

*І.О. Полякова<sup>1</sup>, О.В. Зубко<sup>2</sup>**(<sup>1</sup>Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки, Київ, Україна,  
<sup>2</sup>Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища», Київ, Україна)*

### **БЕЗПЕЧНЕ ЗБЕРІГАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ ТРИТІЙ**

Обґрунтовано необхідність відокремлення тритію від інших радіонуклідів у радіоактивних матеріалах при зберіганні. Стрімкий розвиток атомної промисловості, медицини, науки тощо вказує на зростання темпів утворення значної кількості радіоактивних відходів, що містять тритій, безпечне поводження з яким є важливим і складним процесом, обумовленим фізико-хімічними властивостями і характеристиками тритію. Відокремлення тритію від інших радіонуклідів при зберіганні має беззаперечні переваги з точки зору забезпечення техногенної і екологічної безпеки та спрощує виконання ряду нормативних вимог у цій сфері.

**Ключові слова:** радіоактивні відходи, радіоактивні матеріали, тритій, зберігання.

*И.А. Полякова, А.В. Зубко*

### **БЕЗОПАСНОЕ ХРАНЕНИЕ РАДІОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ТРИТИЙ**

Обосновано необходимость отделения трития от других радионуклидов в радиоактивных материалах при хранении. Стремительное развитие атомной промышленности, медицины, науки и прочее определяет возрастание темпов образования значительного количества радиоактивных отходов, содержащих тритий. Безопасное обращение с ними является важным и сложным процессом, обусловленным физико-химическими свойствами и характеристиками трития. Отделение трития от других радионуклидов при хранении имеет неоспоримые преимущества с точки зрения обеспечения техногенной и экологической безопасности и упрощает выполнение нормативных требований в этой области.

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, радиоактивные материалы, тритий, хранение.

*I. Poliakova, A. Zubko*

### **SAFE STORAGE OF TRITIUM-CONTAINING RADIOACTIVE WASTE**

The necessity of tritium separation from other radionuclides in radioactive materials during storage has been proved. The rapid development of the nuclear industry, medicine, science, etc. determines formation of a significant amount of tritium containing radioactive waste. Safe handling is an important and difficult process, due to the physical-chemical properties and characteristics of tritium. Separation of tritium from other radionuclides in storage has undeniable advantages in terms of ensuring technogenic and ecological safety and simplifies compliance with regulatory requirements.

**Key words:** radioactive waste, radioactive materials, tritium, storage.

**Постановка проблеми.** Проблема безпечного поводження з радіоактивними матеріалами (РМ), що містять тритій ( $^3\text{H}$ ) є надзвичайно актуальною для України і посідає помітне місце у програмі міжнародного співробітництва в рамках МАГАТЕ та охоплює практично всі галузі діяльності людини: промисловість, охорону здоров'я, продукти харчування, геологічні, фізичні, хімічні, біологічні, медичні науки тощо [1].

В Україні щорічно використовується і накопичується значна кількість радіоактивних матеріалів, що містять тритій. Широко застосовують джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ), що містять  $^3\text{H}$  у фізиці і фізичних експериментах (тритієві мішені, джерела гальмівного випромінювання, джерела світла і сполуки, що випромінюють світло, радіаційні джерела), приладобудуванні, у хімії (аналітична хімія, аналіз похідних із двома ізотопами, радіаційна хімія), геології, біологічних дослідженнях, використанні у клінічній медицині.

Наряду з користю використання  $^3\text{H}$  і застосуванням його у багатьох галузях науки і техніки виникає проблема безпечного поводження з РАВ, що утворюються внаслідок діяльності підприємств, а також безпечне зберігання ДІВ під час практичної діяльності.

Найбільшу кількість тритію генерують АЕС. За даними [2] щорічне генерування тритію у ядерних реакторах світу (усього 441 реактор з сумарною потужністю 370949 МВт) зросло до 757 ПБк.

