

**"НАГРУЖЕННЫЕ" ХРОМОСОМНЫМИ АБЕРРАЦИЯМИ КЛЕТКИ В КУЛЬТУРЕ ЛИМФОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА И ИХ АНАЛИЗ У САМОСЕЛОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС****Т. В. Цыганок, Л. К. Бездробная***Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев*

Представлены литературные данные о нагруженных хромосомными аберрациями лимфоцитах периферической крови различных контингентов людей, критериях их определения, возможных причинах и механизмах образования. Приведены результаты собственных исследований частоты "нагруженных" клеток и спектра их аберраций в культуре лимфоцитов периферической крови жителей сел зоны отчуждения ЧАЭС (через 12 - 13 и 15 лет после аварии) и Яготинского района Киевской области, не загрязненного черновыльскими радионуклидами. Изложена аргументация в пользу роли инкорпорированных альфа-излучающих трансурановых элементов в появлении этих клеток у жителей зоны отчуждения ЧАЭС.

Термин "нагруженные" клетки ("rogue" cells) был предложен в [1] для клеток с множественными хромосомными аберрациями, в которых аберрации представлены, в основном, полицентриками и разбросанными ацентрическими фрагментами, большинство из которых имели вид двойных точек. Согласно результатам специальных исследований практически все двойные точки являются мелкими ацентрическими кольцами, образованными в результате интерстициальных делеций, и относятся к внутривхромосомным обменам [2]. По количеству двойных точек оценивали степень пораженности "нагруженных" клеток [1, 3]. Первые сообщения про такие мультиаберрантные клетки (МАК) были опубликованы еще в 1970 г. по результатам цитогенетического анализа лимфоцитов периферической крови южноамериканских индейцев [4]. Позже подобные клетки регистрировали у нормальных индивидуумов (без выраженной клинической патологии) разных контингентов населения в Англии, США, Японии [1]. Частота их встречаемости была 1 на 5000 - 1 на 200 метафаз. Интерес к данному феномену особенно возрос после Чернобыльской катастрофы, так как подобные клетки начали выявлять при цитогенетическом мониторинге разных групп людей, которые подверглись влиянию ее факторов, как у лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии, так и у населения, эвакуированного или проживающего на загрязненных территориях [5 - 11].

Но при увеличивающемся количестве публикаций о фактах выявления мультиаберрантных лимфоцитов их авторы не придерживаются единых критериев определения МАК и, в частности, определения "нагруженных" клеток как одного из типов МАК. Так, в работе [12] к МАК относят клетки, содержащие не менее семи аберраций, а в [13] - начиная с пяти аберраций. В то же время авторы [7] считают мультиаберрантными клетки, которые содержали более одной аберрации любого типа в разных сочетаниях, а к "нагруженным", в отличие от [1], относили клетки с двумя и более аберрациями, если хотя бы одна из них была представлена обменом хромосомного типа. Необходимо отметить, что авторы [1], хотя и акцентировали основное внимание на клетках с полицентриками и двойными точками, но тоже указывали и на менее нагруженные клетки, имеющие такие множественные хромосомные повреждения, как транслокации, дицентрики и парные фрагменты, и считали, что, по сути, четкий раздел между таковыми клетками и клетками, названными ими "нагруженными" (т.е. содержащими двойные точки), провести нельзя. Во-первых, клетка, хотя и менее поврежденная, чем типичная (по их определению) "нагруженная", но имеющая дицентрик, может также не пережить митоз. Во-вторых, те же события, которые приводят к образованию дицентриков и парных фрагментов, могут с равной вероятностью реализова-

ться в реципрокные транслокации, а два разрыва в одной хромосоме - в инверсии [3]. В работе [14] сообщено об обнаружении методом FISH у чернобыльских контингентов клеток, содержащих множественные стабильные аберрации и не имеющих при этом нестабильных хромосомных обменов. А, как известно, именно стабильные аберрации могут играть существенную роль в злокачественной трансформации клеток [3, 15]. Авторы [1] предполагают, что процессы, которые приводят к увеличению числа типичных интенсивно "нагруженных" клеток, могут приводить и к увеличению клеток с меньшей степенью нагруженности [3]. Поэтому мы считаем определение "нагруженных" клеток, предложенное в работе [7], обоснованным и при проведении собственных исследований, результаты которых представлены ниже, руководствовались им.

