

УДК 575:576.316:612.6.052.4/539.12.04.57

Л. К. Бездробна¹✉, Л. В. Тарасенко¹, Т. В. Циганок¹, В. А. Курочкіна¹, В. О. Сушко²,
Л. І. Швайко²

¹Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України, пр-т Науки, 47, м.Київ, 03680, Україна

²Державна установа «Національний науковий центр радіаційної медицини Національної академії медичних наук України», 53, вул. Мельникова, м. Київ, 04050, Україна

ВИПАДКИ НЕВРАХОВАНОГО ОПРОМІНЕННЯ ПЕРСОНАЛУ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ЗАХИСНОГО КОНТУРУ НОВОГО КОНФАЙНМЕНТУ В ЗОНІ ДСП ЧАЕС

Мета: цитогенетичний контроль рівня радіаційного впливу на персонал під час будівництва захисного контуру нового конфайнменту в зоні ДСП ЧАЕС.

Матеріали і методи. Проведено цитогенетичне обстеження 32 осіб із числа персоналу підрядних організацій, який виконував роботи зі спорудження захисного контуру нового конфайнменту. Для порівняння обстежено осіб, які не мали професійних контактів з радіаційним чинником. Використано метод аналізу аберацій на препаратах рівномірно забарвлених хромосом лімфоцитів периферійної крові. Визначено частоту дицентричних і кільцевих хромосом із супроводжуючим парним фрагментом на 100 проаналізованих метафаз. Поглинені дози хронічного опромінення персоналу оцінено, використовуючи лінійні частини лінійно-квадратичних рівнянь, що описують калібрувальні дозові залежності виходу нестабільних хромосомних обмінів при гострому опроміненні зразків крові *in vitro*.

Результати. У шести із 32 осіб персоналу індивідуальна частота специфічних маркерів недавнього опромінення – нестабільних хромосомних обмінів із супроводжуючим парним фрагментом, вірогідно перевищувала їх частоту у осіб групи порівняння і середньопопуляційний спонтанний рівень, що свідчить про ймовірність їх наднормативного опромінення при виконанні робіт в зоні ЧАЕС. У трьох з них зареєстровано поодинокі клітини з двома хромосомними обмінами за відсутності таких у осіб групи порівняння. Це є наслідком інкорпорації радіонуклідів, що присутні в повітрі на робочих місцях. Розраховані індивідуальні усереднені поглинені дози відносно недавнього опромінення шести осіб персоналу складали від 102,5 до 371,0 мГр.

Висновок. Розраховані за частотою нестабільних хромосомних обмінів із супроводжуючим парним фрагментом дози відносно недавнього опромінення шести осіб персоналу значно перевищують дози, визначені методами фізичної дозиметрії і ліміт дози професійного опромінення.

Ключові слова: ДСП ЧАЕС, новий конфайнмент, персонал, цитогенетична дозиметрія, хромосомні аберації, культура лімфоцитів крові.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2016. Вип. 21. С. 316–322.

✉ Бездробна Лариса Костянтинівна, e-mail: lbezdrob@ukr.net

L. K. Bezdrobna¹✉, L. V. Tarasenko¹, T. V. Tsyganok¹, V. A. Kurochkina¹, V. O. Sushko²,
L. I. Shvayko²

¹*Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Nauky prospect 47, Kyiv, 03680, Ukraine*

²*State Institution «National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Melnykova str., 53, Kyiv, 04050, Ukraine*

Cases of the staff unaccounted exposure during the construction of the protective shell for a new confinement at the ChNPP site

Objective: cytogenetic control of the staff radiation exposure level during the construction of the protective shell for a new confinement at the ChNPP site.

Materials and methods. A cytogenetic examination was carried out for 32 staff persons from the contracting organizations involved into construction of the protective shell for a new confinement. Additionally, for the goal of comparison, 28 persons who did not have professional contacts with the radiation factors were inspected. The analytical method of the aberrations on preparations of uniformly stained chromosomes of the peripheral blood lymphocytes has been used. The frequency has been determined for the dicentrics and centric rings with an accompanying pair fragment for 100 analyzed metaphases. The staff chronic exposure absorbed doses are estimated by means of the linear part of the linear-quadratic equations, which describe the calibration dose dependence of the unstable chromosomal exchanges yield in the acute irradiated blood samples *in vitro*.