АЕС України щорічно викидають в атмосферу та скидають у гідросферу до  $10^{15}$  Бк тритію, або близько 10% загальної активності тритію, що генерується в реакторах [1]. Інші 90% знаходяться в реакторі (утворюється під час перебігу реакцій поділу ядер  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , а також унаслідок взаємодії нейтронів з літієм (Li), дейтерієм (D). Певна кількість РАВ, що містять  $^3\text{H}$  - тимчасово зберігаються у вигляді суміші радіонуклідів рідких радіоактивних відходів (РРВ) та твердих радіоактивних відходів (ТРВ).

У місцях зберігання радіоактивних відходів (ПЗРВ) Державною корпорацією Українське державне об'єднання «Радон» (ДК «УкрДО «Радон») РАВ, для відходів що містять тритій прийнята технологія зберігання.

Загалом в Україні на 2012 рік у сховищах АЕС, на ПЗРВ підприємств ДК «УкрДО «Радон» та об'єкті «Укриття» зберігається близько 6 ПБк тритію і майже вдвічі більше емітовано в навколишнє середовище протягом кампанії ядерних реакторів і радіаційних аварій на ПЗРВ Харківського ДМСК ДК «УкрДО «Радон» та ПЗРВ Київського ДМСК ДК «УкрДО «Радон» [1].

**Поводження з РМ, що містять  $^3\text{H}$  в Україні.** Сучасна практика поводження з радіоактивними відходами базується на застосуванні різних методів і варіантів обробки і кондиціонування відходів, їх тимчасового й тривалого зберігання, а також захоронення.

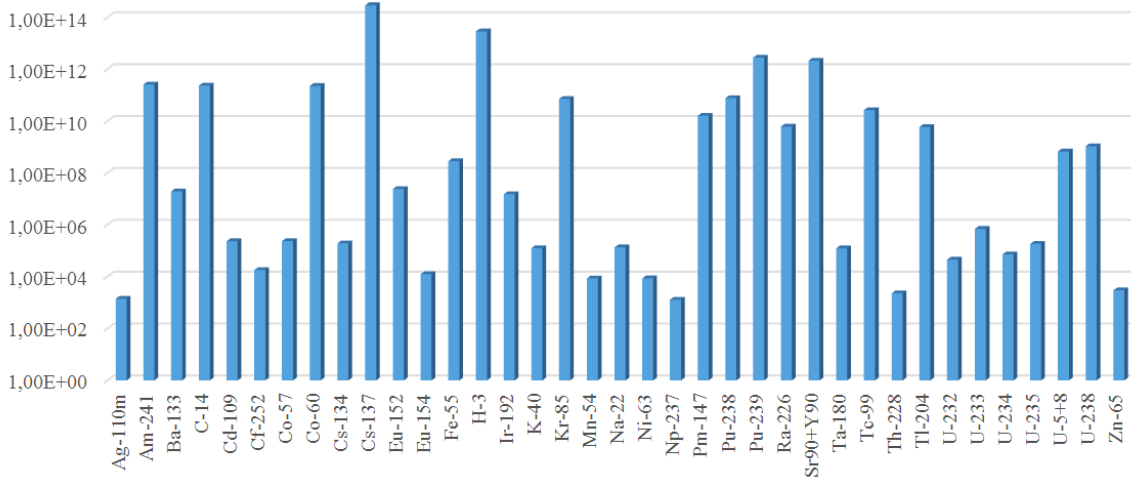
Прийнята більшістю країн з розвиненою атомною енергетикою стратегія поводження з РАВ (в тому числі тритієвих) спрямована на їх утримання та ізоляцію від навколишнього середовища на період потенційної небезпеки.

