

Л. В. Тарасенко, Т. В. Циганок, Л. К. Бездробна, Ю. О. Носач, О. Ф. Сенюк*

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*** Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Чорнобиль*

БІОЛОГІЧНА ІНДИКАЦІЯ ВПЛИВУ ВИРОБНИЧИХ УМОВ НА ПЕРСОНАЛ ДЕРЖАВНОГО СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПІДПРИЄМСТВА ПО ПОВОДЖЕННЮ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ І ДЕЗАКТИВАЦІЇ "КОМПЛЕКС" У ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

Представлено результати порівняльного цитогенетичного обстеження груп персоналу двох цехів (поводження з радіоактивними відходами (РАВ) і дезактивації РАВ) ДСП «Комплекс» у зоні відчуження ЧАЕС і осіб, які не зазнали впливу мутагенних чинників у процесі професійної діяльності (умовний контроль). Використано класичний метод аналізу хромосом. Показано, що частота цитогенетичних пошкоджень у персоналу підприємства вірогідно вища спонтанного рівня в групі умовного контролю. Професійний стаж та інтегральні дози зовнішнього опромінення персоналу обох цехів не відрізняються. У персоналу цеху дезактивації РАВ, який підпадає додатково і під вплив хімічних і фізичних факторів, встановлено вірогідно підвищену частоту хромосомних аберацій, зокрема за рахунок специфічних цитогенетичних маркерів опромінення. Виявлено кореляційний зв'язок між інтегральними дозами зовнішнього опромінення персоналу і частотою сумарних аберацій хромосом, аберацій хромосомного типу, стабільних міжхромосомних обмінів.

Ключові слова: професійне опромінення, хімічні фактори, аберації хромосом, лімфоцити.

Вступ

ДСП «Комплекс» – це головне підприємство в зоні відчуження ЧАЕС по поводженню РАВ та дезактивації. Підприємство забезпечує експлуатацію основних об'єктів, пов'язаних зі зберіганням, переробкою і дезактивацією РАВ.

Персонал підприємства виконує такі роботи: захоронення твердих РАВ і обслуговування пунктів захоронення – цех захоронення РАВ;

експлуатація й забезпечення безпеки дев'яти пунктів тимчасової локалізації РАВ (обстеження територій пунктів із метою виявлення траншей та буртів із РАВ, відбір із них проб для визначення радіонуклідного складу РАВ, огляд сховищ, видалення рослинності в траншеях і на буртах, відновлення захисного шару ґрунту, завантаження і перезахоронення РАВ) – цех поводження з РАВ;

дезактивація радіаційно-забруднених обладнання, транспорту, матеріалів із застосуванням занурювального, пароежекторного, гідроабразивного та механічного методів за умов впливу додатково до радіаційних чинників також і хімічних (концентрованого луґу, кислот, оксиду азоту) і фізичних (підвищена температура, вологість повітря 78 - 94 %, шум) чинників – цех дезактивації [1].

На сьогодні одним із найважливіших завдань на підприємстві лишається контроль впливу на персонал опромінення в малих дозах і їхньої поєднаної дії з іншими небезпечними чинниками.

При вивченні мутагенних ефектів радіаційного і хімічного впливу на організм людини застосовують цитогенетичні методи, а саме валідований метод аналізу хромосомних аберацій у лімфоцитах периферійної крові [2, 3]. Такий аналіз дає змогу за наявності й частотою специфічних маркерів ідентифікувати факт і природу мутагенного впливу і провести оцінку ступеня враження організму з урахуванням його індивідуальної чутливості [2].

Метою даного дослідження є оцінка рівня хромосомних аберацій у лімфоцитах периферійної крові персоналу ДСП «Комплекс», індукованих пролонгованим впливом професійних радіаційних і хімічних чинників.

