

## ДВАДЦЯТЬ РОКІВ ПІСЛЯ ЧОРНОБИЛЯ – ФІЗИКО-БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

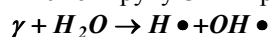
*В статті розглянуто деякі особливості впливу іонізуючого випромінювання на живу тканину і організм людини через двадцять років після Чорнобильської катастрофи. Зроблено певні висновки та прогнози стосовно дії залишкової радіації.*

Після Чорнобильської катастрофи ще довго залишатиметься актуальною обізнаність широкого загалу із природою та різноманітними проявами такого явища як радіація, її впливом на неживу і живу природу, зокрема і на людину, з наслідками опромінення і т. ін. Відсутність такої інформації призводить або до недооцінки негативного впливу іонізуючого випромінювання на людину та довкілля, що можна було спостерігати в дочорнобильські часи, або ж до радіофобії – панічного страху перед цим грізним явищем. Саме останнє мало місце у перші роки після аварії на ЧАЕС, коли стало зрозумілим, що радіація не знає кордонів і може загрожувати кожному.

Під час роботи у ядерному реакторі накопичуються надзвичайно радіоактивні матеріали – уламки реакції поділу ядер **Урану-235**, реакції, яка використовується для одержання енергії. Ці матеріали у великих кількостях були викинуті в атмосферу під час вибуху четвертого реактора, розсіяні на величезних територіях і відтоді стали потужним джерелом іонізуючого випромінювання. Серед розсіяних уламків можна знайти різноманітні ізотопи хімічних елементів, що відносяться переважно до середини таблиці Менделєєва. Їх – понад чотири сотні видів. Із них близько 23 % – стабільні або довго живучі ізотопи (із періодом піврозпаду, більшим  $10^4$  років). Решта – нестабільні, це так звані *радіоізотопи*. Більшість із них (близько 75 % загальної кількості усіх уламків) мають малий період піврозпаду (від 0,1 секунди до 1 року), тому за 20 років кількість цих радіонуклідів зменшилась порівняно з початковими показниками у мільйони разів. Нарешті, вісім радіоізотопів мають періоди піврозпаду від 2 до 90 років: **Ga**<sub>31</sub><sup>73</sup> (4,9 років), **Kr**<sub>36</sub><sup>85</sup> (10,2 років), **Sr**<sub>38</sub><sup>90</sup> (28,6 років), **Sb**<sub>51</sub><sup>125</sup> (2,7 років), **Cs**<sub>55</sub><sup>134</sup> (2,1 років), **Cs**<sub>55</sub><sup>137</sup> (30 років), **Pm**<sub>61</sub><sup>147</sup> (2,6 років), **Sm**<sub>62</sub><sup>151</sup> (90 років). Двоє з них, а саме: **Стронцій-90** і **Цезій-137** – відіграють вирішальну роль у створенні поля іонізуючого випромінювання там, де вони розсіяні. По-перше, вони мають періоди піврозпаду сумірні з часом зміни одного покоління людей, а тому залишатимуться фактором загрози ще принаймні для двох-трьох поколінь. Нині, через двадцять років, згідно із законом радіоактивного розпаду, цих радіонуклідів залишилося ще досить багато: відповідно, 52 % і 63 % (не враховуючи процеси вивітрювання та вимивання). По-друге, ці радіонукліди відносяться до таких, які найчастіше з'являються при поділах ядер **Урану-235** і на які припадає лівова частка маси уламків-радіонуклідів [1:269].

Зупинимося на деяких фізико-біологічних аспектах радіації. Прояви дії іонізуючого випромінювання на живу біологічну тканину, а отже, і на весь організм, складні і різноманітні. Це пов'язано з тим, що відносно прості фізичні перетворення у структурних одиницях біологічної тканини – клітинах (наприклад, іонізація макромолекул нуклеїнових кислот, білків цих клітин та ін.) спричиняють хімічні процеси, які порушують їх біологічні функції. А це, у свою чергу, призводить до неконтрольованих змін у живій тканині того чи іншого окремо взятого опроміненого органа, а отже, і даного організму в цілому.