У РМ тритій, здебільшого, міститься як компонент суміші інших радіонуклідів. Радіонуклідний склад РРВ АЕС визначено такими радіонуклідами:  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^3\text{H}$  тощо. На ПЗРВ ДК «УкрДО «Радон», радіонуклідний склад ТРВ і РРВ визначено:  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{232}\text{Th}$  та іншими радіонуклідами. Винятком є ДІВ, що використовують в медицині та у наукових установах, тритій у яких міститься у «чистому вигляді».

Приклад радіонуклідного складу ТРВ, що зберігаються на ПЗРВ Київського ДМСК ДК «УкрДО «Радон» із зазначенням питомої активності (Бк/кг), вказано на рис.1.

Як видно з рис.1, радіонуклідний склад ТРВ включає в себе значну кількість довгоіснуючих радіонуклідів природного і штучного походження.

Станом на сьогодні, поводження з РАВ, що містять тритій, обмежується кондиціонуванням суміші РАВ та тимчасовим (в цьому випадку - довготривалим) зберіганням їх до звільнення від регулюючого контролю. На ПЗРВ спецпідприємств ДК «УкрДО «Радон» ТРВ, що містять  $^3\text{H}$ , було розташовано у приповерхневих сховищах із залізобетону без попередньої обробки та кондиціонування (вивантажено навалом у відсіки сховищ), що стало однією з причин виникнення радіаційних аварій.



**Рисунок 1** – Радіонуклідний склад ТРВ, що розміщено в одному з ангарів ПЗРВ Київського ДМСК ДК «УкрДО «Радон» станом на 2013 рік

Для проведення оцінок довготермінової безпеки розміщених на тимчасове зберігання РАВ (ТРВ, РРВ, відпрацьованих ДІВ), як основний показник використано час, необхідний для розпаду радіонуклідів в радіоактивних відходах до рівнів їх повного звільнення [4] і визначення періоду потенційної небезпеки.

Відповідно до [4, 5] для тих відходів, що є сумішшю РАВ різних категорій, встановлюється категорія за найбільш високим компонентом суміші.

Згідно з вимогами додатків 2 та 4 [6] і у відповідності з положеннями п. 15.1.10 [4], в якості важливих з точки зору необхідності забезпечення довготермінової безпеки сховищ РАВ, є відходи з такими радіонуклідами  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ ,  $^{93}\text{Mo}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{176}\text{Lu}$ ,  $^{180}\text{Ta}$ ,  $^{207}\text{Bi}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{243}\text{Am}$ ,  $^{252}\text{Cf}$ .

Радіонуклід  $^3\text{H}$ , що містить суміш вищезазначених елементів (рис.1), становить небезпеку при надходженні до організму людини під час вдихання газових форм ( $\text{H}^3\text{H}$ ,  $\text{D}^3\text{H}$ ,  $^3\text{H}_2$ ), надходження через шкіру, потрапляння тритієвих вод ( $\text{H}^3\text{HO}$ ,  $\text{D}^3\text{HO}$ ,  $^3\text{H}_2\text{O}$ ) через органи травлення. У разі потрапляння тритію і тритієвої води в організм відбувається ізотопний обмін між радіонуклідом тритію і протієм (H), що входить до складу органічних структур [7].

Зокрема, тритій є безпечним при зовнішньому опроміненні людини, але його надходження до організму спричиняє різні ефекти на всіх рівнях біологічної організації. Ці ефекти (за поглинених доз близько 1 Гр) полягають у морфологічних змінах і порушеннях функцій ендокринних та кровотворних органів, судинної системи, печінки тощо.

Сумарна активність тритію у РАВ, що вже знаходяться на зберіганні, та подальше стрімке утворення на підприємствах і в організаціях, які використовують у своїй діяльності тритієві ДІВ у закритому та відкритому вигляді, а також в установах, результатом господарської діяльності яких є напрацювання відходів, що містять тритій, або виникнення тритію у побічних технологічних відходах, постійно зростає.