Суб'єкти обстеження й методика дослідження

Обстеження проведено в 2010 р. Усього із персоналу ДСП «Комплекс» обстежено 20 осіб (17 чоловіків і 3 жінки віком від 34 до 58 років), які постійно проживають у Києві (13 осіб), Іванківському районі Київської області (1 особа), Славутичі (5 осіб), Каневі (1 особа) і працюють на підприємстві у вахтенному режимі (15/15 днів) упродовж 5 - 21 року. Із них 9 осіб – робітники цеху поводження з РАВ і 11 осіб – робітники цеху дезактивації РАВ. Індивідуальний дозконтроль персоналу підприємства здійснює лабораторія ДСНВП «Екоцентр». Згідно з наданими ними даними, інтегральні ефективні еквівалентні дози зовнішнього опромінення за період роботи

на підприємстві становили 5,67 - 60,59 мЗв (визначали методом термолюмінесцентної дозиметрії). Усі обстежені особи, окрім однієї, зазнали зовнішнього опромінення у межах професійних лімітів без перевищення контрольного рівня річних індивідуальних ефективних доз (5 мЗв). У однієї особи із цеху поводження з РАВ доза зовнішнього опромінення за 2009 р. становила 10,17 мЗв. Середньорічні дози опромінення на одного працівника підприємства в останні п'ять років до нашого обстеження коливалися в межах 1,20 - 1,58 мЗв. Контроль внутрішнього опромінення здійснюється за визначенням надходження в організм гамма-випромінюючих радіонуклідів шляхом прямого вимірювання активності ^{137}Cs на спектрометрі випромінювання людини. Ні у кого з обстежених робітників не виявлено перевищення контрольного рівня річного надходження гамма-випромінюючих радіонуклідів, що становить 11000 Бк [1].

Для порівняння обстежено 20 клінічно здорових осіб (14 жителів Києва і 6 жителів Славутича) у віці 32 - 58 років, які не мали професійних

контактів із радіаційними і хімічними чинниками – група умовного контролю. Група сформована з урахуванням частково регіону постійного проживання та статі, звичок до паління, вживання лісових грибів і ягід відповідно до обстеженого персоналу. Розподіл осіб за віком у групах персоналу і умовного контролю не відрізнявся.

На час обстеження ні у кого з осіб не було виявлено гострих і загострення хронічних захворювань, а діагностована вірусна інфекція була не раніше, ніж за шість місяців до забору зразків крові.

Усі особи були залучені до обстеження за умов поінформованої згоди. Обстеження супроводжувалося опитуванням за розробленою анкетною, що містила запитання про професійну діяльність у сфері впливу іонізуючої радіації, можливі контакти з мутагенними чинниками, географію проживання, життєві звички, раціон харчування, стан здоров'я тощо.

Характеристика обстежених груп наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика обстежених груп

Група (n)	Вік, роки	Професійний стаж, роки	Доза зовнішнього опромінення, мЗв	Вміст ^{137}Cs в організмі у 2009 - 2010 рр., Бк	Хімічні, фізичні фактори
Цех поводження з РАВ (9)	34 - 55 45,33 ± 2,31	6 - 19 13,11 ± 1,59	12,75 - 57,24 32,23 ± 4,92	МДА* - 3764	-
Цех дезактивації (11)	34 - 58 44,82 ± 2,57	5 - 21 14,00 ± 1,31	5,67 - 60,59 28,51 ± 4,85	МДА* - 1324	NaOH, H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄ , H ₂ C ₂ O ₄ , HNO ₃ , KMnO ₄ , NO, вологість повітря 78 - 94 %, підвищена t°
Умовний контроль (20)	32 - 58 43,60 ± 1,70	-	-	-	-

* Мінімальна активність, що визначається, дорівнює 185 Бк.