То, что наличие клеток с множественными хромосомными аберрациями является следствием мощного повреждающего воздействия на генетический материал, не вызывает сомнений. Однако возможные природа и механизмы этого воздействия дискутируются. Высказано несколько гипотез. Во-первых, предполагается биологическая этиология данного феномена. Возможно, "нагруженные" клетки могут индуцироваться либо инвазивными бактериями, либо вирусами как в результате прямой вирусной инфекции, так и активации латентных ретровирусов [1, 3].

Согласно второму предположению, нагруженные хромосомными аберрациями клетки являются следствием появления мутаций в генах, ответственных за работу систем репликации и репарации или же прямого воздействия на ферменты этих систем. Нарушение процессов репликации, проверки и репарации могут приводить к хромосомным аберрациям не только непосредственно в локусе воздействия радиации, а и в ряде других локусов хромосомы. Предполагают, что появление и накопление клеток с мутациями генов репликации и репарации может быть вызвано длительным хроническим воздействием мутагенных факторов [16].

В-третьих, появление клеток с повышенным уровнем хромосомных обменов может быть результатом воздействия инкорпорированных альфа-излучающих радионуклидов [5, 17]. Также существует мнение, что присутствие лимфоцитов с множественными аберрациями у лиц, облученных в малых дозах, обусловлено наличием в крови гиперчувствительной субпопуляции этих клеток [18]. Однако другие исследователи отвергают радиационную природу возникновения "нагруженных" клеток [3, 19].

С целью изучения вероятности появления "нагруженных" клеток вследствие длительного облучения в малых дозах, мы провели сравнительный анализ частоты их встречаемости и спектра их хромосомных аберраций в культуре лимфоцитов периферической крови жителей сел зоны отчуждения ЧАЭС (через 12 - 13 и 15 лет проживания на территориях с плотностью загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  74 - 477 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  33 - 289 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{238,239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  1,5 - 40 кБк/м<sup>2</sup>) и Яготинского района Киевской области, не загрязненного выпадениями чернобыльского происхождения. Возрастной диапазон обследованных лиц в обеих группах 23 - 70 лет (65 % из них старше 50 лет, что отражает возрастной состав самоселов зоны).

Культивирование крови и приготовление цитогенетических препаратов проводили по общепринятой методике [20]. От каждого обследуемого проанализировано в среднем по 380 метафазных пластинок.

В ходе цитогенетического мониторинга в конце 1998 и начале 1999 г. "нагруженные" клетки были обнаружены у 10 из 33 обследованных самоселов зоны отчуждения ЧАЭС и у семи из 31 яготинца. При повторном обследовании в 2001 г. 20 самоселов зоны, из числа обследованных в 1998 - 1999 гг., такие клетки были выявлены у четырех человек. Средняя частота "нагруженных" клеток в популяции лимфоцитов периферической крови 33 самоселов составила 0,10 %, а у 20 из них при первом и втором обследовании - 0,13 и 0,09 % соответственно. Средний показатель "нагруженных" клеток у яготинцев был 0,06 % (табл. 1). Таким образом, у самоселов частота выявления "нагруженных" клеток была несколько выше.

Таблица 1. Частота встречаемости "нагруженных" лимфоцитов в крови обследованных групп лиц

Группа обследования	Год обследования	Количество			Частота "нагруженных" клеток, %
		обследованных лиц	проанализированных клеток	лиц с "нагруженными" клетками	
Жители зоны отчуждения	1998 - 1999	33	11789	10	0,10
		в том числе 20*	6978	7	0,13
	2001	20*	7923	4	0,09
Жители Яготинского района	1999	31	12273	7	0,06
Сельская популяция Украины [10]	1968 - 1985	149	26180	0	0

\* Одни и те же лица.

