

Glodić Snežana¹, Boreli Fedor²

¹ Institut za nuklearne nauke "Vinča"

Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine "Zaštita"

PF 522 11001 Beograd

² Elektrotehnički fakultet Beograd

Bulevar Revolucije 73

IZVORI TRICIJUMA¹

SADRŽAJ: *Tricijum je jedini radioaktivni izotop vodonika, značajan sa stanovišta kontrole nivoa kontaminacije (radne i životne) sredine, jer direktno prati metabolizam vode i delimično se vezuje i u genetski materijal. Da bi uopšte moglo da se definiše stanje kontaminacije, neophodno je poznavati izv. "nulto stanje", tj. trenutni globalni inventar. Sa razvojem fuzionih energetskih postrojenja, značaj adekvatnog praćenja i poznavanja nivoa tricijuma raste. U radu su analizirani različiti izvori tricijuma i sumiran njihov doprinos.*

Abstract: *Tritium is the only radioactive isotope of hydrogen. It follows metabolism of water and partly it can be bound into genetic material, so if it is very important to control levels of contamination. In order to define the state of contamination it is necessary to establish "zero level" i.e. actual global inventory. The importance of tritium contamination monitoring increases with the development of fusion energetic installations. Different sources of tritium are analyzed and summarized in this paper.*

1. UVOD

Tricijum u prirodi kontinuirano nastaje interakcijom kosmičkog zračenja i atoma u atmosferi Zemlje. Tokom 1952. i 1953. pre velikih kontaminacija, tipične vrednosti koncentracija tricijuma u atmosferi i kišnici kretale su se između 0.12 i 1.2 Bq l⁻¹ (UNSCEAR, 1962; Perkins and Nielsen, 1965). Posle 1961, one se povećavaju nekoliko stotina puta (Perkins and Nielsen, 1965), usled značajnog doprinosa atmosferskih nuklearnih proba, a potom i emisije iz postrojenja nuklearnog gorivog ciklusa (reaktori i postrojenja za preradu ozračenog nuklearnog goriva), tako da su u maksimumu merene i vrednosti od 1000 Bq l⁻¹ (UNSCEAR, 1962). Potencijalno snažni izvor su i buduća fuzionna, istraživačka i energetska postrojenja.

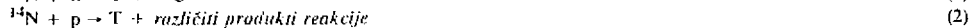
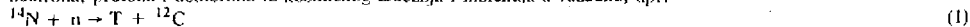
S prestankom snažnih nuklearnih eksplozija, koncentracija tricijuma opada (Slika 1.) ali je još uvek daleko od svog ravnotežnog prirodnog nivoa. Danas se procenjuje da ispuštanja iz nuklearnih postrojenja prevazilaze ukupan doprinos nuklearnih proba i prirodnih procesa nastanka tricijuma, zajedno (NCRP, 1979).

Aktuelne nivoje koncentracija pojedinih radionuklida u životnoj sredini, pa tako i tricijuma, kao i procenu stepena izlaganja jonizujućem zračenju i odgovarajućeg rizika, prati i procenjuje Komitet Organizacija ujedinjenih nacija (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) i periodično publikuje (UNSCEAR, 1962, 1964, 1982, 1988a, 1988b). Za merenja koncentracije tricijuma u padavinama postoji organizovana mreža mernih laboratorija u svetu (pa i kod nas) u organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju koja izdaje godišnje podatke o tome (IAEA, 1969; 1970; 1971; 1973; 1975; 1979; 1983; Boreli et al, 1979).

Pored ovih globalnih izvora tricijuma koji kontaminiraju životnu sredinu, pa time i ljudski organizam, postoje i određene delatnosti i situacije, potencijalno rizične za kontaminaciju pojedinaca, ali bez većeg značaja za globalne nivoje.

2. PROCESI NASTAJANJA

U prirodi, tricijum se obrazuje u gornjim slojevima atmosfere, kao rezultat nuklearnih reakcija brzih neutrona, protona i deuterona iz kosmičkog zračenja i molekula u vazduhu, npr.



Brzina proizvodnje radionuklida u ovim nuklearnim reakcijama se znatno menja sa visinom i geografskom širinom, ali je relativno konstantna u vremenu, a globalni inventar se procenjuje u opsegu 0.9 do 1.8 kg odnosno 10¹⁷ do 10¹⁸ Bq (Glodić, 1993).