Зразки венозної крові для дослідження брали у вакутейнери з напиленим гепарином ("Vecton Dickison", Англія). Культивування клітин крові та приготування цитогенетичних препаратів проводили згідно з [2] з деякими модифікаціями. Тривалість культивування 48 год. Цитогенетичний аналіз лімфоцитів крові проводили класичним методом із груповим каріотипуванням. Усього проаналізовано 14460 метафазних пластинок (від однієї особи 300 - 500), що відповідали стандартним вимогам [2]. Враховували структурні аберації: хроматидного типу (поодинокі фрагменти та обміни) і хромосомного типу (вільні парні фрагменти, точкові парні фрагменти,

ацентричні кільця, дицентричні та кільцеві хромосоми, атипіві моноцентрики). Ізохроматидні фрагменти враховували як парні. Пробіли не враховували. Визначали частоту абераційних клітин та аберацій хромосом із розрахунку на 100 проаналізованих клітин. Аналізували розподіл аберацій за клітинами.

Результати досліджень опрацьовано статистично з використанням комп'ютерної програми "Statistika". Вірогідність відмінностей між групами оцінювали за точним критерієм Фішера [5], залежність індивідуальних цитогенетичних ефектів від доз опромінення – за кореляційним аналізом рангів Спірмена [6].

Результати та обговорення

Узагальнені результати цитогенетичного обстеження персоналу ДСП “Комплекс” і осіб умовного контролю представлено в табл. 2.

Зіставлення середньої частоти цитогенетичних показників у групах робітників кожного з цехів підприємства (і цеху поводження з РАВ, і цеху дезактивації РАВ) із частотою показників у групі осіб умовного контролю виявило в персоналі вірогідне перевищення частоти аберацій хромосом метаз і сумарних аберацій хромосом переважно за рахунок аберацій хромосомного типу, а саме міжхромосомних обмінів – дицентричних + кільцевих хромосом й атипичних моноцентриків, а також вільних парних фрагментів. Крім цього, у персоналі цеху дезактивації виявлено й вірогідне збільшення інтерстечіальних делецій, що є внутрішньохромосомними обмінами, та аберацій хроматидного типу. Останні вважаються специфічними для дії хімічних мутагенів.

Порівняльний аналіз частоти пошкоджень хромосом у лімфоцитах крові в групах персоналу обох цехів показав, що робітники цеху дезактивації РАВ зазнають вірогідно більшого мутагенного навантаження, ніж робітники цеху поводження з РАВ. Це виявляється за більшим рівнем аберацій хромосом усіх разом (в 1,4 рази), сумарних аберацій хромосомного типу (в 1,6 рази), за рахунок міжхромосомних обмінів як стабільних – атипичних моноцентриків (в 2,3 рази), що відображають переважно минуле опромінення, так і нестабільних – дицентричних + центричних кілець із супровідними фрагментами (в 4 рази), що вказує на триваючий процес мутагенезу.

Виявлено і тенденцію до збільшення частоти дицентриків + центричних кілець без фрагментів і внутрішньохромосомних обмінів ($p < 0,1$). При цьому робітники обох цехів, за наданою нам інформацією, мають однаковий професійний стаж на підприємстві й отримали близькі дози зовнішнього опромінення, а діапазон вмісту цезію в організмі за два останні роки перед нашим обстеженням у робітників цеху поводження з РАВ навіть більший (див. табл. 1). У той же час персонал цеху дезактивації зазнає додатково дії ряду агресивних хімічних аерозолів (іноді навіть із перевищенням гранично допустимих концентрацій в 1,4 - 1,5 рази) в умовах підвищеної температури і вологості. Частота аберацій хроматидного типу у них не перевищує таку в групі робітників цеху поводження з РАВ, хоча, на відміну від останніх, вірогідно вища, ніж у групі умовного контролю. Отже, у працівників, які одночасно підпадають під вплив і радіаційних, і хімічних

чинників під час виконання робіт із дезактивації, виявлено посилення ефекту дії радіації.