В табл. 2 представлен спектр хромосомных aberrаций в "нагруженных" лимфоцитах обследованных лиц. У жителей зоны отчуждения ЧАЭС "нагруженные" клетки, в основном, содержали по два и более хромосомных обмена, в то время как у жителей Яготинского района - по одному. У лиц контрольной группы была зарегистрирована только одна клетка с двумя нестабильными обменами (кодировый № 24я). У трех самоселов зоны выявляли по две и у одного три "нагруженные" клетки и среди них клетки, аналогичные описанным [1], которые содержали "двойные точки". Согласно данным [7], при обследовании сельского населения Украины до Чернобыльской аварии "нагруженные" клетки не выявляли, хотя в то же самое время авторы обнаруживали их у жителей Азербайджана. Наличие у жителей сел Яготинского района, нагруженных одним хромосомным обменом клеток, возможно, обусловлено как ухудшением общей экологической ситуации в период после 1986 г., так и, учитывая, что большинство обследованных старше 50 лет, снижением у них активности внутриклеточных репарационных систем, угасающих по мере старения организма. Это предположение согласуется с результатами их тестирования на чувствительность лимфоцитов крови к блеомицину в реакции *in vitro* [21]. Наличие же у обследованного под кодировым № 24я в возрасте 27 лет клетки с двумя нестабильными обменами, при низком уровне суммарных хромосомных aberrаций, не исключает факта неучтенного внутреннего облучения этого индивида.

Присутствие "нагруженных" несколькими хромосомными обменами клеток в крови самоселов зоны, предполагаем, является в основном результатом внутреннего облучения за счет поступления в организм альфа-излучающих трансурановых элементов ( $^{238,239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) с местными продуктами питания и ингаляционным путем. Мы исходим из следующих соображений. Во-первых, единичные лимфоциты с двумя нестабильными обменами наблюдаются при гамма-облучении, начиная лишь с дозы 100 сЗв [22, 23], а при облучении альфа-частицами  $^{241}\text{Am}$ , начиная уже с дозы 2 сЗв, с тремя нестабильными обменами - начиная с доз 300 сЗв и 20 сЗв соответственно [23]. Реконструированные же нами эффективные дозы облучения самоселов обусловленного радиоизотопами цезия, стронция, плутония на 1998 - 1999 гг. на все тело (за счет внешнего и внутреннего облучения) не превышали 33 сЗв, на красный костный мозг - 63 сЗв, а на 2001 г. на все тело - 35 сЗв [24]. Таким образом, исходя из реконструированных доз, наблюдаемый нами цитогенетический эффект в 14 из 19 выявленных "нагруженных" клеток больше, чем можно ожидать в случае воздействия только излучения с низкой линейной передачей энергии (ЛПЭ).

Таблица 2. Спектр аберраций в "нагруженных" лимфоцитах крови жителей сел зоны отчуждения ЧАЭС и Яготинского района

Группа	<sup>238,239,240</sup> Pu <sup>241</sup> Am, кБк/м <sup>2</sup>	Кодовый №	Год обследования	
			1998 – 1999	2001
Зона отчуждения n = 33 в 1998 - 1999 гг.  n = 20 в 2001 г.	1 - 2	1	2( <i>дц+пф</i> ); <i>тр, дц+пф</i> [4,5; 5,5]	<i>не выявлены</i>
		2	<i>не выявлены</i>	<i>тр, оф, пф</i> ; 2 <i>тр, цк, дц+пф, 2дт</i> ; <i>триц, дц+пф, дт</i> [5,2; 7,6]
	1 - 2	8	<i>дц+пф, тр, оф</i> [10,2; 10,8]	<i>не выявлены</i>
	1 - 4	19	<i>дц, оф</i> [3,5; 3,9]	–
	2 - 4	29	<i>тр, 2(дц+пф)</i> [7,1; 7,8]	<i>тетрац, дт, 2пф</i> ; 2 <i>тр</i> в тетраплоиде [7,0; 8,4]
		15	<i>тр, пф</i> [8,1; 9,1]	<i>дц+пф, тр</i> [8,4; 9,5]
	2 - 10	12	<i>дц, оф</i> [7,9; 8,4]	<i>не выявлены</i>
		6	2( <i>дц+пф</i> ) [8,5; 9,1]	<i>не выявлены</i>
	4 - 10	21	<i>дц+пф, оф</i> [1,9; 2,2]	<i>не выявлены</i>
		32	<i>не выявлены</i>	2 <i>дц, дц+пф</i> [3,8; 4,5]
30		2( <i>дц+пф</i> ), <i>оф, 8пф</i> ; 2 <i>дц</i> [5,9; 8,77]	–	
10 - 40	18	2( <i>дц+пф</i> ) [2,0; 2,3]	<i>не выявлены</i>	
Яготинский район n = 31	0.02 – 0.1	1я	<i>дц+пф, 2пф</i> [2,0; 2,5]	–
		11я	<i>дц+пф, оф</i> [3,6; 4,4]	–
		12я	<i>дц, оф</i> [4,0; 5,0]	–
		18я	<i>дц+пф, пф</i> [2,7; 2,7]	–
		24я	<i>цк+пф, дц+пф</i> [2,4; 2,7]	–
		26я	<i>дц, 2оф</i> [3,1; 3,6]	–
		27я	<i>тр, пф</i> [2,8; 2,8]	–