Sam toga, tricijum nastaje u različitim nuklearnim postrojenjima, uglavnom na sledećih nekoliko načina: termomom fisijom, nuklearnim reakcijama neutrona na boru i litijumu i aktivacijom deuterijuma.

¹ Ovaj rad je pomogut sredstvima republičkog fonda za nauku Srbije

Pored tricijuma koji nastaje u atmosferi, procenjeno je da u atmosferu stiže direktno dodatnih 0.4 atoma T/cm^2 kosmičkog zračenja, nastalih u erupcijama na Suncu, a što je više nego dvostruka brzina stvaranja u atmosferi (Flamm et al, 1962; NCRP, 1979).

Jedini drugi značajni izvor tricijuma je proizvođača galaktičkim kosmičkim zračenjem, čija je brzina procenjena na 0.1 - 1 atoma T/cm^2 , (Flamm et al, 1962). Ravnotežna količina tricijuma u atmosferi dobijenog iz ovih izvora procenjuje se na 3.5 kg, (Michel, 1976).

Albinezus je 1959. (Albenesius, 1959) prvi pokazao da se male količine tricijuma proizvode pri termalnoj fisiji ^{235}U . Na svakih 10^4 fisija formira se približno 1 - 2 atoma tricijuma.

3. VEŠTAČKA EMISIJA

Da nije stvaranja tricijuma u nizu ljudskih delatnosti, koncentracija tricijuma u prirodi bila bi određena brzinom njegovog stvaranja u gornjim slojevima atmosfere. Međutim, različite ljudske delatnosti koriste ili proizvode tricijum u ogromnim količinama, čijim je ispuštanjem u životnu sredinu nivo tricijuma znatno podignut iznad prirodnog.

Glavni izvori tricijuma u životnoj sredini, proizvod ljudskih aktivnosti, su : energetska nuklearna reaktora, reaktori koji proizvode nuklearne materijale za vojne namene, atmosferske probe nuklearnog oružja, postrojenja za proizvodnju teške vode, nuklearni reaktori konstruisani namenski za proizvodnju tricijuma, postrojenja za separaciju tricijuma, različite operacije rukovanja tricijumom. U budućnosti, dominirajući izvor tricijuma će verovatno postati energetska reaktora na bazi termonuklearne fuzije (Crowson, 1973).

Najznačajniji doprinos globalnoj kontaminaciji tricijumom i njegovom svetskom inventaru dale su probe nuklearnog oružja, i to pre svega atmosferske probe termonuklearnog oružja. Da bi se procenio pojedinačan doprinos pogodno je odvojeno posmatrati nadzemne i podzemne probe, i posebno klasično fisiono i termonuklearno oružje.

Većina nuklearnih eksplozija u atmosferi desila se pre 1963. Njihov ukupan doprinos procenjen je u izveštaju OUN 1964. (UNSCEAR, 1964), da bi 1982. (UNSCEAR, 1982) s novim informacijama bio nešto revidiran, a kako su atmosferski testovi 1980. potpuno prestali, ova procena iz 1982. mogla bi se smatrati konačnom. Procene ukupnog doprinosa globalnom inventaru kreću se oko 180 kg odnosno $2 \cdot 10^{20}$ Bq (Glodić, 1993).

Sva postrojenja gorivog ciklusa se mogu javiti kao izvori tricijuma u životnoj sredini, čak i kad nije nastao u njima. Tricijum proizveden u reaktorima može u daljnjim postupcima sa ozračenim gorivom, u postrojenjima za preradu ili odlagalištima radioaktivnog otpada dospeti u okolinu. Mogućnost curenja zavisiće pre svega od kompaktnosti gorivnih elementa tj. njihove sposobnosti da zadrže tricijum.

Prema nekim procenama, uvažavajući trenutni trend razvoja (Slika 1.), smatra se da će brzina stvaranja tricijuma u postrojenjima nuklearnog gorivog ciklusa oko 2000. godine prevazići brzinu stvaranja prirodnim procesima (IAEA, 1980).

Kako je tricijum u efluentima nuklearnih postrojenja i pratećih objekata najzastupljeniji radionuklid u tečnom otpadu, a u gasovitim efluentima, od dugoživećih radionuklida, prisutniji je samo ^{85}Kr , to je njegovo praćenje od posebnog interesa (Krieger et al, 1973). Iako se podaci o ispuštanjima tricijuma periodično publikuju i objedinjuju u regionalnim i globalnim razmerama, još uvek postoji dovoljan broj znatnih neodređenosti u vezi njegove proizvodnje i sadržaja u pojedinim postrojenjima.