Аналіз поклітинного розподілу аберацій хромосом виявив, що більшість аберацій клітин у групах персоналу, як і в групі умовного контролю, містили по одній аберації. Серед аберацій лімфоцитів у групі робітників цеху поводження з РАВ близько 5 % клітин і в групі робітників цеху дезактивації РАВ 10 % клітин містили по дві-три аберації. У групі умовного контролю зафіксовано 1,7 % таких клітин. Міжгрупове зіставлення частоти клітин із декількома абераціями хромосомного типу, серед яких одна чи дві аберації представлені міжхромосомним обміном, не виявили вірогідних відмінностей між персоналом обох цехів. Частота таких клітин достеменно перевищувала спонтанний рівень умовного контролю тільки в групі робітників цеху дезактивації РАВ. У деяких осіб цієї групи спостерігали по декілька таких клітин. Крім того, нами були виявлені одна мультиабераційна клітина, що містила 8 ацентриків (у особи з цеху поводження з РАВ), та поодинокі клітини з фрагментованою хромосоною (у осіб обох цехів). У осіб групи умовного контролю такі клітини не виявляли.

Природа таких клітин дискутується. Ряд авторів вказують на їхнє вірусне походження [7, 8]. Оскільки персонал ДСП “Комплекс” упродовж багатьох років працює в умовах хронічного впливу іонізуючого опромінення, цілком імовірно ослаблення їхнього імунітету й можливість наявності прихованої вірусної інфекції. Але зважаючи на те, що обстежені особи працюють в умовах можливого інгаляційного надходження до організму радіонуклідів ^{137}Cs , ^{90}Sr та трансуранових елементів, ми не виключаємо і ймовірність появи таких порушень за рахунок внутрішнього опромінення, що потребує подальшого дослідження. Служба дозиметрії контролює вміст в організмі персоналу лише ^{137}Cs раз на рік. До того ж клітини з фрагментованим хромосомним матеріалом ми спостерігали і у осіб із персоналу підрядних організацій об’єкта “Укриття”, який виконує роботи з будівництва нового конфайнмента, і в їхніх добових пробах калу було виявлено в невеликій кількості $^{239+240}\text{Pu}$ [9].

Аналіз зв’язку між індивідуальними значеннями інтегральних доз зовнішнього опромінення і частоти різних пошкоджень хромосом у лімфоцитах крові персоналу (за коефіцієнтами кореляції рангів Спірмена) виявив позитивну кореляцію з частотою аберацій хромосом усіх разом, сумарних аберацій хромосомного типу і аномальних моноцентриків – стабільних специфічних маркерів радіаційного впливу; у робітників цеху поводження з РАВ також виявлено кореляцію з

Таблиця 2. Цитогенетичні пошкодження в культурі лімфоцитів крові персоналу ДСП "Комплекс" і осіб умовного контролю

Група (n)	Кількість проанализованих метафаз	Метафази з абераціями хромосом	Аберації хромосом усі разом	Хроматидний тип, усього	Хромосомний тип							Усього
					Вільні парні фрагменти	Точкові парні фрагменти, ацентричні кільця	Дисцентрики + центричні кільця			Атипові моноцентрики		
							з фрагментами	без фрагментів	усього			
Цех поводження з РАВ (9)	3 445	^{a**} 4,76 ± 0,37 (164) 3,49 - 6,00	^{a**} 5,25 ± 0,39 (181) 3,81 - 8,00	2,53 ± 0,27 (87) 1,89 - 3,00	^{a*} 1,45 ± 0,20 (50) 0,21 - 4,00	0,29 ± 0,09 (10) 0 - 0,83	0,09 ± 0,05 (3) 0 - 0,28	^{a*} 0,38 ± 0,10 (13) 0 - 0,84	^{a*} 0,46 ± 0,12 (16) 0 - 1,05	^{a**} 0,52 ± 0,12 (18) 0,28 - 0,80	^{a**} 2,73 ± 0,28 (94) 0,85 - 6,11	
Цех дезактивації РАВ (11)	3 864	^{a**} ^{b**} 6,44 ± 0,41 (249) 5,00 - 8,00	^{a**} ^{b**} 7,27 ± 0,44 (281) 5,33 - 8,88	^{a*} 3,03 ± 0,28 (117) 2,22 - 4,00	^{a**} 1,55 ± 0,20 (60) 0,67 - 1,98	^{a**} 0,49 ± 0,11 (19) 0 - 0,82	^{b**} 0,36 ± 0,10 (14) 0 - 0,67	^{a**} 0,62 ± 0,13 (24) 0,29 - 1,00	^{b**} 0,98 ± 0,16 (38) 0,55 - 1,60	^{a**} 1,22 ± 0,18 (47) 0 - 2,46	^{b**} 4,24 ± 0,33 (164) 2,54 - 6,65	
Умовний контроль (20)	7 151	3,34 ± 0,22 (239) 1,60 - 5,67	3,54 ± 0,22 (253) 1,60 - 5,67	2,25 ± 0,18 (161) 0,80 - 4,66	0,78 ± 0,10 (56) 0,29 - 1,61	0,13 ± 0,04 (9) 0 - 0,62	0,03 ± 0,02 (2) 0 - 0,29	0,14 ± 0,04 (10) 0 - 0,67	0,17 ± 0,05 (12) 0 - 0,67	0,21 ± 0,05 (15) 0 - 0,67	1,30 ± 0,13 (92) 0,58 - 2,20	