Примечание. В квадратных скобках приведена суммарная частота аберрантных лимфоцитов и аберраций хромосом, %; *оф* – одиночный фрагмент; *пф* – парный фрагмент; *цк* – центрическое кольцо; *дц* – дицентрик; *триц* – трицентрик; *тетрац* – тетрацентрик; *дт* – двойные точки; *тр* – аномальные моноцентрики.

Во-вторых, аналогичные "нагруженные" клетки регистрировали у рабочих радиохимических предприятий, которые имели контакт с солями плутония [14], а также у людей, проживающих в зоне влияния Сибирского химического комбината [25]. В крови жителей этой зоны появлялись лимфоциты со структурными перестройками практически всего набора хромосом при накоплении в их зубах плутония выше 55 Бк/мин/кг [25]. Мы также выявляли "нагруженные" клетки у лиц, работающих на объекте "Укрытие" [26], у которых, по данным [27], приблизительно 80 % дозы внутреннего облучения обусловлено альфа-излучателями, которые поступают в организм в виде субмикронных аэрозолей. И последнее, в послеаварийные годы в зоне отчуждения ЧАЭС количество альфа-излучателей, а именно <sup>241</sup>Am, увеличивается в результате бета-распада <sup>241</sup>Pu [28]. На период проведения наших исследований уровни загрязнения в зоне <sup>241</sup>Am совпадают с уровнями загрязнения, обусловленными суммой изотопов плутония. В связи с этим считаем, что исследования содержания трансураниевых элементов, в частности <sup>241</sup>Am как более биологически

доступного, в продуктах питания жителей зоны очень актуальны. Зависимость частоты и степени "нагруженности" МАК от плотности загрязнения мест проживания самоселов зоны альфа-излучающими радионуклидами не прослеживается (см. табл. 2). Это можно объяснить тем, что самоселы активно мигрируют в пределах зоны по территориям с различными уровнями радиационного загрязнения во время сбора ягод, грибов, ловли рыбы, охоты за дичью. Эти продукты составляют существенную долю в рационе их питания.

Как мы уже указывали выше, в литературе имеются данные о регистрации клеток с несколькими хромосомными обменами у жителей (включая детей) загрязненных черномыльскими выбросами регионов Украины, Беларуси и России [5 - 11]. Авторы этих публикаций также связывали появление отдельных таких клеток с действием инкорпорированных источников излучения с высокой ЛПЭ, прежде всего плутония. Хотя мы считаем основной причиной появления "нагруженных" клеток у жителей зоны внутреннее облучение трансурановыми элементами, но также поддерживаем и гипотезу о вероятности появления таких клеток вследствие повреждения внутриклеточных репарационных систем при длительном радиационном воздействии в малых дозах [16].

Как указывалось выше, не все исследователи согласны с гипотезой радиационной природы "нагруженных" клеток у черномыльских контингентов [3, 19]. Выдвигается следующая контраргументация. Клетки с множественными меж- и внутрихромосомными обменами выявляли и у некоторых здоровых лиц разных регионов континента и при этом сведений о влиянии на них каких-либо кластохромосомных агентов не было [1]. А. В. Севанькаев, ссылаясь на результаты собственных исследований, считает, что против радиационной гипотезы "нагруженных" клеток свидетельствует отсутствие у лиц из черномыльских контингентов клеток, содержащих более чем одну-две абберрации при наличии МАК с числом абберраций, отвечающим дозе порядка 10 Гр. Как контраргумент он выдвигает и то, что при повторном обследовании "носителей" нагруженных абберрациями клеток среди населения радиационно загрязненных регионов России и ликвидаторов аварии такие клетки у них не выявляли [19].