Довготермінове зберігання  $^3\text{H}$ , викликане довгоіснуючими радіонуклідами, в суміші яких він зберігається за вищезгаданих перспектив та існуючої практики поводження з РАВ, призведе до накопичення величезної кількості довгоіснуючих відходів, поводження з якими буде ускладнюватися специфікою тритію.

Фізико-хімічні властивості й характеристики  $^3\text{H}$  свідчать про необхідність відокремлення його від інших радіонуклідів та спеціального зберігання.

**Обґрунтування необхідності відокремлення  $^3\text{H}$  від інших радіонуклідів при зберіганні.** При надходженні в організм людини,  $^3\text{H}$  з ефективністю 0,71-0,85 включається в ДНК і заміщує 34-68 атомів Н в кожному ядрі клітини. Потрапивши в організм і впровадившись в структуру ДНК, тритій може спричиняти радіаційно індуквані генетичні ефекти, обумовлені як опроміненням хромосом під час  $\beta$ -розпаду  $^3\text{H}$ , так і ефектом перетворення  $^3\text{H}$  в  $^3\text{He}$ , за

якого розривається вуглецевий зв'язок у хромосомі внаслідок утворення гелію [8]. Мутагенна ефективність тритію зростає в міру збільшення енергії трансмутації й залежить також від об'єму клітини, кількості  $^3\text{H}$ , тривалості надходження  $^3\text{H}$  в організм, форми зв'язку трансмутації з генетичним матеріалом тощо [9-20].

Для РРВ, що є сумішшю декількох радіонуклідів у водному розчині, так і для ТРВ, нуклідний склад яких визначено радіонуклідом  $^3\text{H}$  й іншими радіонуклідами, необхідно обов'язково проводити попередню переробку відходів для відокремлення тритію.

Небезпека зберігання РРВ, що вміщують  $^3\text{H}$ , з іншими радіонуклідами полягає у протіканні процесу радіолізу води, що виникає під час радіоактивного розпаду хімічних елементів з утворенням  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$  частинок, що вилітають з атома з певною енергією і утворюють вільні радикали на шляху іонізації.

Цей процес описано такими виразами:



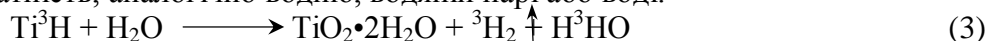
При цьому відбувається вихід тритію у формі газу (формула 1) в навколишнє середовище через негерметичність оболонок контейнерів (резервуарів для зберігання), а також виникає додаткова небезпека хімічного руйнування компонентів захисних оболонок контейнера, викликаних взаємодією з пероксидом водню ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Утворення пероксиду водню описано реакцією (2).

Довготривале руйнування захисних оболонок контейнера призведе до порушення його цілісності та виникнення радіаційної аварії з емісією РРВ в навколишнє середовище.

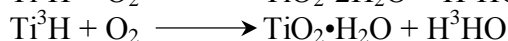
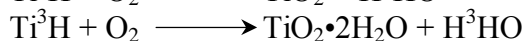
У ТРВ тритій знаходиться у вигляді гідратованих (ОН) оксидів та гідридів, твердих та кристалічних сполук.

Гідриди є нестійкими через властивість надзвичайної рухливості та реакційної здатності з основними компонентами навколишнього середовища: водою ( $\text{H}_2\text{O}$ ) та киснем ( $\text{O}_2$ ).

Також відомо, що ТРВ, які містять  $^3\text{H}$ , здатні до саморозкладання, в результаті якого вони виділяють газоподібний тритій або пари тритієвої води [21]. Тритій що виділяється, має високу міграційну здатність, аналогічно водню, водяній парі або воді.



Взаємодія гідриду титану з водою з утворенням газоподібного тритію та тритієвої води описана виразом (3).



Взаємодію гідриду титану з киснем наведено у виразах (4).

