

Л. К. Бездробная<sup>1</sup>, Л. В. Тарасенко<sup>1</sup>, Т. В. Цыганок<sup>1</sup>, Т. В. Мельник<sup>1</sup>,  
В. А. Курочкина<sup>1</sup>, В. А. Сушко<sup>2</sup>, С. Ю. Нечаев<sup>2</sup>, Л. И. Швайко<sup>2</sup>, Е. А. Колосинская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Государственное предприятие «Национальный научный центр радиационной медицины» НАМН Украины (ННЦРМ), Киев

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПЕРЕОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПОДРЯДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГСП ЧАЭС

Проведено цитогенетическое обследование двух групп персонала подрядных организаций ГСП ЧАЭС, которые выполняли работы по подготовке котлованов для строительства нового конфайнмента (22 рабочих) и демонтажу вентиляционной трубы объекта «Укрытие» (12 рабочих). Выявлено трех лиц, у которых индивидуальная частота специфических маркеров облучения - дицентрических хромосом с сопровождающими фрагментами достоверно превышала среднепопуляционные уровни и среднюю частоту в группах сравнения из лиц, не имевших профессиональных контактов с ионизирующей радиацией, что свидетельствует о вероятности их дополнительного надфонового облучения при выполнении работ в зоне ЧАЭС. Рассчитанные по частоте дицентрических хромосом ориентировочные «биологические» дозы их облучения указывают на более существенное влияние радиационного фактора, чем это следовало из данных физической дозиметрии.

*Ключевые слова:* аберрации хромосом, культура лимфоцитов крови, цитогенетическая дозиметрия, персонал, объект «Укрытие».

### Введение

В настоящее время в зоне ГСП ЧАЭС активно выполняются работы по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, а именно сооружение нового конфайнмента «Арка». Поставленные производственные задачи выполняются в условиях воздействия высокоактивных открытых источников ионизирующего излучения (ИИИ) при наличии также общепромышленных опасных факторов. Экстремальные радиационно-гигиенические условия на рабочих местах требуют обеспечения тщательного медицинского и дозиметрического сопровождения работ. Действующая комплексная программа медицинского и биофизического контроля персонала, привлеченного к работам, предусматривает кроме входного, периодического, индивидуального инспекционного и заключительного контроля также специальный контроль. Последний представляет собой углубленное детальное медицинское обследование, включающее цитогенетические методы. Специальному контролю подвергаются лица, у которых в суточных пробах кала были выявлены измеряемые уровни  $^{239+240}\text{Pu}$  (свыше 1,5 мБк на пробу), или лица с подозрением на внешнее переоблучение [1].

Наиболее используемым методом цитогенетической индикации и дозиметрии относительно недавнего радиационного воздействия является классический метод анализа хромосомных

повреждений в лимфоцитах периферической крови [2, 3]. Биологическая дозиметрия, использующая в качестве биомаркеров облучения дицентрические хромосомы, хотя и имеет ограничения в области малых доз, очень важна, поскольку, в отличие от измерения дозы физическими методами, учитывает индивидуальную радиочувствительность организма.

Цель исследования – цитогенетическая индикация и оценка дозы возможного переоблучения персонала подрядных организаций при выполнении работ по преобразованию объекта «Укрытие» ГСП ЧАЭС в экологически безопасную систему.

### Материалы и методы исследования

Обследованы две группы лиц из персонала подрядных организаций ГСП ЧАЭС, выполняющего работы в локальной зоне объекта «Укрытие»: в 2010 - 2011 гг. – по подготовке котлованов для нового конфайнмента (22 человека), в 2013 г. – по демонтажу вентиляционной трубы объекта «Укрытие» (12 человек). Для сравнения параллельно были обследованы лица, не имевшие профессионального контакта с ИИИ. Группы сравнения формировали из лиц, которые, как и персонал, не имели в анамнезе заболеваний, входящих в перечень медицинских противопоказаний для работы с ИИИ [4]. Учитывали возраст, регион проживания персонала, употребление местных продуктов питания (для жителей зон

© Л. К. Бездробная, Л. В. Тарасенко, Т. В. Цыганок, Т. В. Мельник, В. А. Курочкина, В. А. Сушко, С. Ю. Нечаев, Л. И. Швайко, Е. А. Колосинская, 2016

Таблица 1. Характеристика групп обследования

Год обследования	Группа	п. лиц	Возраст, годы Диапазон, средний	Регион проживания (зона радиационного загрязнения), п. лиц	Курение, п. лиц		Доза облучения, мЗв суммарная / за последний цикл работы	
					да	нет	внешнего	внутреннего*
2010 - 2011	Персонал по подготовке котлованов	22	20 - 39 29,5	Киевская обл., г. Славутич (4) – 5 Черниговская обл. (4) – 1 г. Чернигов и обл. – 5 г. Ровно и обл. – 2 Хмельницкая обл., г. Нетешин – 2 Полтавская обл. – 2 г. Донецк и обл. – 2 Херсонская обл., г. Новая Каховка – 1 Сумская обл. – 2	20	2	1,60 - 28,69 / 1,27 - 12,78	0,2 - 1,6 / 0,2 - 0,5
					18	4	0	0
2013	Персонал по демонтажу вентиляционной трубы	12	25 - 51 38,7	Ровенская обл., г. Кузнецовск (4) – 7 Херсонская обл., г. Новая Каховка – 1 Хмельницкая обл., г. Нетешин – 1 Днепропетровская обл., г. Желтые воды – 2 г. Полтава – 1	6	4	4,91 - 75,52 / 4,91 - 14,83	0 - 1,8 / 0
					9	4	1	0

\* Контрольный уровень индивидуальной дозы внутреннего облучения на ГСП ЧАЭС составляет 3 мЗв/год.

