлорорганічних сполук відносяться багато пестицидів. Так сумно відомий ДДТ (дихлордифенілтрихлоретан) вже заборонено багато років, однак він зустрічається в організмах живих істот в малонаселених районах півночі, у джунглях південної Америки і Африки. Ще більш токсичними є хлорполіциклічні сполуки: гексахлоран, діоксин, хлоразобензен. Їх небезпечність полягає у високій біологічній активності та здатності до біопереносу в природі. Навіть у малих концентраціях ці сполуки пригнічують імунну систему, уражають центральну нервову систему, викликають появу злоякісних пухлин.

Особливу небезпеку представляють діоксини. В токсикології під терміном “діоксини” розуміють сполуку 2,3,7,8 – тетрахлордibenзодіоксин та схожі із нею сполуки із числа поліхлорованих поліциклічних сполук. Величина LC_{50} для таких сполук становить 10^{-6} г/кг, що суттєво менше ніж для багатьох бойових отруйних речовин.

Приклад 20.

Якої об’ємної частки пари ацетону в повітрі відповідає концентрація ацетону, що дорівнює його ГДК (200 мг/м^3)?

Розв’язання.

1. $M(C_3H_6O) = 58 \text{ г/моль}$.
2. Який об’єм займуть 200 мг ацетону.

$$V(C_3H_6O) = \frac{m \cdot V_M}{M} = \frac{0,2 \cdot 22,4}{58} = 0,077 \text{ л} = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$3. \omega(C_3H_6O) = \frac{V(C_3H_6O)}{V(\text{повітря})} = \frac{7,7 \cdot 10^{-5}}{1} = 7,7 \cdot 10^{-5}.$$

Приклад 21.

У кожної пари речовин визначити більш токсичну: а) C_3H_5OH – C_3H_7OH , б) CH_4 – C_6H_6 , в) C_6H_6 – C_6H_5Cl .

Розв’язання.

а). Перша сполука відноситься до ненасичених спиртів, а друга до насичених спиртів. Ненасичені сполуки які відносяться до одного класу речовин і мають однакову кількість атомів карбону більш токсичні ніж насичені.

б). Перша сполука відноситься до класу алканів, друга до класу ароматичних сполук. Ароматичні сполуки більш токсичні ніж алкани.

в). Друга сполука більш токсична ніж перша, тому що введення атомів галогену підвищує токсичність сполук.

Контрольні питання

1. Що таке – небезпечні хімічні речовини?

2. На які види поділяють небезпечні хімічні речовини за характером впливу на організм людини?
3. Які речовини називаються канцерогенними?
4. Що таке гранично допустима концентрація?
5. Що таке токсична доза?
6. Що таке середня смертельна токсична доза?
7. На які класи безпеки поділяють небезпечні хімічні речовини?
8. Сполуки яких металів мають найбільш токсичні властивості?
9. Які існують шляхи потрапляння небезпечних хімічних речовин до організму людини?
10. Яку небезпеку мають лужні метали?
11. Яку небезпеку має водень?
12. В чому небезпека руйнування озонового шару Землі?
13. Які гази відносять до "кислих"? В чому їх небезпека?
14. В чому небезпека чадного газу? Де він може утворюватися?
15. Де використовується аміак? В чому його небезпека?
16. Які існують методи встановлення якісного складу речовин?
17. Як існують методи очищення стічних вод?
18. Які небезпечні властивості мають алкани?
19. Які ароматичні сполуки найбільш токсичні?
20. Що таке діоксини?
21. В чому небезпека фреонів?
22. Які класи органічних сполук проявляють вибухонебезпечні властивості?
23. Які є методи знешкодження органічних речовин?

Розрахункові задачі

1. Записати рівняння реакцій одержання кислих газів.
2. До якого класу безпеки відносяться такі речовини (назва або формула / ГДК, мг/м³) : HCl/5; NO₂/2; ацетон/200; O₃/0,1; азбест/2; етанол/1000.
3. Які речовини здатні до самозаймання при контакті з повітрям? Записати відповідні рівняння реакцій.
4. Які речовини здатні до самозаймання при контакті з водою? Записати відповідні рівняння реакцій.
5. Які токсичні гази можуть утворюватися під час взаємодії нітратної кислоти з металами? Записати відповідні рівняння реакцій.
6. Яка маса хлору повинна потрапити до виробничого приміщення об'ємом 50 м³, щоб досягти концентрація, яка дорівнює його ГДК (1 мг/м³)?
7. Якої об'ємної частки хлору в повітрі відповідає концентрація хлору, що дорівнює його ГДК (1 мг/м³)?
8. Розрахувати відносну густину за повітрям таких газів: Cl₂, NO₂, NH₃.
9. Яка маса CuSO₄ міститься у воді, якщо концентрація міді в такому

розчини дорівнює його ГДК = 0,1 мг/л?

10. Яка маса хлороводневої кислоти потрібна для нейтралізації стічної води, якщо її рН=10?

11. Яку кількість електрики треба пропустити через воду щоб повністю виділити з неї 50 г міді?

12. Яку кількість силікату натрію треба додати до стічної води щоб повністю осадити з неї 20 г нікелю?

13. Який об'єм хлороводню (н.у.) виділиться при спалюванні 200 г дихлорбензолу?

14. Записати структурну формулу 2,3,7,8 – тетрахлордибензодіоксину. До якого класу токсичності відноситься ця речовина?

15. У кожній парі речовин визначити більш токсичну: а) CH_3OH – $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, б) $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ – C_6H_6 , в) C_6H_6 – C_6H_{14} .

РОЗДІЛ 3. НЕБЕЗПЕКИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ

Тема 10. Загальна характеристика джерел біологічної небезпеки

Характеристика біологічних об'єктів

Біологічний об'єкт – природний або штучно створений живий організм,

Основні ознаки живих організмів:

1. Обмін речовин з навколишнім середовищем.
Процеси: живлення, дихання, виділення.
Обмін речовин забезпечує сталість хімічного складу й будови всіх частин організму.
2. Самовідтворення (репродукція)
3. Розвиток - придбання нових індивідуальних властивостей організму.
4. Ріст – збільшення маси, обумовлене репродукцією.
5. Подразливість – вибіркова реакція на зовнішній вплив.
6. Саморегуляція – сталість структурної організації й хімічного складу внутрішнього середовища.
7. Дискретність будови.

Будова клітини, функції основних органел

Ядро – обов'язкова та найбільша за розмірами складова клітини. У ньому зосереджена основна маса спадкового матеріалу – молекули нуклеїнових кислот, які зібрані в надмолекулярні утворення – хромосоми.

Ядерце – бере участь у синтезі рРНК, утворення або складання субодиниць рибосом.

Мітохондрії – основна роль мітохондрій – синтез АТФ у процесі клітинного дихання.

Комплекс Гольджі – бере участь у транспорті продуктів біосинтезу до поверхні клітини й у виведенні їх із клітини, у формуванні лізосом.

Лізосоми – ферменти які містяться в лізосомах розщеплюють споживані клітиною полімерні сполуки до мономерів, засвоєваних клітиною.

Ендоплазматична сітка – мембранна система синтезу й транспорту органічних речовин у цитоплазмі клітини, що представляє собою з'єднання порожнин, каналців і трубочок.

Клітинний центр (центросома) – бере участь у процесі поділу клітини.

Плазматична мембрана – плазматична мембрана здійснює ряд функцій, необхідних для життєдіяльності клітини: захищає цитоплазму від фізичних і хімічних ушкоджень, забезпечує транспорт у клітину поживних речовин і виведення кінцевих продуктів обміну.

Цитоплазма – обов'язкова частина клітини, знаходиться між плазматичною мембраною і ядром. Цитоплазма містить клітинні органели. Простір між ними заповнено цитозолем – водним розчином різних солей й органічних речовин, пронизаним системою білкових ниток – цитоскелетом.

Клітинна стінка — тверда оболонка клітини, розташована зовні від цитоплазматичної мембрани і виконує структурну, захисну й транспортну функції. Виявляється в більшості бактерій, грибів і рослин. Тваринні клітини не мають клітинної стінки.

Пластиди – органели еукаріотичних рослин і деяких фотосинтезуючих простіших. мають подвійну мембрану. За забарвленням і виконуваних функцій виділяють три основних типи: лейкопласти, хромопласти, хлоропласти.

Вакуоль – мембранна структура у деяких еукаріотичних клітинах. Виконує різні функції (секреція, екскреція і зберігання запасних речовин).

Характеристика основних класів патогенів

Патоген – збудник хвороби

Головними групами або класами патогенів, які можуть викликати інфекційні хвороби, і токсинів, які можуть завдати шкоди здоров'ю шляхом інтоксикації й можуть уважатися потенційними біологічними агентами, є:

Бактерії — це одноклітинні організми рослинної природи, розміри яких коливаються в межах від 0,3 – 0,5 до 8 – 10 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$). Так, збудник туляремії має розмір від 0,7 до 1,5 мкм, а сибірської виразки – від 3 до 10 мкм. Маса однієї клітини при розмірі в 2–3 мкм становить $3 \cdot 10^{-9}$ мг. Підраховано, що в 1 мл рідкої рецептури може міститися більше 550 млрд бактерій. Розмноження бактерій відбувається шляхом їхнього поділу. За сприятливих умов бактеріальна клітина ділиться на 2 кожні 20–30 хв. За зовнішністю розрізняють три основні форми бактерії: кульову (коки), паличкоподібну й звиту. Окремі хвороботворні бактерії в процесі життєдіяльності виділяють продукти, що мають токсичні властивості – токсини (отрути білкового характеру) Бактерії досить чутливі до впливу високої температури, сонячного світла, різким коливанням вологості й дезінфікуючих засобів, зберігають достатню стійкість за знижених температур до $-15 - 25^{\circ}\text{C}$ Деякі види бактерій здатні покриватися захисною капсулою або утворюють спори. Бактерії у споровій формі мають високу стійкість до висихання, нестачі поживних речовин, дії високих і низьких температур і дезінфікуючих засобів.

Бактерії можуть викликати такі хвороби, як сибірська виразка, чума, холера, туберкульоз, туляремія, сифіліс й туляремія. Хоча багато патогенних бактерій чутливі до антибіотиків, деякі їхні штами стійкі до них і здатні існувати в природних умовах. Вони можуть легко розвиватися на штучному поживному субстраті в установках для мікробіологічної промисловості.

За сталих умов, при достатньої кількості поживних речовин зростання кількості бактерій з часом описується рівняннями:

$$N = N_0 \cdot e^{a \cdot t} = N_0 \cdot e^{\frac{0,693 \cdot t}{t(2)}} .$$

де N кількість бактерій, N_0 початкова кількість бактерій, t час, а $t(2)$ час подвоєння кількості бактерій, a стала, яка залежить від виду бактерій та умов.

Віруси – особливий клас мікроорганізмів, відкритий Д. І. Івановським в 1892 р. Розміри вірусів коливаються в межах від 10–20 до 200–300 нм (10 м), тобто 0,3 мкм. Це самі дрібні мікроорганізми. Будова вірусів найпростіша, вони уявляють собою молекули нуклеїнових кислот (ДНК або РНК), які знаходяться в захисній оболонці. Відмінною рисою вірусів є нездатність до самовідтворення поза організмом. Віруси здатні жити й розмножуватися тільки в живих клітинах, тому вони є клітинними паразитами. Віруси – мають високу стійкість до низьких температур і висушування. Сонячне світло, особливо ультрафіолетові промені, а також температура вище 60°C і дезінфікуючі засоби (формалін, хлорамін й ін.) згубно діють на віруси. Розрізняють три види вірусів:

1. - віруси бактерій (бактеріофаги);
2. - віруси, що вражають вищі рослини;
3. - віруси, патогенні для людини й тварин.

У природі існують дві форми вірусів: 1 – кубовидна, 2 – паличкоподібна. Віруси є причиною більше 200 захворювань, представники вірусів – збудники таких інфекційних захворювань, як грип, гепатит, жовта лихоманка, сказ, герпес).