Results. Six staff persons from 32 investigated ones have the individual frequency of the recent exposure specific markers (unstable chromosomal exchanges with accompanying pair fragments) significantly higher than those for the comparison group and the population average spontaneous level. It indicates on the possibility of their excessive irradiation during the work execution in the ChNPP zone. Single cells with two chromosomal exchanges were registered for three persons, while such cells were absent in the comparison group. This is the result of the incorporation of radionuclides, which are available in the air at the workplaces. The calculated averaged individual absorbed doses caused by the recent exposure of six staff persons lies in the range from 102.5 to 371.0 mGy.

Conclusion. The doses calculated from the frequency of unstable chromosomal exchanges with the accompanying pair fragment caused by the recent exposure of six staff persons are exceeding significantly the doses determined by the methods of physical dosimetry and the occupational exposure dose limits.

Key words: Chernobyl NPP, new confinement, personnel, cytogenetic dosimetry, chromosomal aberrations, culture of blood lymphocytes.

Problems of radiation medicine and radiobiology. 2017;22:316–322.

ВСТУП

При професійній діяльності в екстремальних радіаційних умовах для контролю рівня опромінення працівників доцільно паралельно з методами фізичної дозиметрії використовувати й методи біологічної дозиметрії, що враховують індивідуальну радіочутливість організму. Рекомендованим МАГАТЕ біологічним способом оцінки дози опромінення людини є цитогенетичний аналіз лімфоцитів у культурі периферійної крові [1]. Серед методів аналізу радіаційно-індукованих хромосомних аберацій найбільш поширеним на сьогодні лишається стандартизований метод визначення дицентриків (ДЦ) і центричних кілець (ЦК) на метафазних препаратах з рівномірним забарвленням хромосом [2, 3]. Низький фоновий рівень нестабільних

INTRODUCTION

It is expedient to use in parallel the methods of physical dosimetry and biological dosimetry, including the individual radio sensitivity of the organism at the staff professional activity under extreme radiation conditions, in order to control the exposure levels of workers. The cytogenetic analysis of lymphocytes in the culture of peripheral blood, recommended by IAEA, is the biological method for an assessing the human exposure dose [1]. The standardized method for the determination of dicentrics (Dic) and centric rings (CR) in metaphase preparations with the uniform chromosomes stained remains today the most common method among other ones for the analysis of radiation-induced chromosomal aberrations [2, 3]. The low background level of unstable chromosomal

хромосомних обмінів у лімфоцитах крові забезпечує відносно високу чутливість методу з пороговою дозою 100 мЗв на все тіло при аналізі 1 000 метафазних пластинок. Виходячи з цього, нами періодично проводяться цитогенетичні обстеження груп осіб з персоналу підрядних організацій ДСП ЧАЕС, який виконує роботи зі спорудження нового конфайнменту [4, 5].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Цитогенетичний контроль рівня радіаційного впливу на персонал під час будівництва захисного контуру нового конфайнменту в зоні ДСП ЧАЕС.

СУБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Суб'єкти для цитогенетичного дослідження (32 особи) були відібрані «всліпу» з числа персоналу, який проходив спеціальне медико-біофізичне обстеження в клініці ННЦРМ у зв'язку з виконанням робіт в зоні ЧАЕС. Вік обстежених – 22–60 років, із них 69 % – до 45 років. Для порівняння була сформована група з умовно здорових осіб аналогічного віку, які не мали професійних і інших свідомих контактів з джерелами іонізуючого випромінювання, крім медико-діагностичних процедур, та постійно проживали в тих самих регіонах, що й обстежений персонал.