радиоактивного загрязнения вследствие аварии на ЧАЭС) и вредные привычки (курение, алкоголь). Для персонала, проживающего в населенных пунктах вне зон радиоактивного загрязнения, для сравнения подобраны лица из жителей Киева. Все дали добровольное согласие на участие в обследовании.

Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения персонала осуществлялся с помощью системы "Harshow" сотрудниками цеха радиационной безопасности ГСП ЧАЭС, а внутреннего облучения – биофизическими методами (радиохимический, радиометрический, спектрометрический анализ) в лаборатории внутреннего облучения ННЦРМ. Характеристика обследованных групп представлена в табл. 1.

Образцы венозной крови для исследования брали у персонала в клинике ННЦРМ во время прохождения специального медицинского и биофизического контроля (через 1-2 недели после прекращения работ в зоне объекта «Укрытие»), а у лиц группы сравнения – по месту проживания на базе медицинских учреждений. Образцы крови брали в вакутейнеры с напыленным гепарином ("Becton Dickinson", Великобритания).

Культивирование клеток крови и приготовление цитогенетических препаратов проводили согласно [3] с некоторыми модификациями. Продолжительность культивирования составляла 48 ч. Цитогенетический анализ лимфоцитов крови проводили классическим методом. Учитывали нестабильные aberrации хромосомного типа: дицентрические и кольцевые хромосомы с со-

провождающим фрагментом, свободные ацентрики (парные фрагменты, точечные парные фрагменты, ацентрические кольца). Изохроматидные фрагменты учитывали как парные. Пробелы не учитывали. Определяли частоту aberrаций хромосом из расчета на 100 проанализированных метафазных пластинок.

Для определения статистической значимости различия между группами подрядного персонала и сравнения по частоте дицентриков использовали точный критерий Фишера [2], ацентриков – t-критерий Стьюдента.

### Результаты исследования и обсуждение

Ионизирующее излучение индуцирует в лимфоцитах периферической крови человека главным образом aberrации хромосомного типа. Наиболее объективными маркерами относительно недавнего облучения являются нестабильные хромосомные обмены – дицентрики и центрические кольца с сопровождающим парным ацентрическим фрагментом. При обследовании представленных групп подрядного персонала центрические кольца с фрагментом выявлены не были. Нестабильными маркерами облучения также являются свободные ацентрические фрагменты, возникающие независимо от хромосомных обменов. Среднегрупповые результаты анализа частоты нестабильных хромосомных aberrаций в культуре лимфоцитов групп подрядного персонала и соответствующих групп сравнения представлены в табл. 2.

Таблица 2. Нестабильные aberrации хромосомного типа в культуре лимфоцитов периферической крови групп подрядного персонала и сравнения (абсолютное количество, частота на 100 клеток  $\pm$  SE, индивидуальный разброс)

Год обследования	Подрядный персонал			Группа сравнения		
	количество проанализированных метафаз	дицентрики с парным фрагментом	свободные ацентрики	количество проанализированных метафаз	дицентрики с парным фрагментом	свободные ацентрики
2010 - 2011	9 898	(14) 0,14 $\pm$ 0,04 0 - 0,60	(159) 1,61 $\pm$ 0,13* 0,48 - 2,72	8 151	(6) 0,07 $\pm$ 0,03 0 - 0,30	(101) 1,24 $\pm$ 0,12 0,33 - 2,75
2013	5 859	(13) 0,22 $\pm$ 0,06** 0 - 1,0	(131) 2,24 $\pm$ 0,19** 1,33 - 3,33	6 425	(2) 0,03 $\pm$ 0,02 0 - 0,24	(98) 1,52 $\pm$ 0,15 0,26 - 2,75

Примечание. SE – стандартная ошибка среднего значения: \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01 - 0,001$ .

Обследованный персонал, выполняющий работы по подготовке котлованов для нового конвейерного цеха, работал в зоне объекта «Укрытие» в 2005 - 2010 гг. Продолжительность последнего цикла работы составляла от 2 до 18 месяцев. До

выполнения работ в зоне объекта «Укрытие» персонал группы не имел ранее профессиональных контактов с ИИИ.