Рикетсії – своєрідна група мікроорганізмів, що по своїх морфологічних, культурних і біохімічних властивостях займає проміжне положення між вірусами й бактеріями. Розміри рикетсій коливаються від долів мікрметра до декількох мікрметрів. По зовнішньому вигляді, будові й величині рикетсій наближаються до бактерій, у той же час подібно вірусам вони є внутрішньоклітинними паразитами й не ростуть на штучних поживних середовищах а розмножуються й ростуть тільки у живих тканинах. Рикетсії спори не утворюють, стійкі до висушування, заморожуванню й коливанням відносної вологості повітря, досить чутливі до дії високих температур і дезінфікуючих засобів. Рикетсиози передаються людині переважно через членистоногих, що живляться кров'ю. Рикетсії викликають Ку-лихоманку висипний тиф, плямисту лихоманку Скелястих гір.

Гриби – різноманітна група дрібних організмів, що відносять до окремої царини. По фізіологічних властивостях вони близькі до бактерій, але їхня будова більш складна, ніж у бактерій, а спосіб розмноження (спори по 2 – 3 мкм) носить специфічний характер. Довжина клітин грибків досягає розмірів 100 і більше мкм. Тіло гриба складається із двох частин: вегетативної або плодової (тільки у вищих грибів). У нижчих – спороносні органи – гіфи (гіфи являють собою нитки, з яких складається спороносне тіло). Вони утворюють вегетативну частину грибниці або міцелій. На гіфах можуть з'являтися допоміжні органи. Наліт – це видозміна міцелію у цвілевих грибів. Коли гриб – паразит хоче захопити новий простір, він випускає тверді прості шнури (які утворюються з гіфів). Складні шнури виконують роль судин. Тіло може перебувати в одному місці, а живитися він

може за кілька метрів. Строма – це видозміна міцелію. Грибки можуть утворювати спори, що мають високу стійкість до заморожування, висушування, дії сонячних променів і дезінфікуючих засобів. Лише деякі види можуть завдати серйозної шкоди людині (кокцидіодомікоз, покардіоз, гістоплазмоз). Значно небезпечніші гриби для сільськогосподарських культур.

Токсини – продукти життєдіяльності деяких видів бактерій, рослин чи тварин, що мають високу токсичність щодо людей та тварин. Потрапивши з їжею або водою в організм людини чи тварини, ці речовини викликають важкі ураження (інтоксикацію), часто зі смертельним результатом. У рідкому стані токсини швидко руйнуються, у висушеному вигляді зберігають токсичність протягом тривалого часу, стійкі до заморожування, коливанням відносної вологості повітря й не втрачають у повітрі здатності до ураження до 12 годин. Руйнуються токсини при тривалому кип'ятінні й впливі дезінфікуючих засобів. Багато токсинів отримано в чистому виді (ботулінічний, дифтерійний, правцевий). Найбільшу увагу звертають на ботулінічний токсин і стафілококовий ентеротоксин, які віднесені до хімічної зброї. Токсини мають високу біологічну активність так, смертельна доза ботулінічного токсину становить 0,005 – 0,008 мг. Однак при інгаляційному шляху ураження, смертельні дози для людини будуть значно більшими.

Класифікація джерел біологічної небезпеки

За походженням розрізняють наступні види біологічних небезпек:

1. спалах інфекційної хвороби;
2. аварія на біологічно-небезпечному об'єкті
3. транскордонне перенесення біологічних об'єктів (мікроорганізмів, рослин, тварин);
4. зростання чисельності біологічних об'єктів через сезонні та екологічні зміни.

Тема 11. Біологічні небезпеки природного походження

Класифікація видів поширення інфекційних хвороб

Епідемія – це масове, що прогресує в часі й просторі в межах певного регіону поширення інфекційної хвороби, яке значно перевищує зазвичай реєструємий на даній території рівень захворюваності. Епідемія, як НС, має осередок зараження й перебування хворих на інфекційне захворювання людей, або територію, у межах якої протягом певного часу можливе зараження людей і сільськогосподарських тварин збудниками інфекційної хвороби.

Іноді поширення захворювання носить характер **пандемії**, тобто охоплює території декількох країн або континентів за певних природних або соціально-гігієнічних умовах. На виникнення й перебіг епідемії впливають як природні процеси, (природні осередки, епізоотії й т.д.), так і соціальні

фактори (комунальний благоустрій, побутові умови, стан охорони здоров'я й т. ін.).

Часто епідемії виникають під час стихійних лих, що викликають загибель великої кількості людей, у країнах, охоплених голодом, під час великих посух.

Для **профілактики епідемій** необхідно очищення території, поліпшувати водопостачання й каналізацію, підвищувати санітарну культуру населення, дотримуватись правил особистої гігієни, правильно обробляти й зберігати харчові продукти, обмежувати соціальну активність бацилоносіїв, їхнє спілкування зі здоровими людьми.

Епізоотія – це поширення інфекційної хвороби, в межах певного регіону, серед великого числа одного або багатьох видів сільськогосподарських тварин, що значно перевищує звичайно реєструємий на даній території рівень захворюваності.

Виникнення епізоотії можливо лише за наявності комплексу взаємозалежних елементів, що представляють собою так званий **епізоотичний ланцюг**: джерело збудника інфекції (хвора тварина або тварина-носій), фактори передачі збудника інфекції (об'єкти неживої природи) або живі носії (сприйнятливі до хвороби тварини).

Панзоотія – це масове одночасне поширення інфекційної хвороби сільськогосподарських тварин з високим рівнем захворюваності на великій території з охопленням цілих регіонів, кількох країн і материків.

Епіфітомія – масове, прогресуюче в часі й просторі інфекційне захворювання сільськогосподарських рослин й(або) різке збільшення чисельності шкідників рослин, що супроводжується масовою загибеллю сільськогосподарських культур і зниженням їхньої продуктивності.

Панфітомія називається масове захворювання рослин і різке збільшення чисельності шкідників рослин на території декількох країн або континентів.

Виділяються наступні види епідемій, епізоотій і епіфітомій:– за **масштабами поширення** – окремі, об'єктові, місцеві й регіональні;– за **ступенем небезпеки** – легкі, середньої тяжкості, важкі й надзвичайно важкі; – за **економічними збитками** – незначні, середні й великі.

Основні джерела біологічної загрози

Основними видами джерел біологічної загрози крім поширення інфекційних хвороб є масове розмноження рослин, комах, тварин.

«Цвітіння води» – масовий розвиток фітопланктону у водоймі, що супроводжується зміною забарвлення (кольоровості) води. Викликається несприятливими змінами водного режиму (застій води, забруднення органічними речовинами й мінеральними добривами, засмічення й ін.). «Цвітіння» супроводжується рядом негативних наслідків, зокрема масовою загибеллю зоопланктону й риб що пов'язане із рядом причин: 1) деякі водорості, що викликають «цвітіння», зокрема синьо-зелені (цианобактерії) і

динофлагеляти, отруйні. 2) під час «цвітіння» виникає гостра нестача кисню у воді.

При потраплянні токсинів синьо-зелених водоростей у водогінну мережу можливі спалахи епідемічного токсичного гастроентериту, що протікає по типу дизентерійного або холероподібного захворювання.

Із проблемою *сарани* доводиться зіштовхуватися жителям різних країн, вона шкодить практично на всіх континенти, крім Антарктиди. Нападам сарани піддається до 20 % поверхні землі. За день сарана з'їдає стільки ж, скільки важить сама. Сарана має високу маневреність і може пролітати за день більше 130 кілометрів. Так у 1958 році одна зграя сарани знищила за день 400 тис. тон зерна в Сомалі.

Масове розмноження сарани відбувається кожні 10–20 років, за сприятливих погодних умов.

У Криму живе марокканська сарана, більша за неї перелітна сарана – живе у південних областях України.

За сприятливих умов *шкідники лісу* періодично дають спалах масового розмноження. Кожен спалах займає зазвичай 7 поколінь і складається з 4 фаз: початкової (чисельність шкідника збільшується незначно), наростання чисельності (формується осередки шкідників лісу), власне спалаху (шкідники лісу з'являються в масі й сильно об'їдають крони дерев), кризи (спалах загасає). Під час спалаху масового розмноження комахи у порівняно короткий термін здатні поширюватися на сотні тисяч гектарів й наносити лісам сильні ушкодження, викликаючи втрату приросту, сильне ослаблення й наступне всихання дерев.

Заходи боротьби зі шкідливими комахами поділяються на профілактичні — агротехнічні, біологічні й на винищувальні — фізико-механічні, хімічні, біофізичні й біохімічні.

Серйозними шкідниками сільського господарства є *гризуни* (бабаки, ховрашки, сірі полівки, пеструхи й ін.). Під час масових розмножень їхня чисельність може зростати в 100–200 разів. Це серйозно шкодить сільському господарству, особливо зерновим культурам.

Способи поширення інфекційних захворювань

1) через воду або продукти харчування, у цьому випадку збудником хвороби можуть бути сальмонели які викликають такі хвороби як черевний тиф;

2) повітряно-краплинний (аерозольний) шлях, переважно передаються грип, коклюш, кір;

3) трансмісивний шлях, (за допомогою комарів, вошей, клопів) передаються такі хвороби як малярія, трипаносомоз, висипний тиф;

4) прямий контакт із носієм інфекції, передаються такі хвороби як ВІЛ-інфекції, сказ, гепатит.

Імунітет

Імунітет – здатність організму людини й тварин специфічно реагувати на присутність у ньому чужорідної речовини. Ця реакція

забезпечує опірність організму, а тому надзвичайно важлива для його виживання. В основі реакції лежить синтез спеціальних білків, т.зв. **антитіл**, здатних вступати у з'єднання із чужорідними речовинами – **антигенами**. За способом формування розрізняють **уроджений і набутий імунітет**. Наука, що вивчає механізми імунітету, називається імунологією.

Антигѐн – речовина, зазвичай органічного походження, що має ознаки генетичної відмінності і при введенні в організм викликає специфічний імунний ефект. Імунна система розпізнає цю речовину як чужорідну і виробляє антитіла для боротьби із нею. В класичній імунології до антигенів відносять віруси, бактерії, грибки, клітини тваринного походження. Антигенам притаманна специфічна взаємодія із антитілами. Молекула антигену несе детермінантну групу – ділянку молекули антигену, яка "розпізнається" антигензв'язуючим центром В-лімфоцитів і антитілами. В молекулі антигену, як правило, міститься декілька різних за будовою детермінантних груп. Антигенні властивості зокрема мають білки і полісахариди (великої молекулярної маси). Молекули, які не викликають утворення антитіл, але проте здатні зв'язуватися з ними, називають гаптенами або неповними антигенами.

Антитіла або **імуноглобуліни** (Ig) – білкові сполуки, які організм хребетних тварин виробляє у відповідь на появу антигенів, для знищення або нейтралізації потенційно небезпечних з них. Імуноглобуліни містяться в сироватці крові і утворюють групу близьких по структурі білків – **глікопротеїдів**. Антитіла реагують тільки з тими антигенами, які індукували їх синтез. Зміни хімічної або фізичної структури антигенів призводять до утворення інших, видозмінених антитіл. Така пряма відповідність між антигенами й антитілами відома як специфічність.

Не всі тварини, навіть одного виду, виробляють антитіла у відповідь на введення певних антигенів: деякі антигени викликають таку відповідь лише у групи осіб. Тільки теплокровні хребетні, включаючи людину, здатні утворювати антитіла, здатні до **преципітації** (осадження антигену); однак ряд холоднокровних хребетних виробляють схожі речовини, **аглютиніни**.

Аглютинація (лат. *agglutinatio* – склеювання) склеювання в грудочки і осідання завислих у рідині мікроорганізмів або окремих клітин – еритроцитів чи лейкоцитів. Аглютинація спричиняється особливими речовинами, що утворюються в організмі при різних захворюваннях і при імунізації. Явище аглютинації використовується для лабораторної діагностики деяких інфекційних хвороб, визначення виду мікроорганізмів тощо.