При цих фізико-хімічних перетвореннях відбувається утворення газоподібного тритію  $^3\text{H}$ , протію Н та тритієвої води  $\text{H}^3\text{NO}$  і відбувається вихід тритію в навколишнє середовище. В подальшому,  $\text{H}^3\text{NO}$  під дією температури перетворюється на газоподібний тритій і також переходить у навколишнє середовище.

Тритій, що виходить з РАВ у вигляді пару чи газу, може конденсуватись на частинках ґрунту та дифундувати в напрямку підземного водоносного горизонту.

Коефіцієнт дифузії  $\text{H}^3\text{NO}$  в ґрунті за різними оцінками дорівнює  $1,03 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$  та  $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$  [21].

**Висновки.** Відокремлене зберігання РАВ, що містять тритій, зменшує вплив шкідливих чинників на персонал підприємств (категорія А опромінюваних осіб), де працюють РАВ, та в процесі поводження з РАВ (зовнішнє опромінення від  $\gamma$ -випромінюючих радіонуклідів відсутнє). Значно зменшиться час, необхідний для зняття РАВ з регулюючого контролю при відокремленні довгоіснуючих радіонуклідів. Радіоліз від  $\beta$ -випромінювання тритію незначний, а отже, стінки контейнера не руйнуватимуться. Викиди тритію із спеціальних захисних контейнерів мінімізуються [22].

### Список літератури:

1. Тритій у біосфері / Долін В. В., Пушкарьов О. В., Шраменко І. Ф., Бобков В. М., Іщук О. О., Орлов О. О., Дікарев О. О., Ковалюх М. М., Скрипкін В. В., Главацька О. В., Приймаченко В. М., Долін В. В. (мол.), Стеценко Д. О., Тютюнник С. В., Коротких Д. І., Шевченко О. Л., Яковлев Є. О. — К. : Наук. думка, 2012. — 224 с.
2. Investigation of the Environmental Fate of Tritium in the Atmosphere: Report CC172-51/2009E-PDF Minister of Public Works and Government Services. —Ottawa, Ontario: Can. Nuclear Safety Commission, 2009. — 110 p.
3. Корректировка проекта минимизации влияния радиационной аварии на хранилищах радиоактивных отходов № 5, 6, 7 ПЗРО Киевского ГМСК на окружающую среду. Т 15: Оценка воздействия на окружающую среду/ А.А. Кретинин, А.Н. Животенко, Л.Г. Нечипоренко. —Желтые Воды: НТЦ КОРО, 2005. — 93 с.
4. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005). Державні санітарні правила. —Київ, 2005. — 130 с.
5. Санитарные правила по обращению с радиоактивными отходами (СПОРО-85).
6. Рекомендации по установлению приема радиоактивных отходов на захоронение в приповерхностных хранилищах. РД 306.4.098-2004.
7. Окись трития / Ю. М. Штуккенберг, Т. И. Горячева, А. Г. Истомина; под ред. Ю. И. Москалева. — М. : Атомиздат, 1986. — 396 с.
8. Tislajar-Lentulisen G., Hennenberg P., Feinendegen L.E.Enhancement ratio for single and double strand breaks induced by tritium incorporated in DNA of cultured human TL cells. Impact on the transmutation effect // Radiat. Res. — 1983. —N94. — P. 257-267.
9. Baverstock K.F., Papworth D., Vennart J. Risk of radiation at low dose rates // Lancet. — 1981. —N 1(8217). — P. 430-433/
10. Bender M.A. Significance of Chromosome Abnormalities // Radiat. Carcinogenesis Epidemiology and Biological Significance. — New York: Raven Press, 1984. — p. 281-289.
11. Brackenbush L.W., Brady L.A. Microdosimetric Basis for Exposure Limits // Health Physics. — 1988. — № 55. — P. 251-255.
12. Cahill D.F., Yuile C.L. Tritium Irradiation of Mammalian Fetus // Radiation Research. — 1970. — № 44. — P. 727.
13. Goodhead D.T., Nikjoo H. Current Status of Ultrasoft X-ray and Track Structure Analysis as Tools for Testing and Developing Biophysical Models of Radiation Action // Radiat. Prot. Dos. — 1990. — № 1/4. — P. 343-352.
14. Hori T.A., Nakai S. Unusual Dose-Response of Chromosome Aberrations Induced in Human Lymphocytes by Very Low Dose Exposures to Tritium // Mutation Research. — 1978. — V. 50. — P. 101-110.
15. Ito T., Kobayashi K. Mutagenesis in Yeast Cells by Storage in Tritiated Water // Radiation Research. — 1978. — V. 76. — P. 139-144.
16. Komatsu K., Okumura Y. Radiation Dose to Mouse Liver Cells from Ingestion of Tritiated Food or Water // Health Physics. — 1990. — V. 58. — P. 625-629.
17. Laskey J.W. et al. Some Effects of Lifetime Parental Exposure to Low Levels of Tritium on the F2 Generation // Radiation Research. — 1973. — V. 56. — P. 171-179.
18. Lytovchenko A.S., Pushkarev A.V., Samodurov V.P. et al. Assessment of the potential ability of phyllosilicates to accumulate and retain tritium in structural OH-groups // Минерал. журн. — 2005. — 26, № 2. — P. 59-65.
19. Torok P. et al. Effects of a Single Injection of Tritiated Water During Organogeny on the Prenatal and Postnatal Development of Mice // International Atomic Energy Agency symposium. Biological Implications of Radionuclides Released from Nuclear Industries. — Vienna, 1979. — V. 1. — P. 241.