Как видно из табл. 2, средняя частота дицентриков с сопровождающим фрагментом – основ-

ных aberrаций, используемых для биологической дозиметрии недавнего облучения, – у лиц данной группы персонала составляла  $0,14 \pm 0,04$  на 100 метафаз и достоверно не отличалась от таковой соответствующей группы сравнения –  $0,07 \pm 0,03$  на 100 метафаз ( $p > 0,05$ ). По данным [5 - 8], среднепопуляционные спонтанные частоты дицентриков с фрагментом в лимфоцитах крови необлученных людей варьируют от  $0,02 \pm 0,01$  до  $0,2 \pm 0,05$  на 100 метафаз. В соответствии с [3] фоновый уровень дицентриков с фрагментом составляет чаще всего  $0,05 - 0,1$  на 100 клеток. Выявленные нами средние частоты нестабильных межхромосомных обменов в группе персонала и контрольной группе сравнения укладываются в диапазон значений среднепопуляционных спонтанных уровней, представленных в литературе. Однако анализ индивидуальных результатов обследования (в данной статье не представлены) показал, что в то время, как ни у кого из лиц контрольной группы не было выявлено более одного дицентрика, у одного рабочего (7 пС) выявлено три и у одного (42 пЧ) две дицентрические хромосомы с фрагментом с частотой  $0,60 \pm 0,35$  и  $0,44 \pm 0,31$  на 100 метафаз

соответственно. Последнее позволило предположить возможное относительно недавнее их облучение, хотя из предоставленных данных физической дозиметрии это не следовало. Доказательность факта облучения определяется фоновой частотой дицентриков (частотой в группе сравнения) и количеством фактически проанализированных лимфоцитов. Результаты сравнения по точному критерию Фишера количества дицентриков с фрагментом у 7 пС (житель г. Славутич) с их количеством в группе сравнения в целом и у пяти лиц из г. Славутич, представляющих региональный контроль, вошедший в общую группу сравнения, показали достоверные различия между ними с  $p < 0,05$  (табл. 3). Аналогичное сравнение для лица 42 пЧ (житель г. Чернигов) показало отсутствие отличий как от группы сравнения в целом, так и от регионального контроля,  $p > 0,05$  (см. табл. 3). Таким образом, можно утверждать, что рабочий 7 пС, выполнявший работы в зоне объекта «Укрытие» в течение 3 мес, получил дополнительное надфоновое облучение. Факт облучения в зоне объекта «Укрытие» рабочего 42 пЧ не выявлен.

Таблица 3. Значимость отличия  $p$  (согласно точному критерию Фишера) частоты дицентриков у лиц из групп подрядного персонала от контрольных уровней

Участок работы	Обследованные	Количество проанализированных метафаз	Дицентрики		$p$
			количество выявленных	частота на 100 метафаз	
Подготовка котлованов	7 пС	500	3	$0,60 \pm 0,35$	$< 0,05^*$ $< 0,05^{***}$
	42 пЧ	455	2	$0,44 \pm 0,31$	$> 0,05^*$ $> 0,05^{***}$
	Группа сравнения в целом (n = 22) *	8 151	6	$0,07 \pm 0,03$	
	Региональный контроль г. Славутич (n = 5) **	1 788	1	$0,06 \pm 0,06$	
	Региональный контроль г. Чернигов (n = 6) ***	2 448	3	$0,12 \pm 0,07$	
Демонтаж вентиляционной трубы	4 пКз	1000	4	$0,40 \pm 0,20$	$< 0,01^*$ $< 0,05^{**}$
	58 пКз	300	3	$1,00 \pm 0,57$	$< 0,01^*$ $< 0,01^{**}$
	Группа сравнения в целом (n = 14) *	6 425	2	$0,03 \pm 0,02$	
	Региональный контроль г. Кузнецовск (n = 7) **	3 405	1	$0,03 \pm 0,03$	

В 2013 г. была обследована группа из числа персонала, который выполнял работы по демонтажу вентиляционной трубы объекта «Укрытие». Из 12 обследованных лиц трое выполняли работы в условиях воздействия ИИИ впервые, а девять работали ранее в зоне объекта «Укрытие»

до 2009 - 2011 гг. Дицентрики с сопровождающим фрагментом были выявлены у семи лиц из этой группы персонала и у двух лиц из группы сравнения. Как представлено в табл. 2, их частота у персонала составляла в среднем  $0,22 \pm 0,06$ , а в группе сравнения –  $0,03 \pm 0,02$  на 100 клеток;

межгрупповые различия достоверны ( $p < 0,001$ ). У двух лиц персонала индивидуальная частота дицентриков достоверно превышала как частоту в группе сравнения, так и верхний предел среднепопуляционных спонтанных уровней. А именно у лиц 4 пКз и 58 пКз (жители г. Кузнецовск) дицентрики с фрагментом были выявлены с частотой  $0,40 \pm 0,20$  и  $1,00 \pm 0,57$  на 100 клеток соответственно (см. табл. 3). Сравнение по точному критерию Фишера частоты выявленных дицентриков у этих лиц с их частотой в группе сравнения в целом показало достоверные различия с  $p < 0,01$ . Частота дицентриков у лиц 4 и 58 пКз достоверно превышала и таковую у регионального контроля с  $p < 0,05$  и  $p < 0,01$  соответственно. Это позволило нам предположить, что они получили дополнительное облучение при работе в зоне объекта «Укрытие».