Tricijum u reaktorima nastaje iz termalne fisije u nuklearnom gorivu i iz nuklearnih reakcija sa litijumom i borom rastvorenim u, ili u kontaktu sa, primarnim hladiocem. Termalna fisija je proces zajednički za sve tipove reaktora.

Pored procesa nastanka tricijuma u gorivnim elementima, tricijum nastaje i u ostalim konstruktivnim elementima reaktora, neutronske nuklearne reakcijama na jezgama atoma konstitutivnih elementa. Brzina nastanka tricijuma zavisi od konstruktivnih detalja reaktora.

U Tabeli 1. dat je pregled nuklearnih reakcija koje proizvode tricijum u konstruktivnim elementima pojedinih vrsta reaktora.

Brzi reaktori bi trebalo, u principu, da imaju veću specifičnu brzinu stvaranja tricijuma fisijom, usled njegovog većeg prinosa iz fisije plutonijuma. Brzina nastanka po jedinici snage bi trebala da bude oko dva puta veća nego u vodenim reaktorima (Kouts and Long, 1973). Procene prinosa tricijuma u gorivu zasnivaju se na ekstrapolaciji izmerenih termalnih fisionih prinosa. Ove procene se kreću u opsegu: $4.1 - 9.6 \cdot 10^{11}$ Bq/MWe · god. Preliminarni rezultati merenja brzog fisionog prinosa, međutim, impliciraju da su ove procene niže od realnog stanja za faktor 10.

U postrojenjima za preradu (reprocessing) ozračenog goriva iz nuklearnog reaktora, skoro sav tricijum nastao fisijom u gorivom elementu ima mogućnost da bude oslobođen u životnu sredinu. Na taj način, stepen rizika ovih postrojenja direktno zavisi od stanja i istorije gorivnih elemenata.

Prema nekim procenama Američke komisije za atomske energiju, značajniji udeo kontrolisane termonuklearne fuzije u proizvodnji električne energije se ne može očekivati pre 2000 - 2020. godine (NCRP, 1979). Međutim, ukoliko i kada uđu u upotrebu, sadržaj tricijuma i problemi tretmana biće značajni. Same procene sadržaja tricijuma u postrojenjima kao i potencijalnog rizika, menjale su se sa razvojem tehnologije i sistema za zadržavanje tricijuma.

Tabela 1.
Neutronske reakcije koje doprinose nastanku tricijuma (NCRP, 1979, Luykx and Fraser, 1986)

Red. br.	Reakcija	$\sigma_{\text{eff}} [10^{-28} \text{m}^2]$	Reaktor
1.	$^2\text{H}(n,\gamma)\text{T}$	0.000316	HWR, CANDU, (BWR)
2.	$^3\text{He}(n,p)\text{T}$	3370.	HTGR
3.	$^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$	693.	FWR, HTGR, LMFBR, MSBR
4.	$^7\text{Li}(n,n\alpha)\text{T}$	0.0516	PWR, MSBR (HTGR, LMFBR)
5.	$^9\text{Be}(n,\alpha)^6\text{Li}$	0.25	MSBR
6.	$^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$	3060	Kontrolne šipke, svih
7.	$^{10}\text{B}(n,2\alpha)\text{T}$	1.27	-
8.	$^{12}\text{C}(n,\alpha)^9\text{Be}$	0.0009	HTGR
9.	$^{14}\text{N}(n,t)^{12}\text{C}$	0.44	LMFBR, atmosfera ²

U Tabeli 2. prikazane su srednje vrednosti intenziteta ispuštanja tricijuma iz nekoliko komercijalnih tipova reaktora.

Tabela 2.
Pregled prosečnih intenziteta ispuštanja tricijuma iz pojedinih vrsta reaktora (IAEA, 1980)

Tip reaktora	Intenzitet ispuštanja [10^{10} Bq/MWe · god]
PWR	1.11
GCR	1.11
BWR	0.185
HWR	55.5

Fuzioni reaktor optimalne veličine proizvodio bi 3 GWe i trošio oko 1 kg tricijuma dnevno. To bi značilo da je potrebno generisati bar 1 kg ($3.7 \cdot 10^{18}$ Bq) tricijuma dnevno. Ova dnevna proizvodnja iz jednog termonuklearnog reaktora bi bila jednaka četvorostrukoj godišnjoj proizvodnji tricijuma u svim civilnim fisionim elektranama u radu osamdesetih godina. Drugim rečima, brzina stvaranja tricijuma koja prati rad fuzionih reaktora će biti oko 50 000 puta veća od one kod fisionih reaktora odgovarajuće električne snage. Zato je kontejnment tricijuma glavni problem zaštite s kojim se suočava fuzija (Crowson, 1973), pa su se vremenom istraživanja uglavnom i razvijala u pravcu razvoja sistema za zadržavanje tricijuma.