Індивідуальні дози зовнішнього опромінення персоналу контролювали за допомогою системи «Harshow» співробітники служби радіаційної безпеки ДСП ЧАЕС, а дози внутрішнього опромінення визначали біофізичними методами (радіохімічний, радіометричний, спектрометричний) в лабораторії внутрішнього опромінення ДУ «ННЦРМ НАМН України».

Зразки венозної крові брали у вакутейнери з напиленим гепарином. Культивування клітин крові і приготування цитогенетичних препаратів лімфоцитів проводили згідно [1] з деякими модифікаціями. Тривалість культивування складала 48 годин.

З метою біологічної дозиметрії опромінення обстежених осіб на препаратах рівномірно забарвлених хромосом аналізували хромосомні обміни та їх розподіл по клітинах. Для розрахунку дози відносно недавнього опромінення персоналу (за останній цикл роботи) визначали частоту ДЦ і ЦК із супроводжуючим парним фрагментом (ПФ) на 100 проаналізованих метафаз. Оцінку поглинених доз проводили, як описували раніше [6], використовуючи тільки лінійні частини (у зв'язку з хронічним оп-

exchanges in the blood lymphocytes provides a relatively high sensitivity of the method with a threshold whole-body dose of 100 mSv at the analysis of 1,000 metaphase plates. Therefore, we are conducting periodically the cytogenetic examinations of the personnel groups from the contracting organizations at the Chornobyl NPP, which work on the construction of the protective shell for a new confinement [4, 5].

OBJECTIVE

The cytogenetic control of the staff radiation exposure level during the construction of the protective shell for a new confinement at the ChNPP site.

SUBJECTS AND METHODS

Subjects for the cytogenetic investigation (32 persons) were selected randomly («in a blind spot») from the staff, which has passed a special medical and biophysical examinations at the NRCRM clinic in connection with the work at the ChNPP site. The surveyed person ages are within a range of 22–60 years, 69% of them are younger of 45 years. For comparison, a group of conditionally healthy persons (28) of the same age, who did not have professional and other conscious contacts with SIRs except for the medical diagnostic procedures and permanently resided in the same regions as the surveyed personnel, was formed.

The personnel individual external exposure doses have been monitored by the staff of the radiation safety service using the «Harshow» system at the ChNPP radiation safety shop, and the individual internal exposures were determined by the biophysical methods (radiochemical, radiometric, spectrometric) in the NRCRM laboratory of internal radiation.

The venous blood samples were taken in the vacutaners with the deposited heparin. The blood cells cultivation and the cytogenetic preparation of lymphocytes were carried out in accordance with the [1] using some modifications. The cultivation period was equal to 48 hours.

Analysis of chromosomal exchanges and their distribution in the cells was conducted on preparations of uniformly stained chromosomes aiming the biological dosimetry of irradiation of the examined persons. For calculation of the dose relatively to the recent personnel radiation exposure (for the last work-cycle), the frequency of Dic and CR with accompanying pair fragment (Ac fr) was determined for 100 analyzed metaphases. The absorbed dose assessment was carried out as previously described [6], using only the lin-

роміненням персоналу) лінійно-квадратичних рівнянь, що описують калібрувальні дозові залежності виходу ДЦ з ПФ або ДЦ з ПФ плюс ЦК з ПФ при гострому опроміненні зразків крові in vitro, представлених в [7]:

$$Y_{\text{ДЦ з ПФ}} = 0,087 + 3,05 D;$$

$$Y_{\text{ДЦ з ПФ + ЦК з ПФ}} = 0,093 + 2,984 D,$$

де Y – частота обмінів на 100 метафаз,
 D – доза опромінення, Гр.

Вірогідність перевищення контрольного рівня хромосомних обмінів із фрагментом у лімфоцитах крові окремих осіб з персоналу визначали за точним критерієм Фішера [8].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

За даними фізичної дозиметрії індивідуальні дози професійного опромінення 32 осіб з підрядного персоналу ЧАЕС (за останній цикл робіт у 2016 р.) на час проведення їх цитогенетичного обстеження становили: зовнішнього – 4,94–38,47 мЗв і внутрішнього – 0,00–2,40 мЗв. Згідно з НРБ України [9] верхній ліміт дози професійного опромінення становить 50 мЗв за окремий рік. Встановлений на ЧАЕС контрольний рівень дози внутрішнього опромінення складає 3 мЗв на рік [10]. Тобто, надані нам дози опромінення персоналу були у межах дозволених професійних лімітів.