Преципітація (від лат. *praecipitatio* – стрімке падіння вниз), осадження, реакція осадження комплексу антиген з антитілом; одна з імунологічних реакцій, що дозволяє визначити вміст антитіл у сироватці крові хворих, вакцинованих або імунізованих людей і тварин. При використанні стандартних сироваток реакція преципітації може бути застосована для аналізу концентрації й природи антигенів. Реакція преципітації дуже чутлива й застосовується в імунодіагностиці для розпізнавання ряду захворювань

тварин і людини, а також у судовій медицині (для видової ідентифікації крові та ін.)

В основі активного імунітету лежить *імунна реакція*. Основними елементами імунної системи організму є – лімфоцити, що існують у двох формах. Обидві форми походять із клітин-попередників у кістковому мозку, з т.зв. стовбурних клітин. Незрілі лімфоцити залишають кістковий мозок і потрапляють у кров'яне русло. Одні з них прямують до тимусу (вилочкової залози), розташованої в області шиї, де відбувається їхнє дозрівання. Лімфоцити, які пройшли через тимус відомі як Т-лімфоцити, або Т-клітини (Т від «тимус»). Інша частина незрілих лімфоцитів, які закріплюється й дозрівають у лімфатичних вузлах і лимфоїдній тканині організму відомі як, В-лімфоцити (від bursa – сумка).

Обидва типи зрілих лімфоцитів мають на своїй поверхні рецептори, які можуть «упізнавати» специфічний антиген і зв'язуватися з ним. Контакт В-клітинних рецепторів зі специфічним антигеном і зв'язування певної його кількості стимулюють ріст цих клітин і наступний поділ; у результаті чого утворюються численні клітини двох різновидів: плазматичні й «клітини пам'яті». Плазматичні клітини синтезують антитіла, що виділяються у кров. Клітини пам'яті є копіями вихідних В-клітин; вони відрізняються великою тривалістю життя, і їхнє накопичення забезпечує можливість швидкої імунної відповіді у випадку повторного надходження в організм даного антигену.

Що стосується Т-клітин, то при зв'язуванні їхніми рецепторами значної кількості певного антигену вони утворюють групу речовин – лімфокінів. Одні з них викликають ознаки звичайного запалення: почервоніння ділянок шкіри, місцеве підвищення температури й набряк за рахунок збільшення кровотоку й просочування плазми крові у тканині. Інші лімфокіни активують макрофагі (фагоцити) – клітини, які можуть захоплювати й поглинати антиген (разом зі структурою, наприклад бактеріальною клітиною, на поверхні якої він перебуває). На відміну від Т- і В-клітин макрофаги не мають специфічності й атакують широкий спектр різних антигенів. Ще одна група лімфокінів сприяє руйнуванню інфікованих клітин. Ряд лімфокінів стимулює додаткову кількість Т-клітин до поділу, що забезпечує швидке зростання числа клітин, які відповідають на дію антигену і виділяють ще більше лімфокінів.

Антитіла, синтезовані В-клітинами відносять до факторів *гуморального імунітету* (від лат. humor – рідина). Захист організму, який здійснюється за допомогою Т-клітин, називається *клітинним імунітетом*, тому що в його основі лежить взаємодія окремих клітин з антигенами. Т-клітини не тільки активують інші клітини шляхом виділення лімфокінів, але й атакують антигени за допомогою структур які утримують антитіла на поверхні Т-клітини.

Антиген може індукувати обидва типи імунної відповіді. Більше того, в організмі відбувається певна взаємодія між Т- і В-клітинами, причому Т-клітини здійснюють контроль над В-клітинами. Т-клітини можуть придушувати відповідь В-клітин на нешкідливі для організму чужорідні

речовини або, навпаки, спонукати В-клітини виробляти антитіла у відповідь на шкідливі речовини з антигенними властивостями. Ушкодження або недостатність даної контролюючої системи може проявлятися у вигляді алергійних реакцій на речовини, які зазвичай безпечні для організму.

Імунітет, що виникає в результаті ін'єкції готових антитіл, а не роботи клітин самого організму, називають пасивним. Такий імунітет, зберігається недовго – поки в організмі циркулюють уведені антитіла (гамма-глобуліни). У людини це становить кілька тижнів. Навпаки, активний імунітет, коли в організмі продукуються власні антитіла, часто буває довічним.

Антитіла в крові виявляються не тільки після активної або пасивної імунізації. У багатьох біологічних видів, включаючи людини, постійно йде (у всіх представників виду) синтез антитіл певної специфічності, не пов'язаний з імунізацією. Такі антитіла називають ізоантитілами – специфічно спрямовані проти антигенів інших осіб того ж виду, тобто проти ізоантигенів. Синтез ізоантитіл забезпечує природний (уроджений) імунітет (на відміну від набутого імунітету, що виникає в результаті імунізації).

Прикладом ізоантигенів служить система антигенів, позначувана АВ0. Антигени А і В виявляють на поверхні еритроцитів й у багатьох тканинах. У кожної людини, еритроцити несуть антиген А або В або ж не містять їх зовсім (група крові 0), у кров'яному руслі циркулюють ізоантитіла, що аглютинують (склеюють) еритроцити інших *груп крові*, крім групи 0.

Ще один важливий імунологічний феномен, пов'язаний з ізоантитілами, спостерігається при *трансплантації тканин*. Гомотрансплантати, тобто тканини того самого організму або однойцевих близнюків (наприклад, при пересадженні шкіри або пластичних операцій), зазвичай добре приживляються на новому місці. Імунологічна реакція не розвивається, тому що білки в пересадженій тканині й клітках реципієнта абсолютно однакові. Якщо ж тканина взята від донора, не пов'язаного з реципієнтом близьким спорідненням, вона може зберігатися на місці пересадження якийсь час, але потім відторгається. Наступний трансплантат від нового донора відторгається ще швидше. Підбор донора за тканинною сумісністю з реципієнтом має життєво важливе значення при пересадженнях серця, нирок й інших органів.

Гени, відповідальні за приживлення або відторгнення пересадженої тканини, утворюють т.зв. «головний комплекс гістосумісності». Вони кодують синтез не тільки тканинних антигенів, що визначають успіх або неуспіх трансплантації, але й деяких рецепторів на поверхні Т-клітин. Визначення продуктів цих генів допомагає заздалегідь визначити, чи буде організм реагувати на специфічні антигени пересадженої тканини.

Вакцинація й імунізація

Вакцинація й імунізація, комплекс заходів та процесів, що забезпечують активну або пасивну біологічну стійкість організму до певних інфекційних захворювань. *Штучна активна імунізація* – стимуляція імунної системи шляхом введення вакцини або анатоксину (знешкодженого

бактеріального токсину, що зберігає свої антигенні властивості); при **штучній пасивній імунізації** в організм вводять уже готові антитіла – імуноглобуліни. **Природна активна імунізація** організму відбувається в результаті його інфікування, а **природна пасивна імунізація** – при переносі материнських антитіл у плід через плаценту або з молозивом в організм немовляти. У результаті штучної імунізації виробляється високоспецифічний імунітет, тобто вакцина, анатоксин або готові антитіла дають організму часткову або повну стійкість до даного захворювання. Вакцини й анатоксини довгостроково захищають організм, іноді до кінця життя. Готові антитіла забезпечують лише тимчасовий захист; у випадку повторної інфекції їх потрібно вводити знову.

Можливі два **шляхи штучної активної імунізації**: 1) введення живих, але аттенуєваних (ослаблених) мікроорганізмів й 2) введення убитих мікроорганізмів, їхніх токсинів або антигенів. В обох випадках людині вводять вакцину або токсин, які самі по собі не викликають захворювання, але стимулюють імунну систему, роблячи її здатною розпізнати й атакувати певний мікроорганізм. З іншого боку, можна із сироватки крові тих, хто раніше переніс дане захворювання, виділити вже готові антитіла й використати їх для пасивної імунізації організму, для того щоб негайно забезпечити йому стійкість до певного патогену.

Вакцини звичайно вводять **парентерально** (ін'єкцією) – незалежно від того, який природний шлях надходження мікроорганізму в людський організм. Виключення становить лише жива вакцина від поліомієліту, яку вводять **перорально** (через рот) – так само, як проникає збудник у природних умовах. Крім двох названих способів вакцинації для деяких типів вакцин можливе використання аерозолів (при цьому вакцина повинна попадати в організм через слизову носа). Є аерозольні форми, наприклад, вакцини проти кору, грипу.

Іноді вакцини й анатоксини викликають побічні реакції. Наприклад, у людей з алергією на яєчний білок при введенні їм вакцин, до складу яких цей білок входить, може розвинути **анафілаксія**. Вакцина проти коклюшу іноді викликає важкі неврологічні реакції, хоча ніяких загальних протипоказань до неї для здорових людей не існує.

Анафілаксія (грец. *ανα* — проти і *φύλαξις* — захист) — один з проявів алергії. Стан анафілаксії викликається підвищеною чутливістю організму людини та деяких тварин до повторного надходження чужорідних речовин (здебільшого білкової природи), що діють як антигени. Анафілаксія у гострій формі зветься **анафілактичним шоком**, його ознаки — різке падіння артеріального тиску, порушення дихання, корчі. В деяких випадках, у разі парентерального введення, анафілактичний шок призводить до смерті.

Грип, особливості поширення інфекції

Вірус грипу (*Mixovirus influenzae*) належить до сімейства ортоміксовірусів. Він має сферичну структуру й розмір 80–120 нанометрів.

Серцевина вірусу містить одноланцюгову РНК, що складається з 8 фрагментів, які кодують 10 вірусних білків. Фрагменти РНК мають загальну білкову оболонку, що поєднує їх, утворюючи нуклеопротеїд.

На поверхні вірусу знаходиться глікопротеїн – гемаглютинін і фермент нейрамінідаза. Гемаглютинін забезпечує здатність вірусу приєднуватися до клітини. Специфічність вірусів відносно хазяїв обумовлена розпізнаванням молекулами гемаглютиніну вірусу специфічних рецепторів галактози на поверхні клітин хазяїна (рис.1).

Нейрамінідаза відповідає, по-перше, за здатність вірусної частки проникати в клітку-хазяїна, і, по-друге, за здатність вірусних часток виходити із клітини після розмноження.

Нуклеопротеїд (також названий S-антигеном) постійний по своїй структурі й визначає тип вірусу (А, В або С). Поверхневі антигени (гемаглютинін і нейрамінідаза – V-антигени), навпроти, мінливі й визначають різні штами одного типу вірусу.

Важливо, що кожен вірусний білок кодує окремий ланцюжок РНК, і ці ланцюжки ніяк між собою не зв'язані. Якщо клітину інфікують дві різні вірусні частинки, при збиранні дочірніх часток батьківські РНК можуть перемішатися довільним образом. Це явище називається реасортацією.

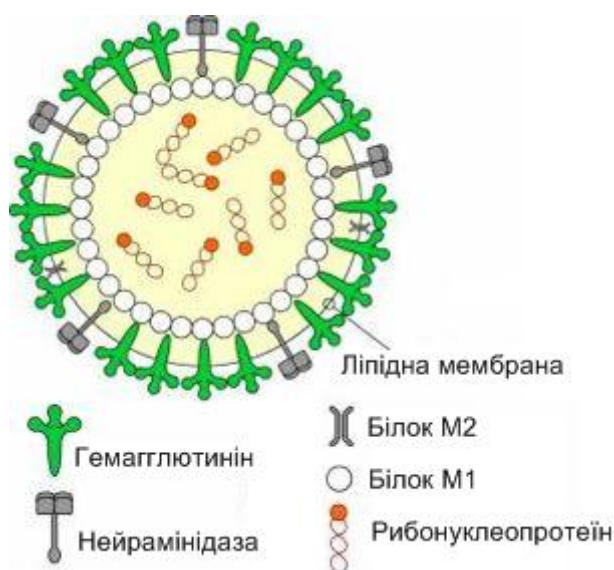


Рис. 1 Схематична будова вірусу грипу

Відомо 16 антигенних варіантів (субтипів) гемаглютиніну, головного поверхневого білка пташиних вірусів грипу. Щоб пташиний вірус став вірусом грипу людини, гемаглютинін повинен налаштуватися на клітинний рецептор людини. Це стає можливим в результаті заміни однієї амінокислоти у структурі гемаглютиніну. (Поверхневі білки різних субтипів вірусів розрізняються дуже сильно, але ділянка, відповідальна за рецепцію, у них однакова.) Із цього виходить, що кожний з 16 субтипів пташиного вірусу може перейти до людини з так само як і три попередні, які свого часу вже перейшли.