Procenjuje se da za 1 GWe, ispuštanja u normalnom režimu mogu biti oko 777 TBq/god, od čega je 444 TBq/god HTO a 333 TBq/god u vidu HT (Edlund, 1986).

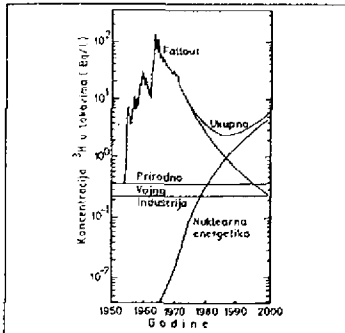
Različiti proizvodi široke potrošnje koji sadrže tricijum (tricijumski gasni izvori svetlosti, scintilacione tricijumske smeše za satove) takođe predstavljaju potencijalni izvor kontaminacije. U Nemačkoj se na primer, kroz različite proizvode, godišnje doda u okolinu tricijum čija je aktivnost približno jednaka aktivnosti ispuštenoj iz svih nuklearnih instalacija (Budnitz, et al, 1983).

Od nedavno se u SAD tricijum koristi u satovima sa tečnim kristalima, pa je na primer, 1977. ovim proizvodima distribuirano $3.7 \cdot 10^{16}$ Bq aktivnosti tricijuma. Ovo je značajan iznos u poređenju sa doprinosom od nuklearnih instalacija ili biznom prirodne proizvodnje, a istovremeno je i najveća pojedinačna komercijalna primena tricijuma do danas (Budnitz et al. 1983).

² Termin atmosfera odnosi se na inertnu azotnu atmosferu iznad natrijumskog hladioca brzog reaktora koja sprečava reaktivnost natrijuma.

4. UPOREDNI PREGLED IZVORA TRICIJUMA

Brzine nastanka tricijuma su sumirane u Tabeli 2, a na Slici 1. prikazan je trend i odnos različitih izvora tricijuma.



Slika 1.

Trend i odnos intenziteta različitih izvora tricijuma (NCRP, 1979)

Tabela 3.
Brzine nastanka i ispuštanja tricijuma u životnu sredinu (Phillips and Easterly, 1981)

IZVOR	Nastanak		
	Opseg	Preporučena vrednost	Brzina
Prirodni mehanizmi	0.2 - 0.5 T atoma/cm ² s	0.25 T atoma/cm ² s	7.2 · 10 ⁴ TBq/god
LWRs	0.44 - 1.33 TBq/MWe · god	1.0 TBq/MWe · god	1.0 · 10 ³ TBq/GWe · god
HWRs	≈ 89.5 TBq/MWe · god	89 TBq/MWe · god	8.9 · 10 ⁴ TBq/GWe · god
HTGRs	0.48 - 0.89 TBq/MWe · god	0.74 TBq/MWe · god	7.4 · 10 ² TBq/GWe · god
LMFBRs	0.93 - 1.5 TBq/MWe · god	1.3 TBq/MWe · god	1.3 · 10 ³ TBq/GWe · god
Nuklearne eksplozije			
Postrojenje za reprocessing	ne proizvode tricijum		
Izvor	Ispuštanje		
	Opseg	Preporučena vrednost	Brzina
Prirodni mehanizmi			7.2 · 10 ⁴ TBq/god
LWRs	0.0019 - 0.038 TBq/MWe · god	0.024 TBq/MWe · god	24 TBq/GWe · god
HWRs	0.89 TBq/MWe · god	0.89 TBq/MWe · god	890 TBq/GWe · god
HTGRs	0.0078 - 0.031 TBq/MWe · god	0.022 TBq/MWe · god	22 TBq/GWe · god
LMFBRs	0.010-0.026TBq/MWe · god	0.020 TBq/MWe · god	20 TBq/GWe · god
Nuklearne eksplozije	6.3 · 10 ⁷ - 3.0 · 10 ⁸ TBq	1.7 · 10 ⁸ TBq	1.7 · 10 ⁸ TBq
Postrojenja za reprocessing ³	0.089-0.93 TBq/MWe · god	0.89 TBq/MWe · god	890 TBq/GWe · god