Аналіз індивідуальних частоти і спектру хромосомних обмінів у культурі лімфоцитів периферійної крові осіб персоналу (тут не наводяться) показав, що у 6 з 32 обстежених (у 19 %) частота специфічних маркерів опромінення – нестабільних хромосомних обмінів із супроводжуваним парним фрагментом вірогідно перевищує середнє значення такої в групі порівняння з осіб, які не мали професійних контактів з випромінюванням. У цих осіб частота хромосомних обмінів була у межах 0,40–1,20 на 100 клітин, а в групі порівняння – 0,00–0,24 (в середньому $0,057 \pm 0,0002$) на 100 клітин (табл. 1). Останнє відповідає загальноприйнятому фоновому рівню ДЦ у лімфоцитах крові населення – 0,5–2,0 на 1000 клітин [1, 11]. У інших 26 осіб персоналу індивідуальна частота обмінів з фрагментом не відрізнялася вірогідно від такої у неопромінених осіб. У лімфоцитах персоналу хромосомні обміни з фрагментом були представлені або лише ДЦ, або ДЦ і ЦК. ДЦ з ПФ + ЦК з ПФ виявили у 67 % осіб, представлених в табл. 1, і у 15 % із решти 26 осіб. У лімфоцитах крові осіб неоп-

ear parts (due to chronic exposure of staff) of the linear quadratic equations describing the calibrated dose dependents of the output of Dic with Ac fr. or Dic with Ac fr. plus the CR from Ac fr. with acute irradiation of blood samples in vitro, presented in [7]:

$$Y_{\text{Dic with Ac fr}} = 0.087 + 3.95D$$

$$Y_{\text{Dic with Ac fr. + CR with Ac fr}} = 0.093 + 2.984 D,$$

were Y – of exchanges per 100 metaphases
 D – dose of irradiation, Gy.

The probability of exceeding the control level of chromosomal exchanges with the fragment in blood lymphocytes of staff individuals was determined by Fisher's exact criterion [8].

RESULTS AND DISCUSSION

According to the physical dosimetry data, the professional individual doses for the ChNPP contract staff ($n = 32$) for the last work-cycle in 2016 at the moment of their cytogenetic examination were: the external ones – in the range of 4.94–38.47 mSv and the internal ones – in the range of 0.00–2.40 mSv. Accordingly to the NRS of Ukraine [9], the upper limit of professional exposure dose is 50 mSv for a separate year. The control level of internal exposure dose established at the ChNPP site is 3 mSv per year [10]. This means that the doses of staff we got were within the limits of the authorized occupational limits.

Analysis of the individual frequencies and spectrum of chromosomal exchanges in the culture of peripheral blood lymphocytes of the staff (not shown here) indicated that 6 persons from 32 ones (19%) have a significantly higher frequency of specific radiation markers – unstable chromosomal exchanges with accompanying pair fragment, in comparison with such value in comparison group of persons having no professional contact with the radiation. These individuals have the frequency of chromosomal exchanges within 0.40–1.20 per 100 cells, and for the comparison group within 0.00–0.24 (average 0.057 ± 0.0002) per 100 cells (Table 1). The last one corresponds to the generally accepted background level of Dic in the blood lymphocytes population, namely 0.5–2.0 per 1000 cells [1, 11]. Other 26 staff persons have the individual frequency of exchanges with the fragment did not differ significantly from that for the unidentified persons. In lymphocytes of the staff were presented the chromosomal exchanges with fragment either only by Dic, Dic or CR. Dic with Ac fr. + CR with Ac fr. was found 67 % of the persons presented in Table 1 and 15 % of the rest 26 persons. The CR was not