Розглянемо два найтипівіші способи дії різних видів іонізуючого випромінювання на живу тканину. Перший – це прямий вплив іонізації на живу тканину, коли енергія іонізуючого випромінювання поглинається безпосередньо в самих макромолекулах. Другий спосіб радіаційного впливу – непрямий, тобто він здійснюється через "посередників", коли енергія випромінювання поглинається низькомолекулярними сполуками або водою, що містяться в живій тканині. Це один із найпоширеніших механізмів фізіологічної дії радіації. При цьому утворюються так звані вільні радикали. Так називають сполуки – продукти радіолізу із ненасиченими валентностями, тобто такі, що мають неспарені електрони. На відміну від іонів вони нейтральні, а тому можуть існувати протягом певного часу. Наприклад, молекула води **H<sub>2</sub>O** розпадається при радіолізі (дії на неї *γ-квантів*) на радикал **H•** із позитивною валентністю і групу **OH•** – радикал із негативною валентністю:



У присутності молекул кисню **O<sub>2</sub>** вірогідне утворення також пероксиду – радикала **HO<sub>2</sub>•** з негативною валентністю -3. Вільні радикали хімічно дуже активні по відношенню до оточуючої біологічної тканини: позитивно валентні є сильними відновлювачами, а негативно валентні – сильними окислювачами. Вони якраз і грають роль посередників, що спричиняють пошкодження макромолекул.

Є дані, що при прямому поглинанні живою тканиною енергії в кількості всього 0,01 Дж/кг у клітинних структурах (ядрах, цитоплазмі, мембранах і ін.) можуть відбуватися сотні тисяч елементарних актів іонізації, що викликають численні функціональні порушення життєдіяльності клітин. Однак не всі порушення призводять до загибелі клітин, більшість порушень мають тимчасовий характер, і функції клітин через деякий час відновлюються [2].

А от під дією вільних радикалів змінюються молекули клітин, у яких ці радикали утворились. Особливо небезпечним є ураження і зміна структури макромолекул, що входять до складу клітинних ядер і відіграють важливу роль у функціонуванні клітин. Такими є, наприклад, молекули дезирибонуклеїнової кислоти (**ДНК**), які відповідають, зокрема, за передачу спадкових ознак живого організму. Пошкодження навіть незначної

частини цих молекул може призвести до тяжких порушень біологічних функцій клітин. При цьому найпоширенішими ураженнями клітин є такі: параліч клітин, тобто часткове або повне відмирання клітини; переродження клітин, що може стати причиною виникнення недоброякісних новоутворень; мутація генів та пошкодження хромосом і ферментів; розладнання функцій клітини без зміни її структури.

У цілісному живому організмі різні його органи (тканини) мають неоднакову чутливість до дії іонізуючого випромінювання. Найчутливішими є ті тканини, ураження яких найсильніше впливає на функціонування організму. Такими є насамперед тканини, в клітинах яких відбуваються процеси поділу та регенерації клітин. Це тканини кісткового мозку, лімфатична тканина, статеві залози, слизова оболонка кишок і т. ін. Тканини м'язів, нервів, серця, печінки, нирок і деяких інших залоз менш чутливі до дії радіації.

Відповідно до цього в радіаційній біології виділяють два різних види відмирання клітин – **репродуктивне** та **інтерфазне**. Перший із цих видів відмирання відноситься до клітин, що активно діляться. Другий може стосуватися усіх типів клітин. Репродуктивне відмирання полягає в тому, що клітина втрачає здатність до необмеженого відтворення: її нащадки виявляються дефектними і гинуть уже у другому чи третьому поколінні. Інтерфазне відмирання означає, що невдовзі після опромінення гинуть самі клітини. При цьому для більшості клітин як тих, що діляться, так і тих, що не діляться, інтерфазне відмирання настає лише після поглинутих доз, більших ста грей ( $D \geq 100 \text{ Гр}$ ) [3:199]. Однак є винятки: статеві клітини та лімфоцити на ранніх стадіях їх розвитку інтерфазно гинуть уже при дозах у декілька десятків грей.

Причини і закономірності репродуктивного відмирання клітин вивчено досить добре. Встановлено, що репродуктивне відмирання клітин настає внаслідок пошкодження макромолекул **ДНК**, яке призводить до розриву однієї або обох її ниток. Це унеможливає подальше відтворення нормальних життєздатних клітин. Припускається, що кількість клітин  $N(D)$ , що зберегли при опроміненні репродуктивну здатність, залежить від величини поглинутої дози  $D$ . Приріст поглинутої дози  $dD$  спричинює зменшення кількості цих клітин на величину  $dN(D)$ , яка пропорційна добутку загальної кількості опромінюваних клітин  $N(D)$  на приріст дози  $dD$ :

$$dN(D) = - \text{const} \cdot N(D) \cdot dD,$$

де коефіцієнт пропорційності позначається буквою  $S$  і називається **радіочутливістю** цього виду клітин. Звідси можна знайти частку клітин, які зберегли репродуктивну здатність після опромінення дозою  $D$ :

$$N(D)/N(0) = \exp(-S \cdot D).$$

Тут  $N(0)$  і  $N(D)$  – число неушкоджених клітин до і після опромінення.