Вірус грипу А як правило викликає захворювання середньої сили або тяжкі. Вражає як людину, так і деяких тварин (кінь, свиня, тхір, птахи). Саме віруси грипу А відповідальні за появу пандемій і важких епідемій. Підтипи вірусу А класифікують по поверхневих антигенах – гемаглютиніну й нейрамінідази: на даний момент відомо 16 типів гемаглютиніну й 9 типів нейрамінідази.

Вірус грипу В як і вірус грипу А, здатний змінювати свою антигенну структуру. Однак ці процеси виражені менш чітко, чим при грипі типу А. Віруси типу В не викликають пандемій й звичайно є причиною локальних спалахів й епідемій, що іноді охоплюють одну або кілька країн. Спалахи грипу типу В можуть збігатися з такими грипу типу А або передувати йому. Віруси грипу В циркулюють тільки в людській популяції (частіше викликаючи захворювання в дітей).

Вірус грипу С мало вивчений. Відомо, що на відміну від вірусів А і В, він містить тільки 7 фрагментів нуклеїнової кислоти й один поверхневий антиген. Інфікує тільки людину. Симптоми хвороби легкі, або не проявляються взагалі. Він не викликає епідемій і не приводить до серйозних наслідків. Є причиною спорадичних захворювань, частіше в дітей. Антигенна структура не піддається таким змінам, як у вірусів типу А. Захворювання, викликані вірусом грипу С, часто збігаються з епідемією грипу типу А. Клінічна картина така ж, як при легких і помірковано важких формах грипу А.

Вірус грипу найбільш стійкий за низьких температур – він може зберігатися при температурі 4° С протягом 2–3 тижнів; прогрівання при температурі 50–60° С викликає інактивацію вірусу протягом кількох хвилин, дія дезінфікуючих розчинів – миттєво.

За багато років з'явилася безліч варіантів вірусів як типу А, так і типу В. У зв'язку із цим була розроблена **міжнародна система кодування**, завдяки якій кожен варіант одержав свій код, наприклад А/Банкок/1/79(Н3N2):

1. Позначення типу вірусу (А, В або С) = А;
2. Географічне місце виділення вірусу = Банкок
3. Порядковий номер виділеного в даному році й у даній лабораторії вірусу = 1
4. Рік виділення = (19)79
5. Позначення антигенного підтипу = Н3N2

Тема 12. Небезпека сучасних біотехнологічних виробництв

Білки: будова, синтез.

Білки – це високомолекулярні, органічні, азотовмісні біополімери, які складаються в основному з амінокислот. В поліпептидних ланцюгах амінокислотні залишки повторюються багато разів. При цьому кожний індивідуальний білок має свою строгую послідовність амінокислотних ланок.

Всі білки в залежності від будови поділяються на прості – протеїни і складні – протеїди. Протеїни – складаються лише з амінокислот. Протеїди – складаються з амінокислот та небілкових компонентів (вуглеводів, ліпідів, нуклеотидів та ін.).

В організмі людини зустрічається понад 5 млн. типів білкових молекул. Така різноманітність забезпечується комбінацією 20 амінокислот. Кожний конкретний білок характеризується постійним складом амінокислот та їхньою певною послідовністю.

Амінокислоти сполучаються між собою ковалентним зв'язком, який виникає між карбоксильною групою однієї амінокислоти та аміногрупою іншої. Міцний зв'язок, який утворюється між двома амінокислотами, називається **пептидним**. Під **первинною структурою білка** розуміють число і послідовність амінокислот, з'єднаних між собою пептидними зв'язками в поліпептидний ланцюг (рис.2).

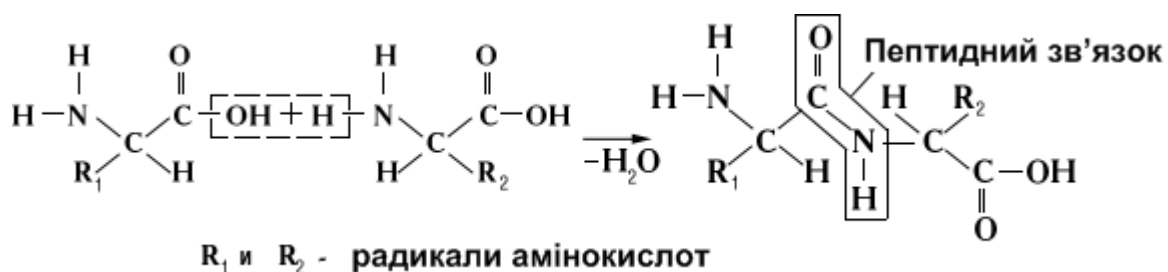
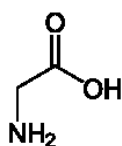
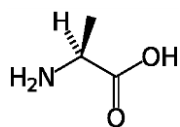


Рис. 2 Схема утворення пептидного зв'язку

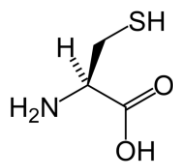
Простіші та структурні формули деяких амінокислот наведені нижче:



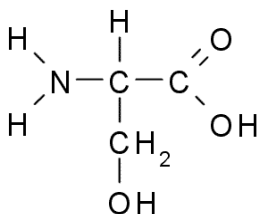
H_2NCH_2COOH гліцин



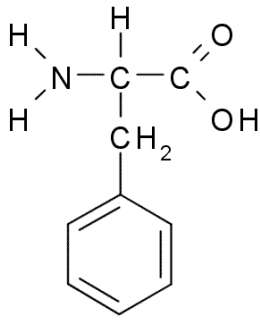
$CH_3CH(NH_2)COOH$ аланін



$HSCH_2CH(NH_2)COOH$ цистеїн

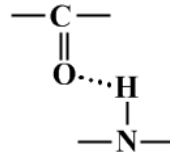


$HOCH_2CH(NH_2)COOH$ серін



$C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH$ фенілаланін

Вторинна структура — спіралізація поліпептидного ланцюга. Пептидні ланцюги, згортаються у спіраль за рахунок виникнення водневих зв'язків між киснем карбоксильної групи одного залишку амінокислоти і воднем аміногрупи іншої амінокислоти, віддаленої по ланцюжку від неї на відстань чотирьох амінокислотних залишків. Хоча водневі зв'язки між $>C=O$ і $-NH-$ групами значно слабші за пептидні, однак велика їх кількість разом формують досить міцну спіральну структуру.



Третинна структура — просторове укладення попередньо спіралізованого поліпептидного ланцюга. Третинна структура виникає внаслідок скручування вторинної спіральної структури в клубок (глобулу) як якісно нове утворення. Третинна структура, забезпечується силами гідрофобної взаємодії між радикалами амінокислот, іонними та водневими зв'язками. Важлива роль у стабілізації третинної структури належить дисульфідним зв'язкам ($-S-S-$), що виникають між залишками амінокислоти цистеїну.

Четвертинна структура з'єднання кількох молекул білка, що перебувають в третинній структурі. Стабілізація четвертинної структури визначається гідрофобними, іонними і водневими зв'язками.

Під впливом різних фізико-хімічних чинників (солі важких металів, кислоти, луги, спирти, висока температура, тиск, різні види опромінення, ультразвук тощо) структура та властивості білків можуть змінюватися. Процес порушення природної (нативної) структури білка або розгортання поліпептидного ланцюга без руйнування пептидних зв'язків називають **денатурацією**. За умов припинення дії негативних факторів, білок іноді може відновлювати свою нативну структуру — відбувається його **ренатурація**. В організмі можлива часткова денатурація білків яка пов'язана з їхніми функціями (рухова, сигнальна, ферментативна тощо). Процес руйнування первинної структури білків необоротний, він називається **деструкцією**.

Основні біологічні функції білків:

Будівельна (структурна). Білки є складовою частиною плазматичних мембран. З білків складаються мікротрубочки і мікрофіламенти, які

виконують роль скелета клітини. Головним компонентом хрящів, сухожилків є білок колаген, еластичної сполучної тканини (зв'язок) — еластин, кісток — остейн.

Ферментативна (каталітична) функція білків реалізується в здійсненні і регуляції всіх біохімічних реакцій, які відбуваються в клітинах за участю ферментів — біокаталізаторів.

Захисна. Білки запобігають ушкодженню клітин, органів й організму в цілому. В організмі хребетних тварин утворюються захисні білки — імуноглобуліни (або антитіла). Це спеціалізовані білки, які здатні "розпізнавати" і знешкоджувати бактерії, віруси, чужорідні для організму білки. Білки крові — фібрин, тромбопластин і тромбін — беруть участь у процесах її згортання, запобігаючи втраті крові.

Регуляторна функція полягає у регуляції обміну речовин. Це гормони білкової природи. Інсулін та глюкагон регулюють обмін глюкози, гормон АКТГ стимулює ріст і активність кори наднирників.

Сигнальна функція важлива для вибіркового поглинання клітиною певних речовин та для її захисту. Сигнальні білки на поверхні клітинної мембрани здатні змінювати свою структуру під дією певних хімічних сполук здійснюючи таким чином реагування (зв'язувати їх чи передавати сигнали про зміни в інші ділянки плазматичної мембрани, або всередину клітини).

Рухова або функція скорочування білків забезпечує всі види рухів, на які здатні біологічні об'єкти різних рівнів організації, починаючи з цитоплазми, органел клітини і закінчуючи цілим організмом.. Актин і міозин — білкові нитки міофібрил, що утворюють м'язи.

Запасаюча функція білків полягає у відкладанні їх про запас. Запасними білками є альбумін пташиних яєць, казеїн молока ссавців та ін.

Транспортну функцію виконують білки, що беруть участь у процесі переміщення речовин у організмі та через клітинні мембрани. Є білки, що транспортують розчинені у крові гази — O_2 , і CO_2 , (гемоглобін); міоглобін переносить O_2 , в м'язах; альбумін сироватки служить для транспорту жирних кислот, ліпідів.

Енергетична функція білків полягає в тому, що при їх розщепленні в клітині виділяється енергія. При розщепленні 1 г білка вивільняється 17,2 кДж енергії.

ДНК: структура, функції.

У більшості організмів генетична інформація зберігається у вигляді ДНК, лінійного полімеру із чотирьох типів мономерних одиниць — дезоксирибонуклеотидів, або просто нуклеотидів, які зв'язані в довгий ланцюг фосфодиефірними зв'язками.

Типова молекула ДНК складається із двох спіралью закручених полінуклеотидних ланцюгів довжиною від кількох тисяч до кількох мільйонів нуклеотидів. Нуклеотиди з різних ланцюгів комплементарно зв'язані між собою водневими зв'язками таким чином, що дезоксиаденозинмонофосфат завжди взаємодіє з

дезокситимідинмонофосфатом (пари А–Т), а дезоксигуанозинмонофосфат – з дезоксицитидинмонофосфатом (пари Г–Ц).

Розходження у послідовності, нуклеотидов, у молекулах ДНК лежать в основі генетичного розмаїття.