Примітка. Вірогідність відмінності: ^a - між групами персоналу та порівняння; ^b - між групами персоналу обох цехів; * p < 0,05, ** p > 0,01, точний критерій Фішера.

частотою вільних парних фрагментів (табл. 3). Мінімальне значення коефіцієнта рангової кореляції, при якому зв'язок можна вважати значи-

мим із надійністю $p = 0,05$, при кількості обстежених осіб 9 дорівнює 0,633, а при кількості осіб 11 – 0,564.

Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції частоти цитогенетичних ефектів у лімфоцитах крові з дозами зовнішнього опромінення персоналу ДСП “Комплексе” (за індивідуальними показниками; за Спірменом)

Група (n)	Структурні аберації хромосом					
	сумарні	хроматидний тип	хромосомний тип	вільні парні фрагменти	дицентрики + центричні кільця	атипові моноцентрики
Цех поводження з РАВ (9)	*0,767	0,061	*0,750	*0,850	0,544	*0,783
Цех дезактивації РАВ (11)	*0,700	0,064	*0,600	0,328	0,318	*0,601

* Вірогідний зв'язок при $p \leq 0,05$.

Висновки

1. Частота цитогенетичних пошкоджень у лімфоцитах периферійної крові осіб із груп персоналу підприємства по поводженню з РАВ і дезактивації ДСП “Комплексе” у зоні відчуження ЧАЕС вірогідно вища спонтанного рівня в клітинах групи осіб умовного контролю.

2. За умов одночасного впливу на персонал цеху дезактивації РАВ радіаційних і хімічних чинників посилюється ефект дії радіації, що виявляється за вірогідно підвищеною частотою

специфічних цитогенетичних маркерів опромінення порівняно з такою у персоналу цеху поводження з РАВ.