20. Upton A. Prevention of Work-Related Injuries and Disease: Lessons from Experience with Ionizing Radiation // Amer. Jour. Indust. Med. — 1987. — P. 300-301.
21. Беловодский Л.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И. Тритий. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 247 с.
22. Полякова І.О. Оцінка захисних властивостей контейнера для зберігання відпрацьованих джерел іонізуючого випромінювання. — Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. — Випуск 22, 2013. — 8 с.

### References:

1. Dolin V.V., Pushkarov O.V., Shramenko I.F., Bobkov V.M., Ischuk O.O., Orlov O.O., Dikarev O.O., Kovalykh M.M., Skripkin V.V., Glavatska O.V., Prijmachenko V.M., Dolin V.V. (jr), Stetsenko D.O., Tjutjunnyk S.V., Korotkyh D.I., Shevchenko O.I., Yakovlev E.O. Tritium in the biosphere ["Tiritij u biosferi"] Kyiv, 2012. — 224 p.
2. Investigation of the Environmental Fate of Tritium in the Atmosphere: Report CC172-51/2009E-PDF Minister of Public Works and Government Services. —Ottawa, Ontario: Can. Nuclear Safety Commission, 2009 — 110 p.
3. Kretinin A.A., Zhivotenko A.N., Necheporenko L.G. Correction of the project minimize radiation accident impact on radioactive waste repositories number 5, 6, 7 station of disposal of radioactive waste Kiev Corporation "Radon" on the environment. Vol. 15: environmental impact assessment [Korectirovka proekta minimizacii vlijaniya radiacionnoj avarii na hranilishchah radioaktivnyh othodov nomer 5, 6, 7 punkta zahoroneniya radioaktivnih othodov kievskoj korporacii "Radon" na okruzhajushchuju sredu]/ Zhovti Vody, 2005. — 93 p.
4. Basic Sanitary Rules for Radiation Safety of Ukraine (OSPU 2005). State sanitary rules. [Osnovni sanitarni pravila zabezpecheniya radiacijnoj bezpeki Ukrainu] -Kiev, 2005. — 130 p.
5. Sanitary Rules for Radioactive Waste (SPORO-85) [Sanitarni pravyla povodjenja z radioaktivnyimi vidhodami]. — Kiev, 1985. — 63 p.
6. Recommendations on the establishment receiving the radioactive waste for disposal in near-surface repositories. RD 306.4.098-2004 [Recomendacii po ustanovleniju prijoma radioaktivnyh othodov na zahoronenie v pripoverhnostnyh hranilishchah RD 306.4.098-2004].
7. Tritium oxide/ Shtukkenberg Yu.M., Gorjacheva T.I., Istomina A.G. Edited by Moskaljov Yu.I. [Okis tritija]. —Moskov, 1986. — 396 p.
8. Tislajar-Lentulisen G., Hennenberg P., Feinendegen L.E. Enhancement ratio for single and double strand breaks induced by tritium incorporated in DNA of cultured human TL cells. Impact on the transmutation effect // Radiat. Res. — 1983. —N94. — p. 257-267.