Спадкові ознаки стійко передаються від батьків до потомства, тобто послідовність нуклеотидів у ДНК повинна точно копіюватися (реплікуватися). У процесі реплікації два батьківські ланцюги ДНК розкручуються, розділяються й на кожному з них синтезується дочірній ланцюг. Нуклеотидна послідовність, що несе генетичну інформацію, при цьому зберігається, тому що в процесі синтезу кожен нуклеотид у дочірньому ланцюзі сполучається тільки з комплементарним йому нуклеотидом у матричному, ланцюзі.

Експресія генів – реалізація генетичної інформації від ДНК через РНК у синтез поліпептидів і білків.

Експресія генів здійснюється в кілька етапів. Спочатку на матриці ДНК синтезується мРНК. Цей процес називається **транскрипцією**. Послідовність пуринових і піримідинових основ мРНК комплементарна основам ланцюга ДНК, що кодує: аденину ДНК відповідає урацил РНК, цитозину ДНК – гуанін РНК, тиміну ДНК – аденін РНК і гуаніну ДНК – цитозин РНК. Таким чином, триплети ДНК транскрибуються у комплементарні триплети РНК.

Гени представляють собою лінійні полімери ДНК, які з'єднані у довгі ланцюги і разом з білками хроматину утворюють хромосоми. У більшості генів людини послідовність нуклеотидів, що кодують білок, розділена на «інформативні» сегменти (екзони), між якими перебувають послідовності нуклеотидів, що не кодують (інтрони).

Синтезована мРНК піддається у ядрі істотним змінам, зокрема видаляються інтронні послідовності (**сплайсинг**). Потім мРНК виходить через ядерну оболонку в цитоплазму, де використовується як матриця для синтезу білка (**трансляція**). Для цього мРНК приєднується до рибосоми, що складається з рибосомальної рРНК і білків.

Починається трансляція із приєднання амінокислоти до «своєї» тРНК і перенесення у такому виді на комплекс із рибосоми і мРНК. Одна з петель кожної тРНК має триплет нуклеотидів – антикодон, комплементарний кодону мРНК. Це забезпечує відповідність між послідовністю триплетів у мРНК і послідовністю амінокислотних залишків у білковій молекулі, що синтезується на рибосомі.

За участю цитоплазматичних білків – факторів (фактора початку синтезу – **ініціації**, фактора подовження синтезу – **елонгації** й фактора закінчення синтезу **термінації**) між амінокислотами, що вибудовуються в ланцюг відповідно до послідовності кодонів мРНК, утворюються пептидні зв'язки. По досягненні термінального кодона синтез припиняється, і білок відокремлюється від рибосоми.

Генетичний код: загальні відомості.

Нуклеотидна послідовність гена визначає послідовність амінокислот у білку. Ця відповідність забезпечує генетичний код. Три сусідніх нуклеотиди в молекулі ДНК становлять триплет, а послідовність нуклеотидів у триплеті – є кодом (кодоном) певної амінокислоти. Кодони є для кожної з 20 амінокислот, що входять до складу білка. Відповідність кодонів у ДНК певним амінокислотам називають генетичним кодом. За невеликими виключеннями генетичний код універсальний для всіх живих організмів. Через те що чотири нуклеотиди об'єднані у триплет дають 64 різні варіанта, а амінокислот усього 20, то більшість амінокислот кодується більш ніж одним кодоном іншими словами: генетичний код є виродженим.

Генетичний код має наступні особливості:

1. Код – триплетний, тобто одна амінокислота задається послідовністю із трьох нуклеотидів – кодоном.

2. Код не перекривається, тобто в послідовності основ перші три основи кодують одну амінокислоту, три наступні основи – іншу й т.д.

3. Код є виродженим: майже кожній амінокислоті відповідає кілька кодонів–синонімів.

5. Генетичний код – універсальний, тобто всі живі організми (евкаріоти, прокаріоти й віруси) використовують однаковий код.

Генетична інженерія – конструювання *in vitro* функціонально активних генетичних структур (рекомбінантних ДНК) і спадково змінених організмів. При цьому можливі три основні напрямки – введення генів в клітини бактерій і дріжджів, в соматичні клітини (рослин, тварин, людини) і в зародкові клітини.

Основні процедури в генній інженерії – одержання генетичного матеріалу (фрагментів ДНК – генів), введення гібридної ДНК (яка містить цільові гени) в клітину, включення внесених генів в генетичний апарат клітини. Іноді застосовують операцію виключення із клітини певних генів. Гени для маніпуляцій можна одержати за допомогою хіміко-ферментного синтезу, безпосередньо виділити із генома донорських клітин, шляхом копіювання інформаційних іРНК.

Роботи в області генетичної інженерії включають чотири основних етапи: 1) одержання потрібного гена; 2) його вбудовування в генетичний елемент (вектор), здатний до реплікації; 3) введення гена, що входить до складу вектора, в організм-реципієнт; 4) ідентифікація (скринінг і селекція) клітин, які отримали бажаний ген (гени).

Інструментами для маніпулювання з генетичним матеріалом служать два типи ферментів. Перший тип – ендонуклеази (рестриктази), здійснюють процес розриву молекули ДНК на фрагменти в точно визначеному місці. Під дією рестриктаз можуть утворюватись фрагменти, які мають на своїх кінцях структури, що можуть з'єднуватись одна з одною, – так звані “липкі” кінці у вигляді коротких гомологічних послідовностей нуклеотидів і фрагменти ДНК, які не мають такої здатності “тупі” кінці. Зчленування фрагментів, які не мають “липких” кінців здійснюється під дією другої групи ферментів –

лігаз. (до “тупого” кінця приєднують лігазою одноланцюговий “липкий” кінець а до іншого фрагменту комплементарний йому. При змішуванні їх розчинів “липкі кінці знаходять один одного і з’єднуються водневими зв’язками а потім їх зшиває лігаза (рис. 3)). Однак зараз вже відкриті лігази, що здатні з’єднувати тупі кінці.



Рис. 3 Схема синтезу рекомбінантної ДНК

Новостворену послідовність ДНК (рекомбінантна ДНК) вбудовують в геном організму переважно у вигляді плазміди. Плазміда – позахромосомне утворення, що є автономною спадковою структурою, несе інформацію кількох генів у вигляді невеликої циклічної ДНК. Плазміди можуть переносити від однієї до іншої клітини гени вірулентності, при цьому організм раніше непатогенний стає патогенним. Плазміди, а також віруси і бактеріофаги служать інструментом для перенесення чужорідної генетичної інформації. вони використовуються в генетичній інженерії в якості **векторів**. **Вектор** – це молекула ДНК, що здатна переносити в клітину чужорідну генетичну інформацію і забезпечувати там її розмноження або рідше включення в геном господаря.

Гени еукаріотів мають мозаїчну структуру, складені із ділянок, що кодуєть білок – екзонів і проміжних – інтронів. В результаті процесінгу мРНК інтронні ділянки вирізаються. У бактерій на відміну від еукаріотів в генах немає інтронів і тому в рекомбінантних молекулах бактерій еукаріотний білок не синтезувався. Вихід було знайдено із відкриттям спеціальних ферментів – ревертаз. За допомогою ревертаз на основі мРНК можна одержати ДНК – копію, що не містить інтронів. При цьому бактерія набуває здатності синтезувати білки вищих рослин, тварин, людини (інсулін, соматотропін, інтерферони та ін.).

Інтеграція трансгенів із хромосомами соматичних і генеративних клітин.

Головне завдання генної інженерії одноклітинних мікроорганізмів – конструювання плазмідної ДНК, що може реплікуватись автономно і містити цільовий ген разом із усіма необхідними регуляторними елементами для його експресії та створення умов для збереження даної рекомбінантної

конструкції у значній кількості копій. Проблеми інтеграції чужорідного гену із генетичним апаратом прокариотів практично немає (вона досить легко вирішується за допомогою векторів на основі ДНК фагів і транспозонів).

В клітинах еукаріотів справа інша. В принципі люба чужа ДНК, що введена в соматичну клітину, здатна вбудовуватись в хромосоми, хоча ефективність цього процесу мала (10^{-7} активів інтеграції в перерахунку на одну клітину). Суттєво підвищити ефективність інтеграції (соматичних і генеративних клітин) можуть лише ретровірусні вектори. В той же час вони не здатні забезпечити сайт-специфічну інтеграцію. Ефективність інтеграції і трансформації досягає найбільших величин під час мікроін'єкції рекомбінантної ДНК в ядра клітин. Слід відмітити випадковий характер такої інтеграції трансгену, що також знижує ефективність трансформації (можливість включення трансгену в ділянки геному де взагалі не відбувається експресії генів, або відбувається їх сильне інгібування).

Мозаїцизм трансгенних тварин. Загальний недолік методів введення чужорідних генів в генеративні клітини – практично невідворотній генетичний мозаїцизм. Він полягає в тому, що трансген присутній не в усіх клітинах тварин. Найпоширеніше пояснення мозаїцизму зводиться до того, що інтеграція трансгену в генеративних клітинах може запізнюватись по відношенню до реплікації ДНК.

Основні види небезпек, що пов'язані із генетичною модифікацією організмів.

1. Експресія послідовностей ДНК, виділених із патогенних організмів, може підвищити вірулентність генетично модифікованих організмів (ГМО)

2. Послідовності ДНК, що вбудовують, не описані належним чином, наприклад, під час створення геномних бібліотек ДНК із патогенних мікроорганізмів

3. Генні продукти мають потенційну фармакологічну активність

4. Генні продукти несуть інформацію про токсини.

4. Імунний статус реципієнта може зазнати ушкодження

5. Наслідки впливу не повністю передбачувані.

Багато модифікацій не охоплюють гени, продукти яких у своїй основі шкідливі, але побічні ефекти можуть виникнути й у результаті зміни існуючих непатогенних ознак. Модифікація нормальних генів може призвести до зміни патогенності. При спробі визначити ці потенційні небезпеки слід враховувати наступні моменти (список не повний):

1. Зростання інфективності або патогенності.

2. Можливість розблокування мутацій, що заблоковані, в організмі реципієнта в результаті вбудовування стороннього гена.

3. Наявність у сторонньому гені детермінанти патогенності з іншого організму.

4. Вплив генетичної модифікації на чутливість ГМО до антибіотиків або інших форм терапії.

5. Можливість повного знищення ГМО.

Оцінка необхідна в тих випадках, коли генний продукт, що вбудовують, має відомі біологічно й фармакологічно-активні властивості, які можуть мати шкідливий вплив наприклад:

1. Токсини
2. Цитокіни
3. Гормони
4. Регулятори генної експресії
5. Фактори вірулентності або енхансери
6. Онкогенні послідовності
7. Стійкість до антибіотиків
8. Алергени.

У таких випадках необхідно робити оцінку рівня експресії, необхідного для досягнення біологічної й фармакологічної активності.

1. Чутливість організму «хазяїна» до нових факторів, що вбудовують
2. Патогенність штаму хазяїна, включаючи вірулентність, інфективність і вироблення токсинів
3. Модифікація кола «хазяїв»

Принципи біобезпеки

Оцінка потенційного ризику мікробіологічних агентів.

Для проведення оцінки мікробіологічного ризику варто брати до уваги:

1. Патогенність агента та його інфекційну дозу.
2. Потенційні наслідки інфікування.
3. Природні шляхи передачі інфекції.
4. Інші можливі шляхи інфікування (маніпуляції в лабораторних умовах, парентеральний, повітряно-краплинний, із їжею).
5. Стабільність агента у навколишньому середовищі.
6. Генетичні й інші маніпуляції з організмом, які можуть розширити коло «хазяїв» агента або змінити чутливість агента до відомих й ефективних схем лікування.
7. Наявність на місцях ефективних профілактичних і терапевтичних засобів профілактики.

Групи патогенності мікроорганізмів 1 – 4. Найбільш небезпечні мікроорганізми 1 и 2 груп патогенності.

За класифікацією прийнятою в США, Канаді і Японії, мікроорганізми найбільшого ступеня патогенності віднесені до 4-ї групи.