Таблиця 1
Дози неврахованого опромінення осіб підрядного персоналу ДСП ЧАЕС

Table 1

Doses of unaccounted exposure to personnel of contracting staff of ChNPP

Код / вік, роки	Кількість проаналізованих метафаз	Дицентрики і центричні кільця з фрагментом Dicentrics and center rings with acentric fragment	Розрахована «біологічна» доза з 95% довірчим інтервалом, мГр	Доза згідно даних фізичної дозиметрії, мЗв за останній цикл роботи / сумарна Dose according to physical dosimetry data, mSv for the last job cycle / total		Відсоток метафаз з двома хромосомними обмінам
				зовнішня external	внутрішня internal	
Code/age, years	Quantity of metaphases analysed	п частота на 100 метафаз з 95% довірчим інтервалом frequency of 100 metaphases with 95% confidence interval	«Biological» dose calculated with a confidence interval of 95%, mGy	external	internal	Percentage metaphases with two chromosomal exchanges
70пк / 27	1000	4* 0,4*** (0,137 – 0,960)	102,6 (16,4 – 286,0)	37,74 / 49,95	0,6 / 0,8	0,1
72пж / 28	375	3** 0,8*** (0,218 – 2,160)	236,9 (41,9 – 692,6)	25,21 / 25,21	0,3 / 0,3	0
80пжм / 34	1000	7** 0,7*** (0,328 – 1,376)	203,4 (78,7 – 429,9)	25,95 / 25,95	1,4 / 1,4	0,2
86пк / 24	1000	4* 0,4*** (0,137 – 0,960)	102,6 (16,4 – 286,0)	20,94 / 38,16	2,6 / 3,8	0
87пп / 44	1000	12** 1,2*** (0,669 – 2,033)	371,0 (193,0 – 650,1)	27,20 / 44,36	2,7 / 3,9	0
94пк / 52	1 000	11** 1,1*** (0,532 – 1,905)	337,5 (147,1 – 607,2)	30,23 / 40,16	2,5 / 2,6	0,4
Неопромінений контроль Non-irradiated control	10 118	5* 0,050 (0,019 – 0,110)	0	0	0	0

Примітка. * – ДЦ з ПФ; ** – ДЦ з ПФ + ЦК з ПФ; *** – вірогідна відмінність від групи неопроміненого контролю, $p < 0,001$.
Note. * – Dic with Ac fr.; ** – Dic with Ac fr. + CR with Ac fr.; *** – probable difference from the group of non-irradiated control, $p < 0,001$.

роміненого контролю ЦК виявлені не були. Можна припустити, що зі збільшенням радіаційного впливу збільшується і ймовірність індукції ЦК.

У деяких осіб персоналу виявлені поодинокі клітини з двома хромосомними обмінами – у трьох із представлених в табл. 1 і у чотирьох із 26 решти. Індивідуальний відсоток таких клітин складав 0,10–0,40. Ми вважаємо, що наявність у крові персоналу клітин з двома хромосомними обмінами, свідчить про внесок внутрішнього опромінення в загальну дозу опромінення внаслідок інкорпорації в організм радіонуклідів, що присутні в повітрі на робочих місцях.

Розраховані за частотою хромосомних обмінів з фрагментом у лімфоцитах крові індивідуальні усереднені поглинені дози опромінення 6 осіб персоналу склали від 102,5 мГр до 371,0 мГр (табл. 1). Тобто, розраховані біологічні дози суттєво перевищували значення доз, визначені методами фізичної дозиметрії, і, головне, дозволений ліміт дози професійного опромінення.

Особи, які за результатами цитогенетичної дозиметрії отримали наднормативне опромінення, віднесені до групи ризику і потребують посиленого медичного нагляду для своєчасного проведення профілактичних заходів і раннього виявлення ознак можливої клінічної патології.