Что касается обследованных нами самоселов зоны отчуждения ЧАЭС, у них мы обнаружили (см. табл. 2) "нагруженные" клетки, содержащие 2 - 11 абберраций, причем, в основном, два и более хромосомных обмена, а у двух лиц – четыре-шесть обменов (кодировый № 2 и 29), т. е. клетки, на отсутствие которых ссылается А. В. Севанькаев. К тому же, у трех лиц мы выявили по две, а у одного – три такие клетки. Кроме того у отдельных самоселов при повторном обследовании через три года мы подтвердили наличие "нагруженных" клеток (кодировый № 15 и 29). А лица под кодировыми № 1 и № 2 являются членами одной семьи. У № 1 "нагруженные" клетки выявлены при первом обследовании, а у № 2 - при втором.

В обследованных группах самоселов и яготинцев наблюдалась зависимость между средней частотой "нагруженных" клеток, степенью их нагруженности, с одной стороны, и среднегрупповой частотой суммарных абберрантных клеток и абберраций хромосом, с другой. Последние составляли соответственно  $5,02 \pm 0,34$  и  $5,32 \pm 0,37$  у самоселов и  $3,20 \pm 0,15$  и  $3,51 \pm 0,17$  у яготинцев. Однако зависимость между индивидуальными показателями наблюдалась не у всех обследованных (см. табл. 2). Это также свидетельствует в пользу вероятности появления клеток с множественными абберрациями за счет локального воздействия на них излучения с высокой ЛПЭ.

Таким образом, в научной литературе нет единого согласования, какие клетки следует относить к "нагруженным". Учитывая, что присутствие в клетке нескольких абберраций при наличии обменов хромосомного типа является прогностическим показателем нарушения ее функциональной или жизненной способности, считаем предложенный в [7] критерий определения "нагруженных" клеток, как содержащих две и более абберрации, из которых хотя бы одна представлена хромосомным обменом, обоснованным.

Выявленная при использовании такого критерия тенденциозно большая частота встречаемости "нагруженных" лимфоцитов и существенно большая их нагруженность

хромосомными обменами у лиц, проживающих в зоне отчуждения ЧАЭС, по сравнению с жителями региона, не загрязненного чернобыльскими радионуклидными выпадениями, а также повторяемость их обнаружения у отдельных лиц при последующем обследовании позволяют предполагать радиационную природу возникновения "нагруженных" клеток при длительном проживании на радиационно загрязненных территориях. Значительно больший цитогенетический эффект в выявленных "нагруженных" клетках, чем следовало бы ожидать, исходя из реконструированных доз облучения жителей зоны, свидетельствует о возможной индукции множественных аберраций в клетках за счет локального воздействия на них инкорпорированных альфа-излучающих трансурановых элементов.