Свободные ацентрики, как было уже указано выше, также могут свидетельствовать о возможном облучении в малых дозах. Согласно данным литературы, их спонтанные среднепопуляционные уровни составляют от  $0,25 \pm 0,03$  до  $0,70 \pm 0,05$  на 100 метафаз [5 - 8]. Как видно из табл. 2, частота ацентриков в обеих группах сравнения превышала уровни, представленные в литературе. Известно, что увеличение частоты ацентриков является результатом облучения в малых дозах излучением с низкой линейной передачей энергии (ЛПЭ) [5, 9]. Вероятно, выявленная повышенная частота ацентриков у лиц сравнения обусловлена современной радиэкологической ситуацией в Украине и, возможно, расширением использования медицинских рентгенодиагностических процедур. В группе персонала по подготовке котлованов для нового конфайнмента частота ацентриков на 100 метафаз составляла  $1,61 \pm 0,13$ , а в группе по демонтажу вентиляционной трубы –  $2,24 \pm 0,19$ , что достоверно превышало таковые в соответствующих группах сравнения:  $1,24 \pm 0,12$  ( $p < 0,05$ ) и  $1,52 \pm 0,15$  ( $p < 0,01$ ). Последнее подтверждает влияние радиационного фактора на персонал при выполнении обозначенных работ в зоне объекта «Укрытие». Ацентрики были представлены в основном свободными парными фрагментами.

Цитогенетическая оценка поглощенных доз облучения обследуемых лиц базируется на сопоставлении частоты дицентриков в лимфоцитах периферической крови, выявленных *in vivo*, с калибровочной дозовой зависимостью их выхода при облучении *in vitro*. Для оценки ориентировочных средних индивидуальных доз облучения лиц подрядного персонала, мы использовали калибровочную кривую, полученную Н. А. Мазник и В. А. Винниковым при остром облучении об-

разцов крови  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$  в диапазоне доз до 1 Гр [10], которая описывается линейно-квадратичным уравнением

$$Y = 0,087 + 3,052 \cdot D + 6,236 \cdot D^2, \quad (1)$$

где  $Y$  – частота дицентриков на 100 клеток;  $D$  – доза, Гр.

Обследованные нами лица выполняли работы в зоне объекта «Укрытие» в вахтенном режиме (15 - 20 дней работы / 15 - 20 дней перерыв). Продолжительность работы в день составляла 1 - 5 ч. При таком режиме работы облучение персонала было фракционированным в течение длительного времени. Пробы крови для исследования у них брали через 1 - 2 недели после окончания цикла работы. В этих условиях большая часть радиационно-индуцированных повреждений ДНК, которые могут преобразоваться в хромосомные аберрации, репарировалась. Эффект фракционирования состоит в уменьшении коэффициента  $\beta$ -квадрата дозы в уравнении, описывающем зависимость «доза - выход дицентриков», и стремится к нулю при малых дозах облучения ( $< 1$  Гр) излучением с низкой ЛПЭ [3]. Исходя из этого, для оценки средних индивидуальных доз облучения лиц подрядного персонала мы использовали линейную часть уравнения (1). Следует указать, что по данным разных лабораторий коэффициенты дозовой зависимости выхода дицентриков варьируют в довольно широком диапазоне, в частности линейный коэффициент, с помощью которого оцениваются дозы пролонгированного низкодозного облучения, – от 1,1 до  $5,8 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Гр}^{-1}$  [11 - 14]. Используемый нами для расчета ориентировочных доз облучения линейный коэффициент из уравнения (1) приходится на середину интервала значений, представленных в литературе, и близок к значению, полученному при построении калибровочной кривой «доза - частота дицентриков» по суммарным данным анализа более 40 000 клеток сотрудниками восьми лабораторий [12]. 95 %-ный доверительный интервал «биологических» доз определяли исходя из пуассоновского характера выхода аберраций. Для этого пользовались представленной в [3] таблицей верхней и нижней границ 95 %-ного доверительного интервала для выявленного числа дицентриков. Погрешность, связанную с калибровочной кривой «доза - эффект», не учитывали, поскольку ее вклад относительно мал.

В качестве общего подхода для оценки низких доз облучения в [3] предлагается анализировать приблизительно по 500 метафаз от индивидуума. 95 %-ный доверительный интервал дозы, полученный на 500 клетках, считается достаточным.

В случаях подозрения значительного переоблучения рекомендуется увеличить количество проанализированных клеток до 1000. В то же время в [2] считают возможным оценивать низкие уровни облучения при анализе и менее 500 кле-

ток. Оценка ориентировочных доз облучения трех лиц из двух групп персонала была проведена нами по результатам анализа 1000 клеток у 4 пКз, 500 клеток у лица 7пС и 300 клеток у 58 пКз (табл. 4).

Таблица 4. Оценка дозы облучения по частоте дицентриков в культуре лимфоцитов периферической крови лиц подрядного персонала ГСП ЧАЭС

Участок работы	Код обследованного лица	Частота дицентриков на 100 клеток с 95 %-ным доверительным интервалом	Рассчитанная «биологическая» доза с 95 %-ным доверительным интервалом, мГр	Доза облучения по данным физической дозиметрии, мЗв суммарная / за последний цикл работы	
				внешнего	внутреннего
Подготовка котлованов	7 пС	0,6 (0,164 - 1,620)	168,0* (25,0 - 502,0)	5,82 / 5,82	0,2 / 0,2
			95,0** (19,9 - 272,2)		
Демонтаж вентиляционной трубы	4 пКз	0,4 (0,137 - 0,960)	102,5* (16,4 - 286,0)	23,83 / 9,95	0,4 / 0
			60,8** (15,3 - 157,9)		
	58 пКз	1,0 (0,27 - 2,70)	299,0* (60,0 - 856,0)	44,17 / 9,63	1,0 / 0
			164,88** (38,3 - 459,4)		