Вище наведене співвідношення дозволяє ввести ще одну характеристику, обернену до радіочутливості клітин  $S$  – дозу  $D_0$ , що зменшує частку вицілілих клітин цього виду в  $e$  разів:  $D_0 = 1/S$ . Для більшості клітин, що здатні ділитися, ця доза рівна приблизно одному - двом греям:  $D_0 \approx (1.2 \dots 2.0) \text{ Гр}$ .

Радіочутливість різних біологічних тканин та їх клітин залежить від ряду факторів. Одним із них є **лінійна густина іонізації  $i$**  – це відношення числа іонів  $dn$ , утворених зарядженою частинкою на шляху  $dx$ , до величини цього шляху:

$$i = dn/dx, (\text{см}^{-1}, \text{мкм}^{-1} \text{ і т.д.})$$

Із зростанням лінійної густини іонізації зростає й радіочутливість клітин та тканин.

Радіочутливість клітин можна при необхідності змінювати. Речовини, які збільшують радіочутливість, називаються **сенсibilізаторами**. Речовини, які зменшують її, називаються **радіопротекторами**.

До перших відносяться кисень та деякі електрон-акцепторні сполуки, дія яких аналогічна дії кисню, але вони здатні глибше проникати в пухлини. Саме ця особливість цих сенсibilізаторів використовується в радіотерапії пухлин.

Існують також суто хіміко-біологічні засоби зміни чутливості живих клітин і органів до радіації і її наслідків. Установлено, що існують надійні механізми відновлення (репарації) макромолекули **ДНК**, що зазнала радіаційного пошкодження. У клітині присутні хімічні сполуки, такі як, наприклад, деякі амінокислоти, що здатні відновлювати більшість пошкоджених структурних одиниць макромолекули **ДНК**, перешкоджаючи внутріклітинному кисню "фіксувати" радіаційні пошкодження. Ті пошкодження, які не були відновлені фізико-хімічними засобами, усуваються ферментними системами клітин. Така здатність живих клітин до самовідновлення (репарації) зумовлює їх відносну стійкість до дії іонізуючого випромінювання. Частка невідновлених первинних пошкоджень **ДНК** за звичайних умов – це декілька десятків часток відсотка.

Що стосується інтерфазної загибелі клітин, то вона спостерігається в усіх клітинах і, порівняно з репродуктивною, має ряд особливостей. Так, наприклад, радіочутливість лімфоцитів до цього виду пошкоджень помітно відрізняється від радіочутливості інших видів клітин. Це пояснюється тим, що інтерфазна загибель клітини спричиняється uszkodженнями не однієї, нехай і виняткової, структури клітини, а uszkodженням мембрани та інших її структур одночасно. Тому інтерфазна загибель характеризується не часткою клітин, що загинули, а **часом загибелі половини популяції цього виду клітин  $T_{1/2}$** , або **середнім часом загибелі всієї популяції  $\tau_{100}$** . Зазначимо, що ці характеристики різко зменшуються зі збільшенням дози, поглинутої живою тканиною.

Стан цілісного живого організму залежить від частки uszkodжених і не відновлених популяцій клітин окремих його органів. У першу чергу це стосується так званих **критичних органів**, що відповідають за життєздатність та життєдіяльність організму. Такими є кровотворні органи (кістковий мозок та селезінка) і органи травлення (тонкий кишечник). Саме в них присутні **стовбурні** клітини, які активно діляться і стають

основою утворення усіх інших клітин, що виконують життєво важливі функції, а саме – клітин крові та клітин, відповідальних за всмоктування поживних речовин у тонкому кишечнику(слизова оболонка). Коли чисельність стовбурних клітин внаслідок їхньої репродуктивної загибелі стає нижчою певного сумісного з життям **критичного рівня**, гине весь організм.

Ефективність дії радіації на живий організм залежить від багатьох факторів: виду іонізуючого випромінювання; способу проникнення його до життєво важливих тканин (органів); інтенсивності випромінювання; часу його дії на тканину тощо.

Розрізняють ураження, що зумовлені зовнішнім опроміненням організму або його частин, і ураження, що є наслідком внутрішнього опромінення, яке спостерігається при попаданні радіоактивних речовин до внутрішніх органів живих істот разом із їжею, водою (напоями) або при вдиханні радіоактивних аерозолів.