Для получения прямой информации о роли альфа-излучателей в появлении "нагруженных" клеток у жителей регионов, загрязненных вследствие Чернобыльской аварии, считаем целесообразным проведение и в последующем цитогенетических мониторингов жителей сел зоны с параллельным определением содержания трансуранов в продуктах их питания и моче.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Awa A.A., Neel J.V.* Cytogenetic "rogue" cell: what is their frequency, origin and evolutionary significance // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* - 1986. - Vol. 83. - P. 1021 - 1025.
2. *Асташева Н.П., Храмова Л.К.* Закономерности образования аберраций хромосом в лимфоцитах крови крупного рогатого скота при облучении *in vitro* // *Радиационная биология. Радиоэкология.* - 2002. - Т. 42, № 3. - С. 251 - 253.
3. *Neel J.V., Awa A.A., Kodama Y. et al.* "Rogue" lymphocytes among Ukrainians not exposed to radioactive fall-out from the Chernobyl accident: The possible role of this phenomenon in oncogenesis, teratogenesis, and mutagenesis // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* - 1992. - Vol. 89. - P. 6973 - 6977.
4. *Bloom A.D., Neel J.V., Choi K.W. et al.* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* - 1970. - Vol. 66, № 3. - P. 920 - 927 (цитировано по *Awa A.A., Neel J.V.* Cytogenetic "rogue" cell: what is their frequency, origin and evolutionary significance // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* - 1986. - Vol. 83. - P. 1021 - 1025).
5. *Домрачева Е.В., Кузнецов С.А., Шкловский-Корди Н.Е., Воробьев А.И.* Клетки с многочисленными хромосомными аберрациями, обнаруженные у жителей Чернобыльского региона // *Гематология и трансфузиология.* - 1991. - № 11. - С. 36 - 37.
6. *Домрачева Е.В., Версхаеве Л., Кузнецов С.А. и др.* Хромосомные аберрации у жителей Гомеля и Гомельской области: результат проживания на радиоактивно-загрязненных территориях // *Терапевт. архив.* - 1992. - № 7. - С. 29 - 33.
7. *Пилинская М.А., Шеметун А.М., Дыбский С.С. и др.* Выявление мультиабберрантных лимфоцитов при цитогенетическом обследовании различных групп людей, контактирующих с мутагенными факторами // *Цитология и генетика.* - 1994. - Т. 28, № 1. - С. 27 - 32.
8. *Воробьев А.И., Домрачева Е.В., Клевезаль Г.А. и др.* Дозы радиационных нагрузок и эпидемиологические исследования в Чернобыльском регионе // *Терапевт. архив.* - 1994. - Т. 66, № 7. - С. 3 - 7.
9. *Vochkov N.P., Kotosova L.D.* // *Mutat. Res.* - 1994. - Vol. 323. - P. 7 - 10.
10. *Пилинская М.А., Шеметун А.М., Дыбский С.С. и др.* Результаты 14-летнего цитогенетического мониторинга контингентов приоритетного наблюдения, пострадавших от действия факторов аварии на Чернобыльской АЭС // *Вестник РАМН.* - 2001. - № 10. - С. 80 - 84.
11. *Mikhalevich L.S.* Monitoring of Cytogenetic Damages in Peripheral Lymphocytes of Children Living in Radiocontaminated Areas of Belarus // *Research Activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferery by the Accident.* - Kyoto University, Japan, 1998. - P. 178 - 183.
12. *Бочков Н.П.* Необычайно высокий уровень хромосомной изменчивости в культуре лимфоцитов периферической крови человека // *Генетика.* - 1999. - Т. 35, № 6. - С. 838 - 841.
13. *Волков А.Н., Дружинин В.Г.* Многолетняя динамика цитогенетических нарушений у подростков из крупного промышленного города // *Генетика.* - 2001. - Т. 37, № 9. - С. 1296 - 1299.
14. *Домрачева Е.В., Асеева Е.А.* Достижения и перспективы гематологической цитогенетики (по материалам кариологической лаборатории гематологического научного центра РАМН) // *Гематология и трансфузиология.* - 2001. - Т. 46, № 3. - С. 14 - 19.