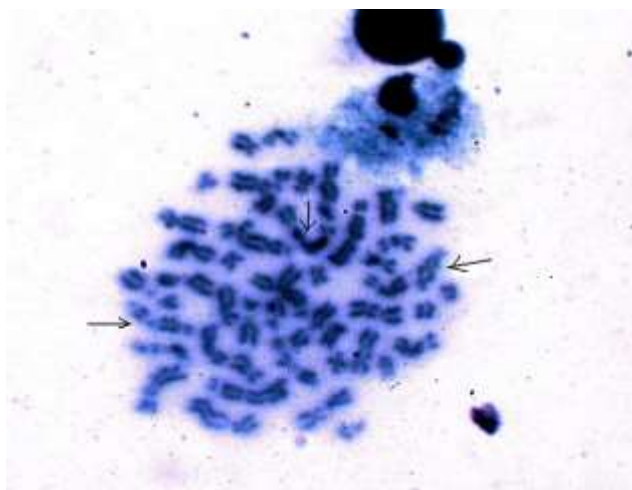
Примечание. Уравнения, используемые для расчета «биологической» дозы:

\*  $Y = 0,0870 + 3,05 D$  [10], \*\*  $Y = 0,0490 + 5,77 D$  [12].

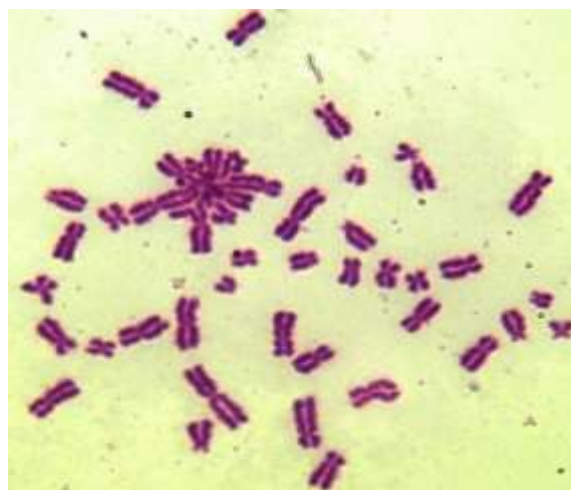
У двух последних лиц проанализировать большее количество клеток не представилось возможным. Хотя у 58 пКз проанализировано всего 300 метафаз, мы все же сочли целесообразным рассчитать для него дозу в качестве «сигнальной», чтобы указать на возможное переоблучение данного индивидуума. Даже если использовать для расчетов наибольшее из известных по данным литературы значение коэффициента  $\alpha$ , равное 5,77 [12], «биологические» дозы будут превышать верхний лимит дозы профессионального облучения, составляющий 50 мЗв за отдельный год [15] (см. табл. 4). Как видно из представленного, воздействие ИИИ на лиц персонала было более существенным, чем это следует из данных физической дозиметрии. Согласно [16 - 17], при облучении в дозах до 20 мГр превышение контрольного уровня дицентриков в лимфоцитах крови не выявляется. Хотя основную роль в формировании доз облучения подрядного персонала играет внешнее облучение, которое практически полностью обусловлено  $^{137}\text{Cs}$ , не исключено, что наличие дицентриков в лимфоцитах их крови было обусловлено и инкорпорацией  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , трансураниевых элементов в составе радиоактивных аэрозолей, присутствующих на рабочих местах в воздухе в зоне дыхания [18]. В частности, у рабочего 7 пС был установлен факт внутреннего облучения (см. табл. 4). Для повышения достоверности опреде-

ления доз мы в настоящее время выполняем исследование по построению собственной калибровочной кривой «доза - выход дицентриков».

У двух лиц подрядного персонала было выявлено по одной метафазной пластинке с множественными хромосомными aberrациями при отсутствии таковых у лиц из групп сравнения. Так, у рабочего из группы по демонтажу вентиляционной трубы выявлена пластинка, содержащая  $\approx 50 - 57$  хромосом, фрагментированную хромосому, дицентрик и трицентрик с сопровождающими парными фрагментами, множественные свободные ацентрические фрагменты, в том числе и точковые (рисунок, А). У рабочего из группы по подготовке котлованов была обнаружена клетка со сложным хромосомно-хроматидным обменом с участием, возможно, до 9 хромосом (рисунок, Б). Метафазные пластинки с множественными повреждениями не учитывали при определении частоты хромосомных aberrаций на 100 клеток у обследуемых лиц. В настоящее время накоплено достаточно большое количество данных, свидетельствующих о радиационной природе возникновения мультиабберрантных клеток [19], хотя не все исследователи согласны с такой точкой зрения [20, 21]. Ранее мы выявляли подобные клетки у постоянного персонала ГСП ЧАЭС и у самоселов 30-километровой зоны отчуждения ЧАЭС [22, 23].