Вважаємо, що виявлені випадки наднормативного опромінення персоналу обумовлені, в першу чергу, недостатнім усвідомленням окремими працівниками шкідливої дії радіаційного чинника і, як наслідок, виконанням частини робіт в зоні впливу опромінення без контролю персонального дозиметра з метою подовження загального терміну роботи в зоні ЧАЕС. Переопромінення окремих осіб з персоналу є також наслідком недостатнього рівня контролю з боку служб радіаційної безпеки і охорони праці станції.

ВИСНОВОК

Розраховані за частотою нестабільних хромосомних обмінів із супроводжуваним парним фрагментом дози відносно недавнього опромінення шести осіб персоналу значно перевищують дози, визначені методами фізичної дозиметрії і ліміт дози професійного опромінення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2011. 229 p.

detected in blood lymphocytes of non-irradiated controls. Presumably the probability of the CR induction will increase with growth of radiation exposure.

The single cells with two chromosomal exchanges were detected for some persons: for three ones from the presented in Table 1 and for four ones from the rest of 26. The individual percentage of such cells was equal to 0.10–0.40. We consider that the presence of cells with two chromosomal exchanges in the blood indicates the contribution of internal exposure to the total radiation dose due to the incorporation into the body of radionuclides, which are available in the air at the workplace.

The averaged individual absorbed doses for 6 persons, which were calculated on the frequency of chromosomal exchanges with a fragment in blood lymphocytes, are ranged from 102.5 mGy to 371.0 mGy (Table 1), i.e. the calculated biological dosages exceeded significantly the dose values determined by the physical dosimetry methods and, most important, the professional exposure permitted dose limit.

Persons, who have received an over-exposure in accordance with the cytogenetic dosimetry results, have been classified as the risk group and they require the intensified medical supervision for the timely conduct of the preventive measures and an early detection of signs of the possible clinical pathology.

We considered that the detected cases of an excessive personnel exposure are caused, first of all, by the lack of awareness of the individual workers of the harmful effects of the radiation factor and, consequently, the performance of part of the work in the radiation exposure zone without the control of a personal dosimeter in order to prolong the overall work time at the ChNPP site. The over-exposure of some staff persons is also a consequence of the insufficient level of control by the ChNPP radiation safety and safety work departments.

CONCLUSION

The doses calculated from the frequency of unstable chromosomal exchanges with the accompanying pair fragment for 6 recently exposed staff persons, are exceeding significantly the doses determined by the physical dosimetry methods of the occupational exposure dose limits.

REFERENCES

1. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies Vienna: International Atomic Energy Agency; 2011. 229 p.