³ Postrojenja za reprocessing ne proizvode tricijum, ali ga mogu ispuštati. Vrednosti su date po osnovi MWe proizvedene električne energije, pretpostavljajući sadržaj tricijuma od 0.029 TBq/kg urana u ozračenom gorivu, izgaranje 33 MWe/kg urana i eksploataciju 365 d/god

Vidi se da nakon prestanka atmosferskih proba doprinos folauta kontinuirano opada, dok se doprinos nuklearnih energetske postrojenja povećava i već danas je značajniji od svih ostalih izvora. Kako ne postoji ekonomski opravdan način za prečišćavanje vode od tritirane vode, jednom kontaminirana voda ostaje kontaminirana do raspada tricijuma (Phillips and Easterly, 1981).

Merene aktuelne koncentracije u okeanu (IAEA, 1980) su 110 Bq/l i 220 - 880 Bq/l u svežoj vodi, jer ona uvek ima nešto veću koncentraciju tricijuma.

Na osnovu merenih količina tricijuma u okeanu, 1970, procenjen je ukupan svetski inventar T (Tabela 4.) poreklom iz svih izvora (Michel, 1976).

Tabela 4.
Svetski inventar tricijuma 1970. (Michel, 1976)

Rezervoar	Sadržaj
Tihí okean	107 kg
Atlanski okean	120 kg
Indijski okean	20 kg
Arktički okean	6 kg
Svetski okean UKUPNO	250 ± 50 kg
Kopnena voda	45 ± 25 kg
Vazduh (HTO i HT)	3 kg (0 - 14 kg)
UKUPNO	300 ± 80 kg

5. ZAKLJUČAK

Tricijum je niskoenergetski beta emiter sa veoma kratkim biološkim vremenom polueliminacije, te je tako dugo, a donekle i danas, bio smatran radionuklidom niske radiotoksičnosti. Međutim zbog činjenice da se vezuje u organska jedinjenja organizma i da pri hroničnim izlaganjima doprinos efektima je veoma značajan, u poslednje vreme istraživanjima tricijuma posvećuje se posebna pažnja. Posebno zbog indikacija da efekti interne kontaminacije znatno prevazilaze očekivane (na bazi usvojenih modela) pa čak i da se zabeležena dva letalna ishoda. Zbog opšte globalne rasprostranjenosti i praktično trenutne uniformne kontaminacije, po ispuštanju, neophodno je pratiti nivoe tricijuma u sredini i držati ih ispod graninih.

6. LITERATURA

- (1) Albenius, E. L. (1959) TRITIUM AS A PRODUCT OF FISSION, Physical Review Letters, Vol. 3, No. 6, pp. 274-275.
- (2) Boreli, F, Hadžišehović, M, Boreli, M, Anovski, T, Žuželov, V, Stojaković, R. (1979) INFLUENCE OF WATER POLLUTION OF THE SAVA RIVER ON THE RANNEY WELLS NEAR BELGRADE, in ISOTOPE HYDROLOGY 1978, Vol. 1, pp. 99-110, IAEA-SM-228/5, International Atomic Energy Agency, Vienna
- (3) Budnitz, R. J, Nero, A. V, Murphy, D. J, and Graven, R, (1983) INSTRUMENTATION FOR ENVIRONMENTAL MONITORING, Vol. 1, Radiation, 2nd Ed, John Wiley & Sons, USA
- (4) Crowson, D. L. (1973) MAN-MADE TRITIUM in TRITIUM, ed. by Moghissi, A. A. and Carter, M. W, Messenger Graphics, USA, pp. 23-27.
- (5) Edlund, O. (1986) NORMAL RELEASES FROM FUSION PROCESSES AND ENVIRONMENTAL RADIATION DOSES, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 16, Nos. 1 - 2, pp. 27-30.
- (6) Flann, E, Lingenfelter, R. E, MacDonald, G. J. F, Libby, W. F. (1962) TRITIUM AND HELIUM-3 IN SOLAR FLARES AND LOSS OF HELIUM FROM EARTH'S ATMOSPHERE, Science, Vol. 138, pp. 48-50.
- (7) Glodić, S. (1993) OPERATIVNA METODA ZA PROCENU RADIJACIONOG RIZIKA I EKVALENTNE DOZE USLED INTERNE KONTAMINACIJE TRICIJUMOM, Magistarski rad, ETF Beograd
- (8) IAEA (1962) International Atomic Energy Agency, TRITIUM IN THE PHYSICAL AND BIOLOGICAL