А



Б

А – 57лКз (ХУ):  $\approx 50 - 57$  хромосом, дицентрик и трицентрик с сопровождающими парными фрагментами, свободные ацентрические фрагменты, точковые фрагменты. Б – 40 лЧ (ХУ): хромосомно-хроматидный обмен.

В группу персонала, выполнявшего работы по подготовке котлованов для нового конфайнмента, вошли лица, у которых при проведении поточного предсменного биофизического контроля в пробах кала было выявлено содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  сверх 1,5 мБк на пробу. Это позволяет предполагать, что выявленные две мультиабберрантные клетки могут быть следствием инкорпорации  $\alpha$ -радионуклидов. Однако их единичность подтверждает заключение, сделанное по результатам радиохимического анализа биопроб в рамках специального биофизического контроля, об отсутствии системного поступления  $^{239+240}\text{Pu}$  в организм подрядного персонала.

### Выводы

1. У одного из 22 обследованных лиц подрядного персонала группы по подготовке котлованов для нового конфайнмента и двух из 12 лиц группы по демонтажу вентиляционной трубы

объекта «Укрытие» индивидуальная частота дицентрических хромосом с сопровождающим фрагментом в лимфоцитах крови достоверно превышала верхний предел среднепопуляционных уровней и среднюю частоту в группах сравнения лиц, не имевших профессиональных контактов с ионизирующей радиацией.

2. Оцененные по частоте дицентрических хромосом ориентировочные индивидуальные «биологические» дозы облучения трех лиц подрядного персонала указывают на более существенное влияние на них радиационного фактора, чем это следует из данных физической дозиметрии.

3. Выявленные у подрядного персонала единичные мультиабберрантные клетки могут быть следствием инкорпорации  $\alpha$ -радионуклидов, присутствующих в воздухе на рабочих местах персонала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бебешко В.Г., Базика Д.А., Сушко В.О. та ін. Стан радіаційного захисту і здоров'я персоналу підприємств, що виконують роботи з перетворення об'єкта «Укриття» ДСП ЧАЕС на екологічно безпечну систему, за результатами створеного клініко-дозиметричного реєстру // Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. - 2009. - Вип. 14. - С. 40 - 57.
2. Биологическая индикация радиационного воздействия на организм человека с использованием цитогенетических методов. Медицинская технология № ФС-2007/015-У. - М., 2007. - 29 с.
3. Cytogenetic dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011. - 229 p.
4. Наказ МОЗ України від 21.05.07 р. № 246 «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій».
5. Balakrishnan S., Rao S.B. Cytogenetic analysis of peripheral blood lymphocytes of occupational workers exposed to low levels of ionising radiation // Mutat. Res. - 1999. - Vol. 442. - P. 37 - 42.
6. Stephan G., Pressl S. Chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes from healthy subjects as detected in first cell division // Mutat. Res. - 1999. - Vol. 446. - P. 231 - 237.
7. 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.
8. Севанькаев А.В., Хвостунов И.К., Снигерева Г.П. и др. Сравнительный анализ результатов цитогенетических обследований контрольных групп лиц в разных отечественных лабораториях // Радиацион-

- ная биология. Радиэкология. - 2013. - Т. 53, № 1. - С. 5 - 24.
9. Purrot R.J., Lloyd D.C., Dolphin G.W. et al. The study of chromosome aberration yield in human lymphocytes as indicator of radiation dose: III. A review of cases investigated: 1971 - 1972. NRPB-RIO. - 1973.
  10. 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.
  11. Воробцова И.Е., Воробьева М.В. Богомазова А.Н. и др. Зависимость частоты стабильных и нестабильных aberrаций хромосом от дозы облучения лимфоцитов человека in vitro // Радиационная биология. Радиэкология. - 1997. - Т. 37, № 2. - С. 233 - 239.
  12. Biological Dosimetry for persons irradiated by the Chernobyl accident / Eds D. C. Lloyd, A. V. Sevan'kaev. EUR Report № 16532. - Brussels: CEC, 1996.
  13. Suto Y., Hirai M., Akiyama M. et al. Biodosimetry of Restoration Workers for the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident // Health Physics. October 2013. - Vol. 105, No. 4. - P. 366 - 373.
  14. Martins V., Antunes A.C., Monteiro Gil O. Implementation of a dose-response curve for  $\gamma$ -radiation in the Portuguese population by use of the chromosomal aberration assay // Mutat. Res. - 2013. - Vol. 750. - P. 50 - 54.
  15. Норми радіаційної безпеки (НРБУ-97). - К.: МОЗ України, 1997. - 121 с.
  16. Pohl-Ruling J., Fescher P., Haas O. et al. Effect of low dose acute X-irradiation on the frequencies of chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes in vitro // Mutat. Res. - 1983. - Vol. 110, No. 1. - P. 71 - 82.
  17. Lloyd D.C., Edwards A.A., Leonard A. et al. Chromosomal aberrations in human lymphocytes induced in vitro by very low doses of X-rays // Int. J. Radiat. Biol. - 1992. - Vol. 61. - P. 335 - 343.
  18. Звіт про стан безпеки об'єкта «Укриття» за 2011 рік. ВТС 04 від 27.01.2012 р. - 50 с.
  19. Асеева Е.А., Снегирева Г.П., Неверова А.Л. и др. Клетки с множественными хромосомными нарушениями в группах лиц, подвергшихся облучению при различных ситуациях и их возможная биологическая роль // Радиационная биология. Радиэкология. - 2009. - Т. 49, № 5. - С. 552 - 562.
  20. Sevan'kaev A.V., Tsyb A.F., Lloyd D.C. et al. "Rogue" cells observed in children exposed to radiation from the Chernobyl accident // Int. J. Radiat. Biol. - 1993. - Vol. 63. - P. 361 - 367.
  21. Lloyd D.C., Lucas J.N., Edwards A.A. et al. A study of verify a reported excess of chromosomal aberrations in blood lymphocytes of Namibian uranium miners // Radiat. Res. - 2001. - Vol. 155. - P. 809 - 817.
  22. Bezdrobnaya L.K., Tarasenko L.V., Tsyganok T.V. et al. Cytogenetic effects in Chornobyl NPP Object "Shelter" personel // 4th Biennial Conf. "The health effects of low and very low dose exposure to ionizing radiation". - Hamilton, Ontario, Canada, 2005. - P. 43.
  23. Бездробная Л.К., Цыганок Т.В., Романова Е.П. и др. Динамическое исследование цитогенетических эффектов в лимфоцитах крови людей, несанкционированно проживающих в Зоне отчуждения Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиэкология. - 2002. - Т. 42, № 6. - С. 727 - 730.