9. Baverstock K.F., Papworth D., Vennart J. Risk of radiation at low dose rates // Lancet. — 1981. —N 1(8217). — p. 430-433.
10. Bender M.A. Significance of Chromosome Abnormalities // Radiat. Carcinogenesis Epidemiology and Biological Significance. — New York: Raven Press, 1984. — p. 281-289.
11. Brackenbush L.W., Brady L.A. Microdosimetric Basis for Exposure Limits // Health Physics. — 1988. — № 55. — P. 251—255.
12. Cahill D.F., Yuile C.L. Tritium Irradiation of Mammalian Fetus // Radiation Research. — 1970. — № 44. — P. 727.
13. Goodhead D.T., Nikjoo H. Current Status of Ultrasoft X-ray and Track Structure Analysis as Tools for Testing and Developing Biophysical Models of Radiation Action // Radiat. Prot. Dos. — 1990. — № 1/4. — P. 343—352.
14. Hori T.A., Nakai S. Unusual Dose-Response of Chromosome Aberrations Induced in Human Lymphocytes by Very Low Dose Exposures to Tritium // Mutation Research. — 1978. — V. 50. — P. 101—110.
15. Ito T., Kobayashi K. Mutagenesis in Yeast Cells by Storage in Tritiated Water // Radiation Research. — 1978. — V. 76. — P. 139—144.

16. *Komatsu K., Okumura Y.* Radiation Dose to Mouse Liver Cells from Ingestion of Tritiated Food or Water // *Health Physics*. — 1990. — V. 58. — P. 625—629.
17. *Laskey J.W.* Some Effects of Lifetime Parental Exposure to Low Levels of Tritium on the F2 Generation // *Radiation Research*. — 1973. — V. 56. — P. 171—179.
18. *Lytovchenko A.S., Pushkarev A.V., Samodurov V.P.* Assessment of the potential ability of phyllosilicates to accumulate and retain tritium in structural OH-groups // *Минерал. журн.* — 2005. — 26, № 2. — P. 59—65.
19. *Torok P.* Effects of a Single Injection of Tritiated Water During Organogeny on the Prenatal and Postnatal Development of Mice // *International Atomic Energy Agency symposium. Biological Implications of Radionuclides Released from Nuclear Industries*. — Vienna, 1979. — V. 1. — P. 241.
20. *Upton A.* Prevention of Work-Related Injuries and Disease: Lessons from Experience with Ionizing Radiation // *Amer. Jour. Indust. Med.* — 1987. — P. 300—301.
21. *Belovodskiy L.F., Gaevoy V.K., Grishmanovsky V.I.* Tritium [Tritij]— Moscow, 1985. — 247 p.
22. *Poliakova I.O.* Evaluation of the protective properties of the container for the storage of spent radiation sources [Otsinka zahysnyh vlastivostey kontejnera dlja zberiganja vidpratcovanyh dzerel ionizujuchoho vyprominjuvanja] – *Scientific Papers of the Institute of Environmental Geochemistry*. Edition 22, 2013 – P. 179-187