- SCIENCES, Proceedings of the Symposium, Vienna 1961, STI/PUB/39
- (9) IAEA (1967) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 73, **TRITIUM AND OTHER ENVIRONMENTAL ISOTOPES IN THE HYDROLOGICAL CYCLE**, STI/DOC/10/73
- (10) IAEA (1969) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 96, **ENVIRONMENTAL ISOTOPE DATA No 1: WORLD SURVEY OF ISOTOPE CONCENTRATION IN PRECIPITATION (1953 - 1963)** STI/DOC/10/96
- (11) IAEA (1970) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 117, **ENVIRONMENTAL ISOTOPE DATA No 2: WORLD SURVEY OF ISOTOPE CONCENTRATION IN PRECIPITATION (1964 - 1965)** STI/DOC/10/117
- (12) IAEA (1971) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 129, **ENVIRONMENTAL ISOTOPE DATA No 3: WORLD SURVEY OF ISOTOPE CONCENTRATION IN PRECIPITATION (1966 - 1967)** STI/DOC/10/129
- (13) IAEA (1973) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 147, **ENVIRONMENTAL ISOTOPE DATA No 4: WORLD SURVEY OF ISOTOPE CONCENTRATION IN PRECIPITATION (1968 - 1969)** STI/DOC/10/149
- (14) IAEA (1975) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 165, **ENVIRONMENTAL ISOTOPE DATA No 5: WORLD SURVEY OF ISOTOPE CONCENTRATION IN PRECIPITATION (1970 - 1971)** STI/DOC/10/165
- (15) IAEA (1979) International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series No. 192, **ENVIRONMENTAL ISOTOPE DATA No 6: WORLD SURVEY OF ISOTOPE CONCENTRATION IN PRECIPITATION (1972 - 1975)** STI/DOC/10/192
- (16) IAEA (1980) International Atomic Energy Agency, **INTOR TOKAMAK REACTOR: ZERO PHASE**, Panel Proceedings Series - STI/PUB/556, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- (17) Kouts, H. and Long, J. (1973) **TRITIUM PRODUCTION IN NUCLEAR REACTORS** in TRITIUM ed. by Moghissi, A. A. and Carter, M. W, Messenger Graphics, USA, pp. 38-44.
- (18) Krieger, H. L, Gold, S. and Kahn, B. (1973) **TRITIUM RELEASES FROM NUCLEAR POWER STATIONS** in TRITIUM ed. by Moghissi, A. A. and Carter, M. W, Messenger Graphics, USA, pp. 557-563.
- (19) Luykx, F. and Fraser, G. (1986) **TRITIUM RELEASES FROM NUCLEAR POWER PLANTS AND NUCLEAR FUEL REPROCESSING PLANTS** Radiation Protection Dosimetry, Vol. 16 , 31-36.
- (20) Michel, R. L. (1976) **TRITIUM INVENTORIES OF THE WORLD OCEANS AND THEIR IMPLICATIONS**, Nature, Vol 263 , 103- 106
- (21) NCRP (1979) NCRP Report No. 62, **TRITIUM IN THE ENVIRONMENT**, Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements, USA
- (22) Perkins, R. W. and Nielsen, J. M. (1965) **COSMIC - RAY PRODUCED RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENT** Health Physics, Vol 11 , 1297 - 1304
- (23) Phillips, J. E. and Easterly, C. E. (1981) **SOURCES OF TRITIUM** Nuclear Safety, Vol 22 , 612-625.
- UNSCEAR (1962) Report of the UNSCEAR, General Assembly, Official Records: 17th Session, Supplement No. 16 (A/5216) UN, New York, 1962.
- (24) UNSCEAR (1964) Report of the UNSCEAR, General Assembly, Official Records: 19th Session, Supplement No. 14 (A/5814) UN, New York, 1964.
- (25) UNSCEAR (1982) **IONIZING RADIATION: SOURCES AND BIOLOGICAL EFFECTS**, UNSCEAR 1982 Report to the General Assembly with annexes, UN, New York 1982.
- (26) UNSCEAR (1988a) Report of the UNSCEAR, General Assembly, Official Records: 43rd Session, Supplement No. 45 (A/43/45) UN, New York, 1988. UNSCEAR (1988b) **SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION**, UNSCEAR Report to the General Assembly, with Annexes, UN, New York, 1988.
- (27) UNSCEAR (1988b) **SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION**, UNSCEAR Report to the General Assembly, with Annexes, UN, New York, 1988.