Роботи з мікроорганізмами, їхній облік, зберігання й транспортування регламентовані Санітарними правилами, які спрямовані на забезпечення особистої й суспільної безпеки при роботі і транспортуванні біоматеріалів, а також виключення несанкціонованої передачі й без облікового зберігання.

З метою забезпечення безпеки персоналу й виключення появи небезпечних патогенів у навколишньому середовищі використовується принцип зонування або категорювання приміщень. Відповідно до санітарних правил приміщення лабораторій по ступені небезпеки для персоналу розділяються на три зони: – **заразна зона** де проводяться дослідження з мікроорганізмами

груп патогенності; – *умовно заразна зона* – дослідження не ведуться, здійснюється підготовча робота; – *чиста зона*.



Міжнародний знак біологічної небезпеки

Основи планування заходів під час НС біологічного походження.

При розробці плану дій у випадку НС варто розглянути включення наступних позицій:

1. Виявлення мікроорганізмів високого ризику
2. Визначення зон високого ризику, наприклад, лабораторій, місць зберігання, місць утримання тварин
3. Визначення персоналу й населення, що піддається ризику
4. Визначення відповідальних осіб й їхніх обов'язків, наприклад, співробітника по біологічній безпеці, персоналу, відповідального за біологічну безпеку, місцевий орган охорони здоров'я, клініцистів, мікробіологів, ветеринарів, епідеміологів, а також служби МНС і МВС.
5. Складання переліку лікувальних установ й ізоляторів, у які можуть бути поміщені постраждалі або інфіковані люди
6. Транспортування постраждалих або інфікованих людей
7. Перелік джерел одержання захисної сироватки, вакцин, ліків, спеціального устаткування й допоміжних засобів
8. Надання аварійних засобів, наприклад, захисного одягу, засобів дезінфекції, комплектів засобів для видалення пролитих хімічних і біологічних матеріалів, устаткування й допоміжних матеріалів для деконтамінації.

Принципи поводження із біологічно-небезпечним матеріалом.

Правила перевезення інфекційних матеріалів (будь-яким видом транспорту) ґрунтуються на прийнятих Організацією Об'єднаних Націй «Типових правилах перевезення небезпечних вантажів»

Під час перевезення інфекційних і потенційно інфекційних матеріалів використовується базовий принцип потрійного пакування. Система потрійного пакування складається із трьох шарів: первинний контейнер, вторинне пакування й зовнішнє пакування.

Первинний контейнер, у якому перебуває зразок, повинен бути герметичним і мати маркування, що вказує на його вміст. Він повинен бути загорнутий у достатню кількість абсорбуючого матеріалу, здатного поглинути всю рідину у випадку витікання або пошкодження контейнера.

Вторинне водонепроникне пакування використовується для захисту первинного контейнера (контейнерів). Кілька обгорнених первинних контейнерів можуть бути поміщені в одне вторинне пакування. Деякі нормативні документи містять положення, що регламентують обсяг й/або вагу впакованих інфекційних матеріалів.

Третій шар служить для захисту вторинного пакування від фізичного пошкодження під час перевезення.

Відповідно до самих останніх правил повинні також представлятися бланки даних про зразок, листи й інша інформація, що дозволяє ідентифікувати або описати зразок або встановити особистість перевізника й одержувача.

У випадку розлиття інфекційного або потенційно інфекційного матеріалу варто застосовувати наступну **процедуру очищення**.

1. Надягти рукавички й захисний одяг, включаючи, якщо буде потреба, захисні пристосування для обличчя й очей.

2. Накрити матеріал, що пролився, тканинним або паперовим рушником, щоб запобігти його подальшому поширенню.

3. Вилити відповідний дезінфікуючий засіб через рушник на матеріал, що пролився, і прилягаючу зону (як правило, для цієї мети достатньо 5 % розчину гіпохлорита натрію, але у випадку розлиття на борту літаків варто застосовувати четвертинні амонієві дезінфікуючі засоби).

4. Застосовувати дезінфікуючий засіб треба концентричними колами, починаючи із зовнішньої зони матеріалу, що пролився, і поступово просуваючись до центра.

5. Після закінчення належного періоду часу (наприклад, 30 хвилин), видалите весь матеріал. При наявності скла, що розбилося, або інших гострих предметів для їхнього збору використовуйте совок для сміття або шматок картону які потім покладіть у міцний контейнер для наступного знищення.

6. Очистите й продезінфікуйте ділянку розливу (якщо буде потреба, повторіть етапи 2–5).

7. Покладіть контаміновані матеріали у водонепроникний, стійкий до проколів контейнер для наступного видалення.

7. Після успішної дезінфекції проінформуйте відповідні органи про те, що ділянка була деконтамінована.

Тема 13. Біотероризм

Особливість використання біологічних агентів як біологічної зброї

Саме поняття “терор”, на думку деяких фахівців, виникло саме під час Французької революції. (Терор – лат. *terror* – страх, застосування насильства, аж до фізичного знищення супротивника.

Канадський центр стратегічного аналізу, проаналізувавши більше 300 випадків хімічного тероризму, вважає, що найбільш поширеними й доступними хімічними речовинами для проведення терактів є:

- аварійно-хімічні небезпечні речовини (хлор, фосген, синильна кислота й ін.);
- отруйні речовини;
- психогенні й наркотичні речовини;
- природні отрути і токсини (стрихнін, рицин, бутулотоксин, нейротоксини).

Особливу небезпеку являє застосування швидкодіючих фосфорорганічних отруйних речовин у замкненому об'ємі приміщень із приточно-витяжною вентиляцією. Великі швидкості поширення повітряних потоків з отруйними речовинами в місцях скупчення значних мас людей можуть привести до колосального числа жертв.

У якості бактеріальних (біологічних) засобів можуть бути використані різні збудники. Для ураження людей це збудники бактеріальних захворювань (чума, туляремія, бруцельоз, сибірська виразка, холера), збудники вірусних захворювань (натуральна віспа, жовта лихоманка, венесуельський енцефаломієліт коней, лихоманка Денге), збудники рикетсіозів (висипний тиф, плямиста лихоманка Скелястих гір, Ку-лихоманка), збудники грибкових захворювань (кокцидіодомікоз, покардіоз, гістоплазмоз). Для ураження тварин можуть бути застосовані збудники ящуру, чуми великої рогатої худоби, чуми свиней, сибірської виразки, сапу, африканської лихоманки свиней, помилкового сказу й інших захворювань. Для знищення рослин можуть використовуватися збудники іржі хлібних злаків, фітофторозу картоплі, пізнього зів'янення кукурудзи й інших культур, а також комахи-шкідники сільськогосподарських рослин. Нарешті, для рослин небезпечні фітотоксиканти, дефоліанти, гербіциди й інші хімічні речовини.

Перераховані біологічні агенти можуть потрапити в руки терористів у результаті викрадення з установ, що здійснюють виробництво вакцинних препаратів від особливо небезпечних інфекцій. Крім того, біологічні агенти можуть бути виготовлені нелегально у лабораторних умовах.

Особливістю бактеріологічної (біологічної) зброї є наявність схованого періоду дії, протягом якого уражені залишаються при здоров'ї й виконують свої обов'язки, а потім раптово занедужують. Схований період може бути різним, наприклад, при зараженні чумою чи холерою може тривати від кількох годин до 3 діб., туляремією – до 6 діб, висипним тифом – до 14 діб. Відмінність біологічної зброї від хімічної у непомітності її застосування й репродуктивності агента – бактерії й віруси у сприятливому середовищі розмножуються самі.

Міжнародна конвенція по біологічній зброї 1972 р. заборонила її виробництво й застосування в будь-якій формі. Сучасна щільність населення й інфраструктура такі, що у випадку спрямованого зараження локалізувати осередок зараження практично неможливо. Великі міста беззахисні перед такою загрозою. Ефективного засобу протистояти наслідкам використання біологічної зброї в наш час немає. Єдиним запобіжником служить природна відраза людини до подібному до методу знищення подібних собі.

Біотехнологія й військові програми

Біологічні технології, як, втім, всі інші технології, можуть мати подвійне призначення. Розвиток біотехнології сприяє не тільки новим досягненням на благо людства але й створенню систем удосконалювання біологічної зброї.

Необхідно відзначити, що стримують використання біологічних засобів знищення інтелектуальні, етичні й психологічні фактори.

В аналітичному огляді центра стратегічних і міжнародних досліджень США (CSIS) у розділі: “Нові типи біологічної зброї” описано нові типи біологічної зброї та ті, що можуть бути розроблені у найближчі роки.

Бінарна біологічна зброя. Бінарною цю зброю називають тому, що вона представлена двома елементами, кожний з яких окремо не представляє небезпеки. У свою чергу об’єднання цих двох елементів або форм веде до розвитку інфекційного процесу. Як правило, ці елементи представлені вірусом і хелперним вірусом (вірусом-помічником) який активує основний.

Зброя на основі сконструйованих генів і живих форм. Цей вид зброї заснований на одержанні так званих синтетичних організмів. Це організми, у яких у лабораторних умовах змінена звичайна послідовність генів, тобто гени перетасовані (shuffling), або в їхній геном включено нові гени (networks). Після таких маніпуляцій організм, зокрема вірус, може отримувати нові властивості. Так, він може ставати стійким до існуючих методів боротьби. Слід зазначити, що таке перетасування генів може відбуватися й у природних умовах, чим і пояснюються катастрофічні наслідки від відомих збудників. Так, змінений вірус грипу «Іспанка» в 1918 році забрав життів більше, ніж Перша світова війна.

“Генно-терапевтична зброя”. До цього виду зброї відносять трансформовані (генетично змінені) віруси, які несуть гени “троянського коня” Маються на увазі ретровіруси, аденовіруси, поксвіруси. Якщо подібний вірус, що несе гени “троянського коня”, попадає в організм людини, то він придушує імунітет, вражає статеві й соматичні клітини.

Стелс-віруси (невидимки). Цей підхід заснований на тім факті, що люди звичайно є носіями декількох груп вірусів, тобто в популяції людей існує постійне вірусне навантаження: наприклад, вірус герпеса, цитомегаловіруси, вірус Епштейна – Барра, вірус SV-40. У звичайних умовах ці віруси можуть ніколи не проявлятися, і ми навіть не будемо знати про їхнє існування в нашому організмі.

Якщо з якихось причин ці віруси “пробуджуються” в організмі, то вони викликають хвороби, такі як рак й інші важко виліковні патології. Через те, що дія цих вірусів може не проявлятися тривалий час, ними можна інфікувати (заражати) людей протягом ряду років, а потім, як відзначалося в доповіді CSIS, здійснювати шантаж населення.

Зброя хвороби зміни хазяїв. Однією з особливостей вірусів є їхня здатність вражати тільки вузьке коло хазяїв: віруси рослин не здатні уражати тварин, віруси, що уражають гризунів, можуть не уражати людей, і т.д.

Однак якщо за певних причин вірус міняє свого хазяїна, то відносно нового хазяїна він може й найчастіше проявляє ще більшу агресивність, що може призводити до летальних наслідків. Такі випадки відбуваються в природі. Прикладами є вірус ВІЛ, хантавірус, вірус Марбурга, Ебола й ін.

Якщо штучно змінити геном, що призведе до зміни хазяїна, то можна одержати високолетальну зброю масового ураження .

Сконструйовані (designer) хвороби можуть бути отримані штучно, на основі методів молекулярної біології й рекомбінантних ДНК. Після цього конструюється патоген, що здатний ці хвороби викликати. Зокрема явище апоптозу, також може бути використане для знищення життя. Мова йде про розробку таких “продуктів”, які будуть запускати загибель клітин по програмі природної смерті. **Аноптоз** – це природна запрограмована загибель клітин: у випадку запуску цієї програми, що існує в клітині, клітина сама себе руйнує. За нормальних умов апоптоз забезпечує процес старіння організму.