Зовнішнє опромінення можливе від дії радіації двох типів: непрямо іонізуючого випромінювання, або так званого проникаючого випромінювання (**γ-кванти** та **нейтрони**), та прямо іонізуючого випромінювання – заряджених частинок (**електрони, протони, α-частинки, важкі іони**).

Безпосередня іонізуюча здатність γ-квантів та нейтронів, як уже зазначалося, невелика. Тому вони здатні проникати в тканину на значну глибину, утворюючи на своєму шляху вторинні заряджені частинки: фотоелектрони, комптонівські електрони, електрон - позитронні пари (при опроміненні γ-квантами); електрони, протони, важкі іони (при опроміненні нейтронами). Внаслідок цього опромінюваний організм вражається на значну глибину: від шкіри і підшкірних тканин до кровотворних органів, розміщених у кістках.

Ураження шкіри і підшкірних тканин характеризується такими ознаками. Шкіра червоніє, стає чутливішою до зовнішніх подразнень, грубує, на ній послаблюється пігментація. Надалі настає епіляція (випадання) волосся, яке може і не відновитися. Після тривалого (або інтенсивного короточасного) опромінення на шкірі можуть з'явитися пухирі, виразки, що довго не заживають, недоброякісні пухлини тощо. Радіаційне ураження поверхні ока може викликати помутніння кришталика (променева катаракта).

Ураження проникаючим випромінюванням кровотворних органів вносить розлад у процеси кровотворення, внаслідок чого змінюється склад крові. Зменшується число еритроцитів, що є переносниками кисню від легенів до всіх органів тіла. Зменшується кількість лейкоцитів, що послаблює самозахист організму від інфекцій. Може зменшитися також число тромбоцитів, від чого знижується здатність крові до згортання і збільшується ризик внутрішніх крововиливів.

Опромінення статевих органів може призвести до тимчасової або постійної стерилізації (безпліддя) та до генетичних змін, які зумовлюються мутаціями клітин, відповідальних за передачу статевих ознак, тобто шкідливі наслідки від цих змін можуть виявитися в наступних поколіннях.

У зв'язку з цим важливим стає питання про величину нешкідливої для організму поглинутої дози випромінювання. Тим більше, що навіть при незначних дозах існує певна ймовірність накопичення генетичних змін від покоління до покоління в умовах постійного опромінення. Саме ця проблема набула неабиякої гостроти і актуальності у постчорнобильську епоху для сотень тисяч мешканців, що живуть на забруднених територіях.

Розглянемо тепер особливості ураження живих організмів при зовнішньому опроміненні зарядженими частинками. Ці частинки левову частку своєї енергії віддають на іонізацію атомів (молекул) тканини. Тому їх проникна здатність відносно невелика. Глибина проникнення заряджених частинок у речовину, в тому числі і в живу тканину, або середній пробіг залежать як від питомої іонізуючої здатності частинок, яка визначається її енергією та зарядом, так і від гальмівної здатності атомів опромінюваної тканини. Для порівняння наведемо таблицю з даними про масовий середній пробіг  $R_m$  у воді  $\alpha$  - частинок, **протонів** і **електронів** при енергіях від **0,5 MeV до 6 MeV**.

Таблиця 1  
( $R_m$  ( $m^2/cm^2$ )  $\approx R \cdot 10^{-3}$  см)

Енергія / Частинка	0,5	1	2	3	4	5	6
протони p	0,9	2,16	6,8	13,9	23,5	35,0	48,3
α – частинки	0,11	0,17	0,28	0,43	0,60	0,83	1,11
електрони e	110	400	1000	1100	1210	1280	1320

([4], стор. 1146, 1147, 1169; таблиці 42.2; 42.3; діаграма рис. 42.2)

Із таблиці видно, що при енергіях  $E < 5$  MeV глибина проникнення електронів у воду не перевищує 13 мм, протонів – 350 мкм, а  $\alpha$ -частинок – 10 мкм, відповідно. Тобто ураження живої тканини при зовнішньому опроміненні електронами відносно невеликих енергій подібне до пошкоджень від гамма-випромінювання: це електронні опіки шкіри і підшкірних шарів із наступними ускладненнями, тяжкість яких залежить від величини отриманої дози. Протони невеликих енергій уражають тільки тканину шкіри. Але високоенергійні протони (з енергіями в сотні, а то й тисячі мегаелектрон-вольт), що одержуються на прискорювачах, можуть мати середній пробіг у тканині, який дорівнює декільком десяткам сантиметрів.