15. Нугис В.Ю. Методология оценки доз по аберрациям хромосом в лимфоцитах периферической крови при хроническом радиационном воздействии // Медицинская радиология. - 1996. - Т. 41, № 3. - С. 63 - 67.
16. Чеботарев. А.Н. Новый подход к оценке мутагенности цитогенетическими методами // Вестник Российской Академии медицинских наук. - 2000. - № 5. - С. 23 - 26.
17. Василенко И.Я. Радиобиологические аспекты "горячих" частиц // Медицинская радиология. - 1991. - № 9. - С. 56 - 58.
18. Lloyd D., Edwards A., Leonard A. et al. Frequencies of chromosomal aberrations induced in human blood lymphocytes by low doses of X-rays // Int. J. Radiat. Biol. - 1988. - Vol. 53. 1. - P. 49 - 53.
19. Севаньяев А.В. Некоторые итоги цитогенетических исследований в связи с оценкой последствий Чернобыльской аварии // Радиационная биология. Радиозология. - 2000. - Т. 40, № 5. - С. 589 - 595.
20. Biological Dosimetry: Chromosomal aberration analysis for dose assessment. Technical Reports 260. - Vienna: IAEA, 1986.
21. Циганок Т.В., Бездробна Л.К., Федорченко В.І. Оцінка активності репаративних систем лімфоцитів крові самопоселенців зони відчуження ЧАЕС за тестом чутливості *in vitro* до дії блеоміцину // III з'їзд радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія). - Київ, 2003. - С. 116.
22. Бочков Н.П. Анализ типов абберантных клеток - необходимый элемент биологической индикации облучения // Мед. радиология. - 1993. - Т. 38, вып. 2. - С. 32 - 35.
23. Schid E., Hieber L., Heinzmann U. et al. Analysis of chromosome aberrations in human peripheral lymphocytes induced by *in vitro*  $\alpha$ -particle irradiation // Radiat. Environ. Biophys. - 1996. - Vol. 35. - P. 179 - 184.
24. Bezdrobna L., Tsyganok T., Romanova O. et al. Chromosomal aberrations in the blood lymphocytes of the residents of 30-km Chornobyl NPP exclusion zone // Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Research Reactor Institute. - Kyoto University, Japan, 2002. - P. 277 - 286.
25. Ильинских Е.Н., Ильинских Н.Н., Смиранный Л.Н. Использование метода анализа микроядер в бинокулярных лимфоцитах, ЭПР-спектрометрии эмали зубов и мультиабберантных клеток при радиационной биодозиметрии // Информационный бюллетень постоянно действующего семинара "Биологические эффекты малых доз радиации". - Минск, 2001. - С. 10 - 11.
26. Бездробная Л.К., Романова Е.П., Тарасенко Л.В. и др. Показатели состояния генома лимфоцитов крови персонала объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 10, ч. II. - С. 307 - 312.
27. Бондаренко О.А., Арясов П.Б., Мельничук Д.В., Медведев С.Ю. Анализ дисперстности аэрозолей внутри объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. - 2001. - Вып. 7. - С. 126 - 141.
28. Льовшин С.Б., Агеев В.А., Гайдар О.В. та ін. Трансуранові елементи у зоні відчуження // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 1999. - № 13. - С. 57 - 59.

### **"НАВАНТАЖЕНІ" ХРОМОСОМНЫМИ АБЕРАЦІЯМИ КЛІТИНИ В КУЛЬТУРІ ЛІМФОЦИТІВ ПЕРИФЕРІЙНОЇ КРОВІ ЛЮДИНИ ТА ЇХ АНАЛІЗ У САМОПОСЕЛЕНЦІВ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС**

**Т. В. Циганок, Л. К. Бездробна**

Подано літературні дані про навантажені хромосомними абераціями лімфоцити периферійної крові різних контингентів людей, критерії їх визначення, можливі причини та механізми виникнення. Наведено результати власних досліджень частоти "навантажених" клітин і спектра їх аберацій у культурі лімфоцитів периферійної крові жителів сіл зони відчуження ЧАЕС (через 12 – 13 і 15 років після аварії) та Яготинського району Київської області, не забрудненого чорнобильськими радіонуклідами. Викладено аргументацію на користь ролі інкорпорованих альфа-випромінюючих трансураних елементів у появі цих клітин у жителів зони відчуження ЧАЕС.

**THE "ROUGE" CELL IN CULTURED HUMAN  
PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES AND THEIR ANALYSIS  
IN ChNPP EXCLUSION ZONE SELF-SETTLERS**

**T. V. Tsyganok, I. K. Bezdrobnaya**

The data on highly loaded by chromosomal aberrations peripheral blood lymphocytes of different people contingents, the criteria of their detection, possible causes and mechanisms of their induction are given. Here are presented the results of the own research of "rogue" cell frequency and their aberration spectrum in cultured peripheral blood lymphocytes of ChNPP Exclusion zone village residents (12 - 13 and 15 years after the accident) and of the residents of Yahotyn district, Kyiv region, not polluted with Chernobyl radionuclids. The arguments are reported on the fact that induction of such cells in zone residents might be caused by incorporated  $\alpha$ -emitting transuranium elements.

Поступила в редакцию 07.11.03,  
после доработки – 30.12.03.