Етнічна зброя

Зброя, що вибирає жертви за етнічною ознакою. У рамках створення "етнічної бомби" використовують успіхи медицини по ідентифікації відмітних генів, які мають деякі групи людей, для подальшого створення генетично змінених бактерій або вірусів які здатні уражати саме ці групи людей.

Агротероризм

Агротероризм – використання хімічної або біологічної зброї проти підприємств сільського господарства або харчової індустрії. Агротероризм небезпечний не тільки через прямі матеріальні збитки, що він може завдати сільському господарству й торгівлі. Одним з наслідків спалахів інфекційних захворювань, що не передаються людям, є зменшення ділової активності у постраждалій країні або регіоні й падіння обсягів туризму. Колосальний збиток може нанести не епідемія, а просте використання у сільському господарстві шкідливих компонентів. В 2001 році у Бельгії прем'єр-міністр змушений був піти у відставку, після того як з'ясувалося, що в кормі для курей містився канцероген діоксин. Збиток сільського господарства Бельгії оцінюється в \$1 млрд.

Способи розпізнавання потенційних патогенів

1. Розпізнавання за допомогою реакцій аглютинації й преципітації
2. Розпізнавання за допомогою біочипів

Існує два основних типи біочипів. Перший тип – це мікроматриці різних сполук, головним чином біополімерів, імобілізованих у мікрокапілярах на поверхні скла, у мікрокраплинах гелю. Іншим типом біочипів "мікролабораторії". Ефективність біочипів обумовлена можливістю паралельного проведення великої кількості специфічних реакцій і взаємодій молекул біополімерів, таких як ДНК, білки, полісахариди, один з одним і низькомолекулярними компонентами.

На рис. 4 показаний принцип дії олігонуклеотидного біочипа, заснований на комплементарних взаємодіях основ аденіна (А) з тіаміном (Т) і гуаніна (G) із цитозином (С) у двох нитках ДНК. Якщо послідовність основ в одному ланцюгу ДНК (або олігонуклеотиді) комплементарна послідовності іншого ланцюга, то утворюється стабільна двохланцюгова спіраль – дуплекс. Якщо іммобілізувати в одному з елементів мікрочипа одноланцюговий олігонуклеотид ДНК, то при додаванні до мікрочипа мічених флюоресцентними барвниками фрагментів ДНК, наприклад генома людини, буде відбуватися їх високоспецифічна взаємодія. Олігонуклеотидний елемент біочипа специфічно зв'яже лише комплементарну послідовність із всіх можливих послідовностей подібної довжини. У результаті флюоресцентне світіння спостерігається тільки на цьому елементі біочипа.

Але для систем біологічної детекції основною залишається проблема розпізнавання нових небезпечних агентів.

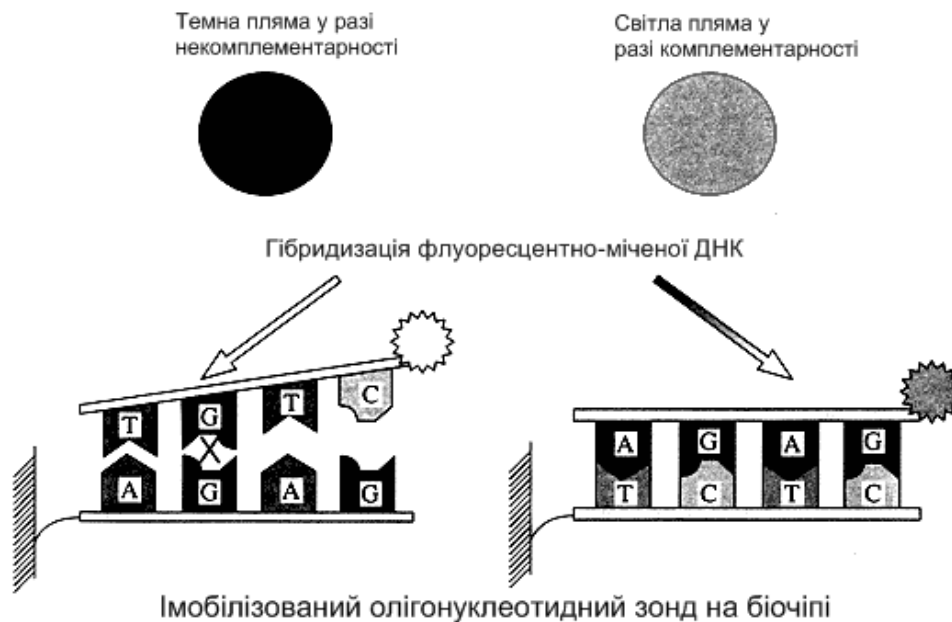


Рис. 4. Схема утворення дуплекса ДНК на біочіпі

Рейтинг біоагентів по ймовірності використання у якості біологічної зброї

І група (висока ймовірність використання, рейтинг * >. 15)		ІІ група (можливе використання, рейтинг 10-14)		ІІІ група (слабка ймовірність використання, рейтинг <10)	
Збудник інфекції	Рейтинг	Збудник інфекції	Рейтинг	Збудник інфекції	Рейтинг
Віспа	26	Бруцельоз	13	Сказ	8
Чума	23	Японський енцефаліт	13	Черевний тиф	7
Сибірська	21	Жовта	13	Дизентерія	6

виразка		лихоманка			
Ботулізм	21	Холера	13	Стафілокок	5
Вірусний енцефаліт		Дифтерія	12	ВІЛ	5
лімфоцитарний					
Туляремія	20				
Ку-лихоманка	20				
Лихоманка	18				
Марбурга					
Грип	17				
Сап	17				
Висипний тиф	17				

*Критерії для визначення рейтингу біоагентів:

- 1) чутливість людини до мікроба;
- 2) доза, що інфікує, при аерозольному шляху інфікування;
- 3) контагіозність;
- 4) можливі шляхи інфікування;
- 5) стійкість в аерозолі й у навколишньому середовищі;
- 6) характер захворювання (важкість, летальність, тривалість хвороби й ін.);
- 7) можливість масового виробництва біоагента (культивування, фізико-хімічні форми, зберігаємість, аерозолювання...);
- 8) можливість експрес-діагностики;
- 9) наявність засобів профілактики;
- 10) наявність засобів лікування.;

Приклади розв'язання задач

Необхідні пояснення

Білки

- Середня молекулярна маса одного амінокислотного залишку становить 120 г/моль.
- розрахунок молекулярної маси білків:

$$\mu_{\min} = \frac{a}{b} \cdot 100\%$$

де μ_{\min} - мінімальна молекулярна маса білка, г/моль;
a – атомна або молекулярна маса компонента, г/моль;
b – процентний вміст компонента.

Завдання №22.

Гемоглобін крові людини містить 0,34 % заліза. Розрахуйте мінімальну молекулярну масу гемоглобіну.

Розв'язання.

$$\mu_{\min} = 56 : 0,34\% \cdot 100\% = 16471 \text{ г/моль}$$

Завдання №23.

Альбумін сироватки крові людини має молекулярну масу 68400. Розрахуйте кількість амінокислотних залишків у молекулі цього білка.

Розв'язання.

$$68400 : 120 = 570 \text{ (амінокислот у молекулі альбуміну)}$$

Завдання №24.

Білок містить 0,5% гліцину $C_2H_5O_2N$. Чому дорівнює мінімальна молекулярна маса цього білка, якщо $\mu_{\text{гліцину}} = 75,1$ г/моль. Скільки амінокислотних залишків у цьому білку?

Розв'язання.

- 1) $\mu_{\min} = 75,1 : 0,5\% \cdot 100\% = 15020$
- 2) $15020 : 120 = 125$ (амінокислот у цьому білку)

Необхідні пояснення

Нуклеїнові кислоти

- відносна молекулярна маса одного нуклеотида приймається за 345 г/моль
- відстань між нуклеотидами в ланцюзі молекули ДНК (=довжина одного нуклеотида) – 0,34 нм
- Правила Чаргафа:
 1. $\sum (A) = \sum (T)$
 2. $\sum (G) = \sum (C)$

3. $\sum (A+G) = \sum (T+C)$

4.

Завдання №25.

На фрагменті однієї нитки ДНК нуклеотиди розташовані у послідовності: А-А-Г-Т-Ц-Т-А-Ц-Г-Т-А-Т. Визначите процентний вміст всіх нуклеотидів у цьому гені і його довжину.

Розв'язання.

1) добудовуємо другу нитку (за принципом компліментарності)

2) $\sum(A+T+C+G) = 24,$

з них $\sum(A) = 8 = \sum(T)$

$$24 - 100\%$$

$$8 - x\%$$

$$\text{звідси: } x = 33,4\%$$

$$\sum(G) = 4 = \sum(C)$$

$$24 - 100\%$$

$$4 - x\%$$

$$\text{звідси: } x = 16,6\%$$

3) молекула ДНК дволанцюгова, тому довжина гена дорівнює довжині одного ланцюга:

$$12 \cdot 0,34 = 4,08 \text{ нм}$$

Завдання №26.

У молекулі ДНК на частку цитидилових нуклеотидів доводиться 18%. Визначте процентний вміст інших нуклеотидів у цієї ДНК.

Розв'язання.

1) Ц - 18% => Г - 18%

2) На частку А+Т доводиться 100% - (18% +18%)=64%, тобто по 32%

Відповідь: Г и Ц - по 18%,

А й Т - по 32%.

Контрольні питання

1. Основні ознаки живих організмів.
2. Будова і функції клітинних органел.
3. Відмінність рослинної і тваринної клітин.
4. Характеристика основних класів патогенів, та хвороб, які вони викликають.
5. Способи захисту від дії основних класів патогенів.
6. Основні види небезпек природного походження.
7. Способи поширення інфекційних захворювань.
8. Механізм формування набутого та уродженого імунітету.
9. Механізм захисної дії імуноглобулінів.
10. Роль лімфоцитів у імунній реакції організму.
11. Види та шляхи утворення лімфоцитів.

12. Реакції аглютинації і преципітації, їх сутність та роль у імунній відповіді організму.
13. Антиген – антитіло, сутність процесу взаємодії.
14. Основи забезпечення активного і пасивного імунітету.
15. Роль ізоантитіл у імунній реакції організму.
16. Імунізація, види імунізації.
17. Вірус грипу, його будова.
18. Функції поверхневих білків вірусу грипу.
19. Природа мінливості вірусу грипу, явище реасортації.
20. Білки. Функції білкових молекул.
21. Структура білкової молекули.
22. Будова нуклеїнових кислот.
23. Функції нуклеїнових кислот, ДНК, РНК.
24. Ген. Етапи експресії гена.
25. Генетичний код, його особливості.
26. Генна інженерія, основні етапи та інструменти у процесі створення генномодифікованого організму (ГМО).
27. Основні види небезпек, пов'язані із створенням ГМО.
28. Основи планування заходів під час НС біологічного походження.
29. Принципи поводження із біологічно-небезпечним матеріалом.
30. Характеристика основних агентів, які можуть бути використані у якості біологічної зброї.
31. Особливості використання біологічних агентів у якості зброї.
32. Характеристика нових типів біологічної зброї.
33. Агротероризм. Основні напрямки запобігання небезпечним проявам.
34. Способи розпізнавання потенційних патогенів.

Розрахункові задачі

1. У молекулі ДНК виявлено 880 гуанілових нуклеотидів, які становлять 22% від загального числа нуклеотидів у цієї ДНК.

Визначте: а) скільки інших нуклеотидів у цієї ДНК? б) яка довжина цього фрагмента?

2. Дано молекулу ДНК із відносною молекулярною масою 69000, з них 8625 доводиться на частку аденілових нуклеотидів. Знайдіть кількість всіх нуклеотидів у цієї ДНК. Визначте довжину цього фрагмента.

3. Що важче: білок чи його ген?

4. Послідовність нуклеотидів на початку гена, що зберігає інформацію про білок інсуліну, починається так:

АААЦАЦЦТГЦТТГТАГАЦ

Напишіть послідовність амінокислот, з яких починається ланцюг інсуліну.