Таблиця 2

Пробіги **протонів** у воді  $R_m$  ( $z/cm^2$ ) =  $R$  (см) для енергій **10, 100, 500 MeV**.

Пробіг (г/см <sup>2</sup> )	Енергія протонів (MeV)		
	10	100	500
Масовий пробіг протонів у водні (H)	5,181·10 <sup>-2</sup>	3,53	54,49
Масовий пробіг протонів у кисні (O)	0,1464	8,983	133,2
Масовий (г/см <sup>2</sup> ) (лінійний см) пробіг протонів у H <sub>2</sub> O	0,12	7,69	114,78

Значимо, що пробіги, наведені в цій таблиці, розраховувалися із урахуванням того факту, що 75 % складу людського тіла припадає на два хімічні елементи – кисень(65 %) і водень(10 %) [5:95]. Тому пробіги протонів у воді, що є з'єднанням цих двох широко представлених у складі живої тканини елементів, повинні добре корелювати при відповідних енергіях із пробігами цих частинок у воді. Точність визначення пробігів протонів при цьому взагалі невисока: вона становить декілька відсотків.

Пробіги  $\alpha$ -частинок, що народжуються при  $\alpha$ - розпадах нуклідів (їх енергії змінюються в інтервалі **0,5–10 MeV**) незначні. Вони коливаються в межах  $10^{-4} - 10^{-3}$  см. Тому  $\alpha$ -частинки при зовнішньому опроміненні людини не проникають глибше інертного покрову шкіри і не викликають хворобливих уражень. Інша справа, коли  $\alpha$ -радіоактивний нуклід потрапляє до внутрішніх органів живого організму і розпадається при безпосередньому контакті з тканиною. Тоді  $\alpha$ -частинка, володіючи великою іонізуючою здатністю, пошкоджує прилеглі клітини і викликає певні, часто не зворотні, хіміко-біологічні і фізіологічні наслідки. Особливо це небезпечно для тканини слизової оболонки тонких кишок та клітин кісткового мозку, які відповідають за кровотворення.

Деяко меншою вражаючою здатністю при внутрішньому опроміненні володіють  $\beta$ -активні радіонукліди. Безпосередньо іонізуючими частинками при цьому є енергійні електрони, проникна здатність яких на порядок більша, ніж у  $\alpha$ -частинок, а іонізуюча – на стільки ж менша.

Особливості дії іонізуючого випромінювання на живу тканину викликають необхідність використовувати спеціальні величини-характеристики цієї дії. Такими характеристиками є наступні.

**Еквівалентна доза іонізуючого випромінювання (еквівалентна доза) H** – це добуток поглинутої дози **D** на **середній коефіцієнт якості <k>** іонізуючого випромінювання в даному елементарному об'ємі біологічної тканини **стандартного складу**:

$$H = D \cdot \langle k \rangle,$$

Одиницею вимірювання еквівалентної дози є 1Зв (зиверт); 1Зв = 1Дж/кг. Уживаються також похідні одиниці: мЗв; мкЗв; і т. д.

Значимо, що коефіцієнт якості "**k**" іноді називають **коефіцієнтом відносної біологічної ефективності (ВБЕ або ОБЕ** – "относительной биологической эффективности", – на російській мові). Ефективність взаємодії з біологічною тканиною різних видів випромінювання різна. За основу ефективності приймається взаємодія з біологічною тканиною квантів електромагнітного поля високої енергії ( $\gamma$ - квантів), коефіцієнт **ВБЕ** для яких вважається рівним одиниці. Тоді ефективність інших видів випромінювання характеризується такими коефіцієнтами **ВБЕ**:

для  $\beta$ -променів  $k_{\beta} \approx 1$ ; для  $\alpha$ -променів  $k_{\alpha} = 10$ ; для нейтронів  $k_n = 5$  (теплові нейтрони), **10** (швидкі нейтрони), **20** (гарячі нейтрони); для протонів  $k_p = 10$ .