2. ISO 19238. Radiation protection - Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics. Geneva, 2014. 29 p.
3. ISO 21243. Radiation protection - Performance criteria for laboratories performing cytogenetic triage for assessment of mass casualties in radiological or nuclear emergencies - General principles and application to dicentric assay. Geneva, 2008. 21 p.
4. Бездробна Л. К., Тарасенко Л. В., Циганок Т. В., Нечаєв С. Ю., Носач Ю. О., Мельник Т. В., Швайко Л. І. Результати цитогенетичного обстеження групи персоналу, який виконує роботи з будівництва нового безпечного конфайнмента в зоні ЧАЕС. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2012. Вип. 17. С. 127-135.
5. Бездробна Л. К., Тарасенко Л. В., Циганок Т. В., Мельник Т. В., Носач Ю. О., Сушко В. О., Нечаєв С. Ю., Швайко Л. І. Цитогенетичні показники в лімфоцитах крові групи осіб із персоналу, який виконує роботи з будівництва нового конфайнменту в зоні ЧАЕС. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2014. Вип. 19. С. 203-212.
6. Бездробная Л. К., Тарасенко Л. В., Цыганок Т. В., Мельник Т. В., Курочкина В. А., Сушко В. А., Нечаев С. Ю., Швайко Л. И., Колосинская Е. А. Использование цитогенетической дозиметрии для контроля возможного облучения персонала подрядных организаций, выполняющего работы по преобразованию объекта «Укрытие» ГСП ЧАЭС в экологически безопасную систему. Ядерная физика та енергетика. 2016. Т. 16, № 2. С. 166-175
7. Maznyk N. A., Vinnikov V. A. Calibration dose-response relationships for cytogenetic biodosimetry of recent and past exposure to low dose gamma-radiation. Український радіологічний журнал. 2004. № 12. С. 415-425.
8. Биологическая индикация радиационного воздействия на организм человека с использованием цитогенетических методов. Медицинская технология № ФС-2007/015-У. Москва, 2007. 29 с.
9. Норми радіаційної безпеки (НРБУ-97). Київ, МОЗ України, 1997. 121 С.
10. Бебешко В. Г., Бази́ка Д. А., Сушко В. О. Ліхтарьов І. А., Ляшенко Л. О., Логановський К. М., Нечаєв С. Ю., Саркісова Е. В. Стан радіаційного захисту і здоров'я персоналу підрядних підприємств, що виконують роботи з перетворення Об'єкту «Укриття» ДСП ЧАЕС на екологічно безпечну систему, за результатами створеного клініко-дозиметричного реєстру. Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2009. Вип. 14. С. 40-57.
11. Бочков Н. П., Чеботарев А. Н., Катосова Л. Д., Платонова В. И. База данных для анализа количественных характеристик частоты хромосомных aberrаций в культуре лимфоцитов периферической крови человека. Генетика. 2001. Т. 37, № 4. С. 549-557.
2. ISO 19238. Radiation protection - Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics. Geneva; 2014. 29 p.
3. ISO 21243. Radiation protection - Performance criteria for laboratories performing cytogenetic triage for assessment of mass casualties in radiological or nuclear emergencies - General principles and application to dicentric assay. Geneva; 2008. 21 p.
4. Bezdrobna LK, Tarasenko LV, Tsyganok TV, Nechayev SYu, Nosach YuO, Melnyk TV, Shvayko LI. [Results of cytogenetic examination of staff working on new safe confinement building in CHNPP zone]. Probl Radiac Med Radibiol. 2012;17:127-35. Ukrainian.
5. Bezdrobna LK, Tarasenko LV, Tsyganok TV, Melnyk TV, Nosach YuO, Sushko VO, Nechayv SYu, Shvayko LI. Cytogenetic indices in blood lymphocytes of individuals from the staff working on new confinement building in Chernobyl NPP zone. Probl Radiac Med Radibiol. 2014;19:203-12.
6. Bezdrobnaya LK, Tarasenko LV, Tsyganok TV, Melnik TV, Kurochkina VA, Sushko VA, Nechaev SYu, Shvayko LI, Kolosinskaya EA. [Using the cytogenetic dosimetry for the control of possible exposure of contractors staff, performing work on transformation of the SSE ChNPP «Shelter» object into ecologically safe system]. Nuclear Physics and Atomic Energy. 2016;16(2):166-75. Russian.
7. Maznyk NA, Vinnikov VA. Calibration dose-response relationships for cytogenetic bio-dosimetry of recent and past exposure to low dose gamma-radiation. Ukrainian Journal of Radiology. 2004;(12):415-25.
8. [Biological indication of radiation influence on human body using cytogenetic methods] : Medical technology № ФС-2007/015-У. Moscow; 2007. 29 с. Russian.
9. [Radiation Safety Standards (RSSU-97)]. Kyiv: Ministry of Health of Ukraine; 1997. 121 p. Ukrainian.
10. Bebeshko VG, Bazyka DA, Sushko VO, Likhtarinov IA, Lyashenko LO, Loganovskiy KM, Nechaev SYu, Sarkisova EV. [Radiation protection and health of the contractor companies workers performing transformation of the Chernobyl NPP shelter object into the ecologically safe system, based on the clinical and dosimetric registry]. Probl Radiac Med Radibiol. 2009;14:40-57. Ukrainian.
11. Bochkov NP, Chebotarov AN, Kotosova LD, Platonova VI. [Data basis for analysis of quantitative characteristics of chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes culture]. Genetics. 2001;37(4):549-57. Russian.

Стаття надійшла до редакції 8.06.2017

Received: 8.06.2017