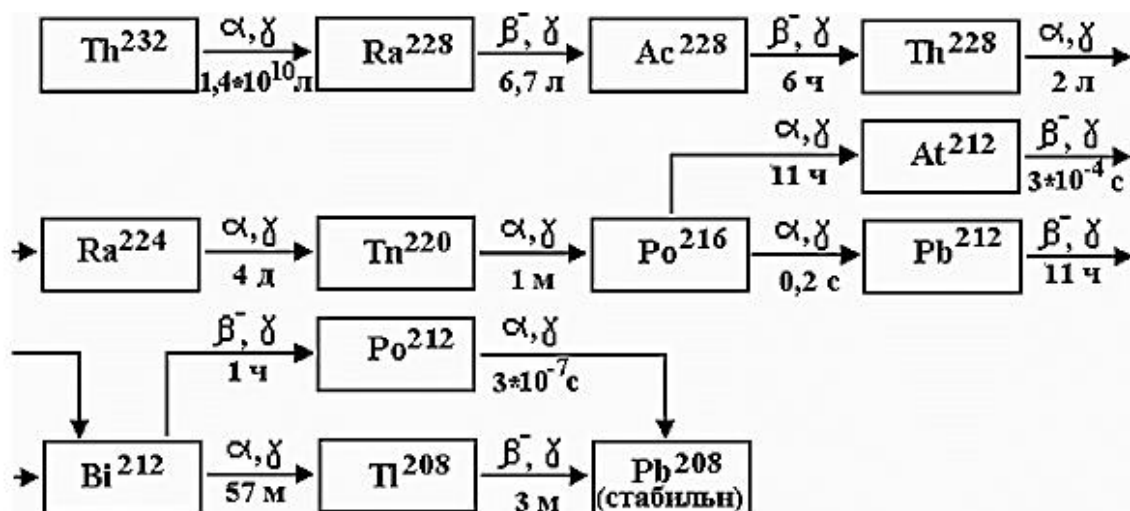
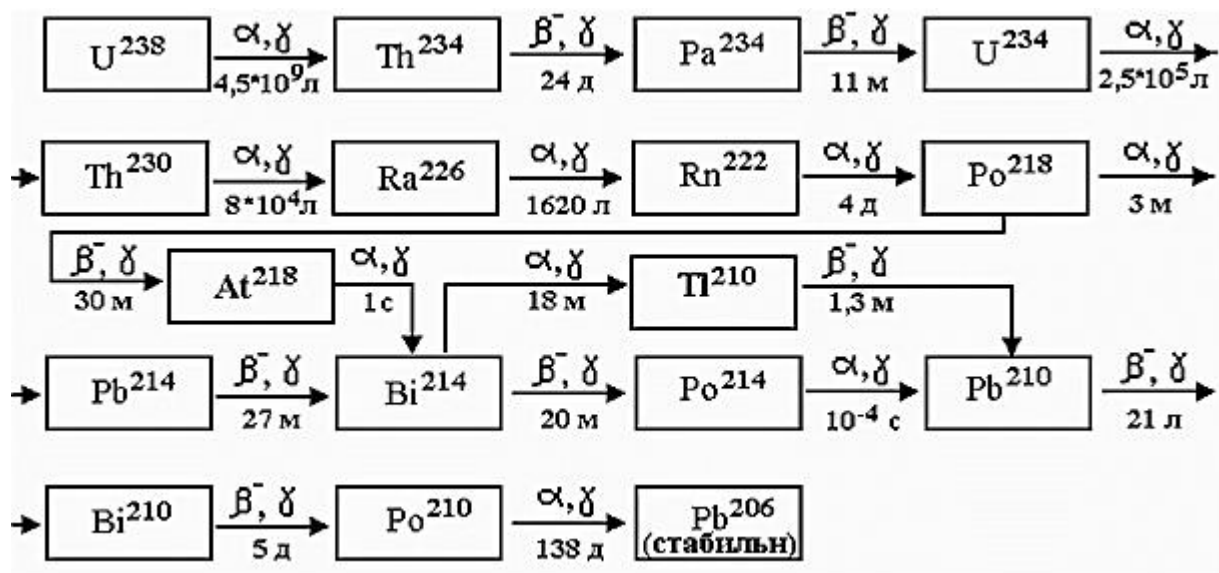
5. Вірусом тютюнової мозаїки (РНК - овий вірус) синтезується ділянка білка з амінокислотною послідовністю:

Ала – Тре – Сер – Глу – Мет-

Під дією азотистої кислоти (мутагенний фактор) цитозин у результаті дезамінування перетворюється в урацил. Яку будову буде мати ділянка білка вірусу тютюнової мозаїки, якщо всі цитидилові нуклеотиди піддати зазначеному хімічному перетворенню?

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ	4
Тема 1. Основні поняття дисципліни	10
РОЗДІЛ 1. НЕБЕЗПЕКИ РАДІАЦІЙНОГО ПОХОДЖЕННЯ	13
Тема 2. Природа радіації. Види іонізуючих випромінювань	13
Тема 3. Фізична, хімічна і біологічна дія іонізуючих випромінювань	24
Тема 4. Захист від дії іонізуючого випромінювання	26
Приклади розв'язання задач	28
Контрольні питання	31
Розрахункові задачі	32
РОЗДІЛ 2. НЕБЕЗПЕКИ ХІМІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ	34
Тема 5. Загальна характеристика хімічного впливу речовин на організм людини	34
Тема 6. Небезпечні властивості простих речовин	40
Тема 7. Небезпечні властивості неорганічних речовин	44
Тема 8. Небезпечні властивості органічних речовин	48
Тема 9. Методи знешкодження і утилізації небезпечних речовин	55
Приклади розв'язання задач	59
Контрольні питання	63
Розрахункові задачі	64
РОЗДІЛ 3. НЕБЕЗПЕКИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ	66
Тема 10. Загальна характеристика джерел біологічної небезпеки	66
Тема 11. Біологічні небезпеки природного походження	69
Тема 12. Небезпека сучасних біотехнологічних виробництв	77
Тема 13. Біотероризм	87
Приклади розв'язання задач	93
Контрольні питання	94
Розрахункові задачі	96
ЗМІСТ	97



земного происхождения

В настоящее время на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 10^7 лет и выше. Физические характеристики некоторых из них представлены в таблице 17.

Таблица 17.

Радиоактивные изотопы, изначально присутствующие на Земле.

Радионуклид Весовое

содержание в

земной коре

Период

полураспада,

лет: Тип распада:

Уран-238 $3 \cdot 10^{-6}$ $4.5 \cdot 10^9$ α -распад

Торий-232 $8 \cdot 10^{-6}$ $1.4 \cdot 10^{10}$ α -распад, γ -распад

Калий-40	$3 \cdot 10^{-16}$	$1.3 \cdot 10^9$	(β - распад, γ -распад)
Ванадий-50	$4.5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14}$	γ -распад
Рубидий-87	$8.4 \cdot 10^{-5}$	$4.7 \cdot 10^{10}$	β -распад
Индий-115	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}$	β -распад
Лантан-138	$1.6 \cdot 10^{-8}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	β -распад, γ -распад
Самарий-147	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{11}$	α -распад
Лютеций-176	$3 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{10}$	β -распад, γ -распад

В трех радиоактивных семействах: урана (^{238}U), тория (^{232}Th) и актиния (2

Различают пороговые (детерминированные) и стохастические эффекты. Первые возникают когда число клеток, погибших в результате облучения, потерявших способность воспроизводства или нормального функционирования, достигает критического значения, при котором заметно нарушаются функции пораженных органов. Зависимость тяжести нарушения от величины дозы облучения показана в таблице 30.

Таблица 30.

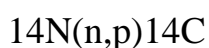
Воздействие различных доз облучения на человеческий организм	
Доза, Гр	Причина и результат воздействия
(0.7 - 2) 10^{-3}	Доза от естественных источников в год
0.05	Предельно допустимая доза профессионального облучения в год
0.1	Уровень удвоения вероятности генных мутаций
0.25	Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
1.0	Доза возникновения острой лучевой болезни
3- 5	Без лечения 50% облученных умирает в течение 1-2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга
10 - 50	Смерть наступает через 1-2 недели вследствие поражений главным образом желудочно кишечного тракта
100	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

Хроническое облучение слабее действует на живой организм по сравнению с однократным облучением в той же дозе, что связано с постоянно идущими процессами восстановления радиационных повреждений. Считается, что примерно 90% радиационных повреждений восстанавливается.

§2 Природные радионуклиды

К радионуклидам природного происхождения (их в атмосфере Земли более 60) относятся космогенные радионуклиды (КРН) и естественные (или первичные) радионуклиды земного происхождения (ЕРН).

Космогенные радионуклиды образуются в атмосфере Земли в результате взаимодействия частиц ядерно-активной компоненты вторичного космического излучения с ядрами атомов атмосферы (преимущественно кислорода, азота и аргона). Наибольшее значение для радиоэкологии имеют такие КРН как ^3H , ^7Be , ^{14}C , и ^{22}Na . Примерами реакций активации, приводящих к образованию важнейших КРН, являются следующие реакции:



Естественные радионуклиды возникали, вероятно, в ядерных процессах синтеза элементов на ранних стадиях формирования Вселенной. ЕРН имеют очень большие периоды полураспада. Их можно разделить на две группы:

- 1) радионуклиды, относящиеся к середине периодической системы элементов с $T_{1/2} = 10^{10} - 10^{21}$ лет;
- 2) радионуклиды, относящиеся к концу периодической системы элементов с $Z \geq 82$ и являющиеся родоначальниками радиоактивных семейств урана, тория, актиния.

К первой группе относятся 12 радионуклидов: ^{40}K , ^{48}Ca , ^{87}Rb , ^{96}Zr , ^{115}In , ^{124}Sn , ^{130}Te , ^{138}La , ^{142}Ce , ^{144}Nd , ^{149}Nd , ^{147}Sm , ^{176}Lu . Они образовались, видимо, в результате первичных процессов и сохранились до настоящего времени, благодаря очень большим периодам полураспада. Из них только ^{40}K ($T_{1/2} = 1.3 \cdot 10^9$ лет) играет заметную роль в формировании естественного радиоактивного фона. Сравнительно легко в объектах экосферы обнаруживается и ^{87}Rb ($T_{1/2} = 5 \cdot 10^{10}$ лет).

Ко второй группе относятся 3 радионуклида с $T_{1/2} = 451 \cdot 10^9$ лет; с $T_{1/2} = 1.41 \cdot 10^{10}$ лет и ^{235}U с $T_{1/2} = 7.07 \cdot 10^8$ лет. Они являются родоначальниками

длинных цепочек распада – радиоактивных семейств урана, тория и актиния (см. ч.1). Конечным продуктом распада у всех трех семейств является один из стабильных изотопов свинца – для семейства урана - , для семейства тория - , а для семейства актиния - .

Во всех трех семействах один из продуктов распада представляет собой радиоактивный газ (эманация). В ряду ^{238}U это радон , ^{232}Th – торон , ^{235}U – актинон ^{219}Ac . Все они являются радиоактивными изотопами инертного газа радона.

На 85% первичные космические лучи состоят из протонов, основную часть остатка составляют альфа-частицы более тяжёлые ядра. Эти частицы под действием магнитных полей звёзд разгоняются, достигают субсветовой скорости и колоссальной энергии. Входя в атмосферу, такая частица постепенно теряет энергию, растрачивая на её многочисленные столкновения с ядрами атомов воздуха. Образующие осколки ядер, приобретая часть энергии первичной частицы, сами становятся факторами ионизации, разрушают и ионизируют другие атомы газов воздуха, то есть превращаются в частицы вторичного космического излучения. К ним относятся: π - и ρ -мезоны (70%), электроны и позитроны (25%), первичные протоны (0,05%), γ -кванты, быстрые и сверхбыстрые нейтроны.