Ураховуючи різну біологічну ефективність дії різних видів іонізуючого випромінювання, еквівалентну дозу можна подати через поглинуті дози від різних компонент цього випромінювання з відповідними коефіцієнтами **ВБЕ** в такому виді:

$$H = D_{\gamma} + D_{\beta} + k_{\alpha} D_{\alpha} + k_n D_n + k_p D_p$$

Зауважимо, що поглинуті дози тут вимірюються в одиницях **грей**, а еквівалентна – в **зиверт**. Отже, співвідношення між ними визначається коефіцієнтами **ВБЕ**:

$$1 \text{ Зв} \leftrightarrow k(\text{ВБЕ}) \text{ Гр}$$

Для характеристики інтенсивності накопичення еквівалентної дози вводиться поняття потужності еквівалентної дози.

**Потужність еквівалентної дози іонізуючого випромінювання (потужність еквівалентної дози)  $\dot{H}$**  – це відношення приросту еквівалентної дози **dH** за проміжок часу **dt** до величини цього проміжку

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

Одиниці вимірювання **потужності еквівалентної дози** – це Зв/с (зиверт на секунду) та позасистемні одиниці, такі як, наприклад, мкЗв/год (мікро-зиверт на годину) і т. д.

Підсумовуючи зазначене вище, можна зробити певні висновки відносно можливої дії залишкової радіації на людину та висловити деякі пропозиції і прогнози.

1. Небезпека зовнішнього опромінення від радіонуклідів, розсіяних свого часу на значних територіях минула. Левова частка цих нуклідів фізично розпалася: з них утворилися стабільні або довго живучі ізотопи, активність яких дуже мала. Внесок решти ізотопів у радіаційний фон незначний.

2. Внаслідок вивітрювання, вимивання, дифузії в рослині і занурення в ґрунт залишків радіонуклідів із середнім періодом піврозпаду, таких як Стронцій-90 та Цезій-137, залишається небезпека внутрішнього опромінення від цих радіонуклідів при їх попаданні всередину організму з їжею, напоями та при вдиханні забрудненого повітря. Тому ще порівняно довго (протягом одного-двох десятиліть) для населення, що мешкає у забруднених зонах, будуть актуальними чистота продуктів харчування, води та повітря в жилих приміщеннях.

3. Значно важче з достатньою ймовірністю спрогнозувати віддалені генетичні наслідки поглинутих доз випромінювання, одержаних ліквідаторами і населенням забруднених територій у перші дні, тижні і місяці після аварії. Тим більше, що ці наслідки підсилюються прогресуючим погіршенням стану довкілля, масовим застосуванням хімічних засобів догляду за рослинами в сільському господарстві та соціально-економічними потрясіннями останніх десятиліть. У цьому аспекті чисто фізико-технічні проблеми переростають в проблеми радіобіології та медицини. І все-таки загальний прогноз на майбутнє, на нашу думку, можна охарактеризувати як стримано-оптимістичний: сподіваємося, що віддалені наслідки аварії для наших нащадків будуть не надто серйозними.

4. Окремо слід указати, що в постчорнобильські часи на свідомість людей існує постійний психологічний тиск, породжений страхом перед таким грізним і часто незрозумілим явищем, яким є радіація. А це вже проблема, до розв'язання якої слід долучитися науковцям-популяризаторам фізико-технічних знань, учителям шкіл і викладачам вузів, а також фахівцям із медичної та соціальної психології. Ця робота допоможе позбутися радіофобії та негативного ставлення значної частини суспільства до цілої галузі – ядерної енергетики. Тим більше, що атомне ядро ще довго залишатиметься основним джерелом енергії.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Мордовець М.Т. Діаграми осколків реакції поділу важких ядер тепловими нейтронами. // Вісник Житомирського педагогічного університету. – 2004.– Вип.14.– С. 265-274.
2. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. 3 изд.– М.– 1988.
3. Физическая энциклопедия. – М.: Научное изд. БРЭ.– 1994.– Т.4.– С. 199.
4. Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. – К.– Наукова думка.– 1975.– 416 с.
5. Вальтер А.К., Залубовский И.И. Ядерная физика. –Х.: Вища школа.– 1974.– С. 95.

Матеріал надійшов до редакції 15.04.2006 р.

#### *Мордовец Н.Т. Двадцать лет после Чернобыля – физико-биологические аспекты.*

*В статье рассмотрены некоторые особенности влияния ионизирующего излучения на живую ткань и организм человека спустя двадцать лет после Чернобыльской катастрофы. Сделаны определенные выводы и прогнозы относительно воздействия остаточной радиации.*

#### *Mordovets M.T. Twenty years after Tshernobyl – physics-biology aspects.*

*The article deals with some peculiarities of ionizing radiation influence on alive tissue and whole human organism in post-Tshernobyl times. Some conclusions and prognoses about the rest radiation effects are drawn.*