Л. К. Бездробна<sup>1</sup>, Л. В. Тарасенко<sup>1</sup>, Т. В. Цыганок<sup>1</sup>, Т. В. Мельник<sup>1</sup>, В. А. Курочкіна<sup>1</sup>,  
В. О. Сушко<sup>2</sup>, С. Ю. Нечась<sup>2</sup>, Л. І. Швайко<sup>2</sup>, О. О. Колосинська<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

<sup>2</sup> Державне підприємство «Національний науковий центр радіаційної медицини» НАМН України (ННЦРМ), Київ

## ВИКОРИСТАННЯ ЦИТОГЕНЕТИЧНОЇ ДОЗИМЕТРІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОТЕНЦІЙНОГО ПЕРЕОПРОМІНЕННЯ ПЕРСОНАЛУ ПІДРЯДНИХ ПІДПРИЄМСТВ ДСП ЧАЕС

Проведено цитогенетичне обстеження двох груп персоналу підрядних організацій ДСП ЧАЕС, які виконували роботи з підготовки котлованів для будівництва нового конфайнмента (22 робітників) і демонтажу вентиляційної труби об'єкта «Укриття» (12 робітників). Виявлено трьох осіб, в яких індивідуальна частота специфічних маркерів опромінення – дицентричних хромосом із супроводжуючими фрагментами достовірно перевищувала середньопопуляційні рівні та середню частоту в групах порівняння із осіб, які не мали професійних контактів із радіаційним чинником, що свідчило про можливість їхнього додаткового надфонового опромінення при виконанні робіт у зоні ЧАЕС. Розраховані за частотою дицентричних хромосом орієнтовні «біологічні» дози їхнього опромінення вказують на більш суттєвий вплив на них радіаційного чинника, ніж це впливає із даних фізичної дозиметрії.

*Ключові слова:* хромосомні аберації, культура лімфоцитів крові, цитогенетична дозиметрія, персонал, об'єкт «Укриття».



L. K. Bezdrobna<sup>1</sup>, L. V. Tarasenko<sup>1</sup>, T. V. Tsyganok<sup>1</sup>, T. V. Melnyk<sup>1</sup>,  
V. A. Kurochkina<sup>1</sup>, V. O. Sushko<sup>2</sup>, S. Yu. Nechayv<sup>2</sup>, L. I. Shvayko<sup>2</sup>, O. O. Kolosynska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup> SI "National Research Centre for Radiation Medicine MAS of Ukraine" (NRCRM), Kyiv

## USING THE CYTOGENETIC DOSIMETRY FOR THE CONTROL OF POTENTIAL OVER EXPOSURE OF CONTRACTORS ENTERPRISES STAFF OF SSE ChNPP

Cytogenetic examination of two groups of contractors staff of SSE ChNPP who performed the work on the preparation of pits for the construction of the new confinement (22 workers), and the dismantling of the "Ukrytya" ventilation pipe (12 workers) was provided. There were revealed three individuals, who had individual frequency of specific markers of radiation (dysenteric chromosomes with accompanying fragments) significantly, exceeding the mean population levels and the average rate in the comparison groups of persons who had not occupational contacts with radiation factor. It indicated the probability of their additional background radiation while performing the work in the ChNPP zone. Calculated by dysenteric chromosomes frequency indicative "biological" doses of their irradiation show more significant impact of the radiation factor to them resulted from the data of physical dosimetry.

*Keywords:* chromosome aberrations, the culture of blood lymphocytes, cytogenetic dosimetry, the staff, the "Ukrytya" object.