3. Аналіз залежності цитогенетичних ефектів від інтегральних доз хронічного зовнішнього опромінення в групах персоналу ДСП “Комплексе” виявив наявність вірогідного кореляційного зв'язку з частотою сумарних аберацій хромосом, аберацій хромосомного типу, стабільних міжхромосомних обмінів, а у персоналу цеху поводження з РАВ також із частотою вільних парних фрагментів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Про безпеку* провадження діяльності з переробки, зберігання та захоронення радіоактивних відходів за 2009 (щорічний звіт ДСП по поводженню з радіоактивними відходами та дезактивації “Комплексе”). - 87 с.
2. *Бочков Н.П.* Хромосомы человека и облучение. - М.: Атомиздат, 1971. - 168 с.
3. *Cytogenetic analysis for radiation dose assessment.* Technical Reports Series No. 405. - Vienna: IAEA, 2001. - 127 p.
4. *Захаров А.Ф., Бенюш В. А., Кулешов Н.П., Барановская Л.И.* Хромосомы человека (атлас) АМН СССР. - М.: Медицина, 1982. - 264 с.
5. *Урбах В.Ю.* Математическая статистика для биологов и медиков. - М.: Изд-во АН СССР. - 1963. - 323 с.
6. *Гублер Е.В., Генкин А.А.* Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. - Л.: Изд-во «Медицина», 1973. - 141 с.
7. *Nichols Warren W.* The Role of Viruses in the Etiology of Chromosomal Abnormalities // Amer. J. of Human Genetics. - 1966. - Vol. 18, No. 1. - P. 81 - 92.
8. *Neel J.V., Major E.O., Awa A.A. et al.* Hypothesis. “Rogue cell” - type chromosomal damage in lymphocytes is associated with infection with the JC human polyoma virus and has implications for oncogenesis // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. - 1996. - Vol. 93. - P. 2690 - 2695.
9. *Бездробна Л.К., Тарасенко Л.В., Циганок Т.В. та ін.* Результати цитогенетичного обстеження групи персоналу, який виконує роботи з будівництва нового безпечного конфайнмента в зоні ЧАЕС // Проблеми радіаційної медицини і радіобіології. - 2012. - Вип. 17. - С. 127 - 135.

Л. В. Тарасенко, Т. В. Цыганок, Л. К. Бездробная, Ю. А. Носач, О. Ф. Сениук

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ
НА ПЕРСОНАЛ ГОСУДАРСТВЕННОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ И ДЕЗАКТИВАЦИИ «КОМПЛЕКС»
В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС**

Представлены результаты сравнительного цитогенетического анализа групп персонала двух цехов (обращения с радиоактивными отходами (РАО) и дезактивации РАО) ГСП «Комплекс» в зоне отчуждения ЧАЭС и лиц, которые не подвергались влиянию мутагенных факторов в процессе профессиональной деятельности (условный контроль). Использован классический метод анализа хромосом. Показано, что частота цитогенетических повреждений у персонала предприятия достоверно выше спонтанного уровня в группе условного контроля. Профессиональный стаж и интегральные дозы внешнего облучения персонала обоих цехов не отличаются. У персонала цеха дезактивации РАО, который подвергается дополнительно влиянию химических и физических факторов, выявлено достоверное повышение частоты хромосомных aberrаций, в частности за счет специфических цитогенетических маркеров облучения. Выявлено корреляционную связь между интегральными дозами внешнего облучения персонала и частотой суммарных aberrаций хромосом, aberrаций хромосомного типа, стабильных межхромосомных обменов.

Ключевые слова: профессиональное облучение, химические факторы, aberrации хромосом, лимфоциты.

L. V. Tarasenko, T. V. Tsyganok, L. K. Bezdrobna, Yu. O. Nosach, O. F. Seniuk

**BIOLOGICAL INDICATION OF PRODUCTION CONDITION INFLUENCE
ON THE STAFF OF STATE SPECIALIZED ENTERPRISE
FOR RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT AND DESACTIVATION “COMPLEX”
IN CHORNOBYL EXCLUSION ZONE**

Results of comparative cytogenetical examination of two groups are presented. First group is staff from two workshops (RAW management and RAW deactivation) of SJE “Complex” in Chernobyl exclusion zone. Second group consists of the persons who had no mutagenic factors influence during their professional activity (conditional control). Classical chromosome analysis method was used. It was found chromosome damages frequency in staff is significantly higher than spontaneous level in conditional control group. Professional experience duration and external exposure integral doses of both workshops staff do not differ. Staff of RAW deactivation workshop, who is additionally influenced by chemical and physical factors, has significantly higher chromosome aberration frequency, particularly due to specific cytogenetical markers of exposure. Correlation between external exposure integral doses and total chromosome aberration frequency, chromosome type aberration frequency, stable interchromosomal exchanges frequency was found.

Keywords: occupational exposure, chemical factors, chromosomal aberrations, lymphocyte.

Надійшла 02.11.2012
Received 02.11.2012