### REFERENCES

1. *Bebeshko V.G., Bazyka D.A., Sushko V.O. et al.* 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 // *Problemy radiatsiinoyi medytsyny ta radiobiologiyi.* - 2009. - Iss. 14. - P. 40 - 57. (Ukr)
2. *Biological* indication of radiation influence on human body using cytogenetic methods // *Medical Technology* No. ФС-2007/015-У. - Moskva, 2007. - 29 p. (Rus)
3. *Cytogenetic* dosimetry: applications in preparedness for and response to radiation emergencies. - Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011. - 229 p.
4. *Rules of Medical Surveying for Personnel of Certain Categories.* The Decree of the Ministry of Health of Ukraine No. 246 (May 21.2007). (Ukr)
5. *Balakrishnan S., Rao S.B.* Cytogenetic analysis of peripheral blood lymphocytes of occupational workers exposed to low levels of ionising radiation // *Mutat. Res.* - 1999. - Vol. 442. - P. 37 - 42.
6. *Stephan G., Pressl S.* Chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes from healthy subjects as detected in first cell division // *Mutat. Res.* - 1999. - Vol. 446. - P. 231 - 237.
7. *Bochkov N.P., Chebotarov A.N., Kotosova L.D., Platonova V.I.* Data basis for analysis of quantitative characteristics of chromosome aberrations in human peripheral blood lymphocytes culture // *Russian Journal of Genetics.* - 2001. - Vol. 37, No. 4. - P. 549 - 57. (Rus)
8. *Sevan'kaev A.V., Hvostunov I.K., Snigiryova G.P. et al.* Comparative analysis of results on the cytogenetic examination of control groups individuals in different national laboratories // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* - 2013. - Vol. 53, No. 1. - P. 5 - 24. (Rus)
9. *Purrot R.J., Lloyd D.C., Dolphin G.W. et al.* The study of chromosome aberration yield in human lymphocytes as indicator of radiation dose: III. A review of cases investigated: 1971 - 1972. NRPB-RIO. - 1973.
10. *Maznyk N.A., Vinnikov V.A.* Calibration dose-response relationships for cytogenetic biodosimetry of recent and past exposure to low dose gamma-radiation // *Ukrainian Journal of Radiology.* - 2004. - No. 12. - P.415 - 425.
11. *Vorob'tsova I.E., Vorob'eva M.V., Bogomazova A.N. et al.* Dose dependence of stable and unstable chromosome aberrations in human lymphocytes  $\gamma$ -irradiated in vitro // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* - 1997. - Vol. 37, No. 2. - P. 233 - 239. (Rus)
12. *Biological* Dosimetry for persons irradiated by the Chernobyl accident / Eds D. C. Lloyd, A. V. Sevan'kaev. EUR Report No. 16532. Brussels: CEC, 1996.
13. *Suto Y., Hirai M., Akiyama M. et al.* Biodosimetry of Restoration Workers for The Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident // *Health Physics.* October 2013. - Vol. 105, No. 4. - P. 366 - 373.
14. *Martins V., Antunes A.C., Monteiro Gil O.* Implementation of a dose-response curve for  $\gamma$ -radiation in the Portuguese population by use of the chromosomal aberration assay // *Mutat. Res.* - 2013. - Vol. 750. - P. 50 - 54.
15. *Radiation Safety Standards (RSSU-97).* - Kyiv: Ministry of Health of Ukraine, 1997. - 121 p. (Ukr)
16. *Pohl-Ruling J., Fescher P., Haas O. et al.* Effect of low dose acute X-irradiation on the frequencies of chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes in vitro // *Mutat. Res.* - 1983. - Vol. 110, No. 1. - P. 71 - 82.
17. *Lloyd D.C., Edwards A.A., Leonard A. et al.* Chromosomal aberrations in human lymphocytes induced in vitro by very low doses of X-rays // *Int. J. Radiat. Biol.* - 1992. - Vol. 61. - P. 335 - 343.
18. *Safety* report of the "Shelter" object during 2011. VTS 04, 27.01.2012. - 50 p. (Ukr)
19. *Aseeva E.A., Snigiryova G.P., Neverova A.L. et al.* The multiabberant cells in groups people exposed to radiation due to different situations and their possible biological part // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* - 2009. - Vol.49, No. 5. - P. 552 - 562. (Rus)

20. *Sevan'kaev A.V., Tsyb A.F., Lloyd D.C. et al.* "Rogue" cells observed in children exposed to radiation from the Chernobyl accident // *Int. J. Radiat. Biol.* - 1993. - Vol. 63. - P. 361 - 367.
21. *Lloyd D.C., Lucas J.N., Edwards A.A. et al.* A study of verify a reported excess of chromosomal aberrations in blood lymphocytes of Namibian uranium miners // *Radiat. Res.* - 2001. - Vol. 155. - P. 809 - 817.
22. *Bezdrobnaya L.K., Tarasenko L.V., Tsyganok T.V. et al.* Cytogenetic effects in Chornobyl NPP Object "Shelter" personel // 4<sup>th</sup> Biennial Conference "The health effects of low and very low dose exposure to ionizing radiation". - Hamilton, Ontario, Canada, 2005. - P. 43.
23. *Bezdrobnaya L.K., Tsyganok T.V., Romanova E.P. et al.* The dynamic of cytogenetic effects in the blood lymphocytes of people residing without permission in ChNPP exclusion zone // *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* - 2002. - Vol. 42, No. 6. - P. 727 - 730. (Rus)

Надійшла 09.09.2015

Received 09.09.2015