

УДК 575. 224. 23: 576. 316. 29: 599. 323.4

## **ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИНАПТОНЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕЙОЦИТОВ МЫШЕЙ, ЭКСПОНИРОВАННЫХ В ЗОНЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

Л.Д. САФРОНОВА, И.В. ШУСТРОВА

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской Академии наук

Россия, 117071, Москва, Ленинский пр., 33

e-mail: ldsafroнова@gmail.com

*Изучено влияние радиации на поведение мейотических хромосом у самцов *Mus musculus*, несущих различные t-гаплотипы. Мышей экспонировали в течение полутора месяцев в 30 км зоне Чернобыльской АЭС. С помощью электронной микроскопии исследовали структуру синаптонемных комплексов (СК) сперматоцитов у самцов и их потомков F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>. Показано, что длительное хроническое облучение существенно влияет на структуру мейотических хромосом. Идентифицированы различные типы повреждений аутомомных, и половых бивалентов. Для аутомомных бивалентов характерны разрывы и фрагменты, петли, асинаптические конфигурации, тогда как для половых хромосом наблюдаются униваленты и кольца. У экспонированных мышей частота повреждений хромосом по ряду признаков выше, чем у потомства, и уменьшается от первого поколения ко второму. Полученные данные подтверждают роль повреждающего действия радиации на структуру мейотических хромосом, выявляемые посредством электронно-микроскопического анализа СК, что согласуется с результатами других исследователей.*

**Ключевые слова:** синаптонемный комплекс, мейотические хромосомы, мейоциты, t-гаплотипы.

**Введение.** Известно, что у млекопитающих радиация прежде всего поражает системы с наиболее высоким уровнем пролиферации, как, например, кроветворную и репродуктивную и др. [1]. Это воздействие проявляется прежде всего в абберациях хромосом, которые выявляются цитогенетическими методами при анализе клеток периферической крови или костного мозга [1].

До недавнего времени цитогенетический анализ мейотических клеток ограничивался исследованиями хромосом на стадии диакинеза - метафазы мейоза-II. Однако в настоящее время для исследования хромосомных аббераций в клетках репродуктивной системы широко применяется электронно-микроскопический анализ синаптонемных комплексов СК, который позволяет изучать хромосомные перестройки на более ранней стадии мейоза-пахитене. Этим методом можно выявить микроабберации, которые не обнаруживаются с помощью световой микроскопии при анализе метафазных хромосом [2]. Электронномикроскопический анализ СК дает точную информацию о повреждениях хромосом в раннем мейозе у животных, подвергнутых различным воз-

© Л.Д. САФРОНОВА, И.В. ШУСТРОВА, 2012

действиям (радиация и химические мутагены) и позволяет прогнозировать влияние индентифицированных нарушений на плодовитость [2–6].

Этот метод ранее применялся для учета структурных нарушений (аббераций) в течение мейоза у животных, подвергнутых действию радиации, и с его помощью было выявлено в два раза больше хромосомных нарушений, чем обычно обнаруживается традиционными методами [3]. В дальнейшем эти выводы были подтверждены на мышах исследованиями, проведенными в зоне ЧАЭС [7,8].

Учитывая, что мыши, несущие t-гаплотипы, являются наиболее чувствительными к воздействию радиации [9], а метод анализа СК обладает наибольшей разрешающей способностью, позволяющей выявлять тонкие нарушения хромосом, в настоящем исследовании проводили электронно-микроскопический анализ СК распластанных сперматоцитов мышей-родителей и их потомства ( $F_1$  и  $F_2$ ), носителей t-гаплотипов, находившихся в зоне повышенного радиационного фона ЧАЭС (30 км зона) с целью обнаружения структурных нарушений мейотических хромосом.

### Материалы и методы

Были использованы мыши-самцы, в возрасте 2–4 месяца от двух групп комплектами несущие t-w5, t-w12 гаплотипы из колонии T/t сбалансированных по леталем гетерозиготных стокм мышей, поддерживаемых в лаборатории проблем микроэволюции ИПЭЭ РАН. Исходно в опыте было использовано 13 самцов линии T/tw5 и 9 – линии T/tw12, однако в связи с тяжелыми условиями эксперимента, часть животных погибла. Животные экспонировались в районе 30 км ЧАЭС в 1987–1988 годах в течение месяца. Радиационный фон достигал 0,4 Gy. Облученные самцы мышей генотипа T/tw5 и T/tw12 скрещивались с необлученными самками

$F_1$  (C57Bl/6 x CBA C/Lac) в соотношении 20:10. По истечении 2,5 месяцев самки, не давшие потомство, были забиты и проверены на наличие беременности, в случае обнаружения эмбрионов содержание тестируемых самцов было продолжено и к ним подсаживались новые самки. Второе поколение получено от скрещивания потомков  $F_1$  (T/+x +/t) между собой. Молодняк второго поколения с генотипом T/t был использован в скрещивании с мышами из колонии T/t, несущими разные t-гаплотипы. Последний тип скрещиваний представлял собой комплементационный анализ t-гаплотипов, предпринятый для выявления возможных нарушений в структуре t-комплекса, возникших под влиянием облучения [12]. В каждом поколении учитывалось количество стерильных самцов и количество потомства [10].

Плодовитость оценивалась только для t-несущих самцов по средней величине выводка и среднему числу молодняка, приходящемуся в месяц на одну самку. В качестве контроля в опыте использовались мыши-самцы того же гаплотипа, но не подвергавшиеся воздействию облучения [10].

**Электронная микроскопия.** В эксперименте были использованы самцы мышей трех поколений, несущие t-гаплотипы в гетерозиготах T/t или +/t. Для определения структурных нарушений в сперматоцитах облученных мышей и их потомства использован ЭМ анализ синаптомемных комплексов. Препараты синаптомемных комплексов (СК) мышей-самцов после скрещивания с плодовитыми самками получали методом распластывания сперматоцитов из суспензии клеток семенников по методу Дрессера и Мозеса (1980) на стадии пахитены. Препараты окрашивали 50 % азотнокислым серебром и исследовали под электронным микроскопом JEM-100 C [11]. Учитывали и идентифицировали различные типы аномалий СК.

**Статистический анализ.** Был использован критерий Пирсона  $\chi^2$  для оценки до-

стоверности различий по частотам повреждений СК между различными группами (родители, первое, второе поколения – P, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>).

### Результаты и обсуждение

Плодовитость контрольных мышей стока T/tw12 несколько выше, чем у особей T/tw5. Показатели плодовитости облученных самцов были снижены по отношению к контролю у представителей обоих стоков, однако лишь для мышей с генотипом T/tw5 разница между контрольными и экспериментальными показателями плодовитости достигает значимых величин (P < 0,05) (табл. 1).

Результаты электронно-микроскопического анализа СК в сперматоцитах мышшей-носителей t-гаплотипов (P), получивших дозу 0.4 Gy, а также их потомства (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>) приведены в табл. 2. Обнаружены различные структурные нарушения морфологии СК аутосом в сперматоцитах облученных мышшей: аутосомные разрывы и фрагменты, микропетли, асинаптические конфигурации (рис.1 а-г). Кроме того у аутосомных бивалентов на стадии средней пахитены были выявлены разрывы (бреши) одного бокового элемента синаптонемного комплекса (рис.1 а), и у двух

осей боковых элементов (рис.1 б), а также множественные разрывы с отдельными фрагментами (рис. 1). Частота разрывов аутосомных бивалентов облученных мышшей (P) составила 64 %, в клетках гибридов первого поколения – 37 %, второго поколения – 13 % (табл. 2).

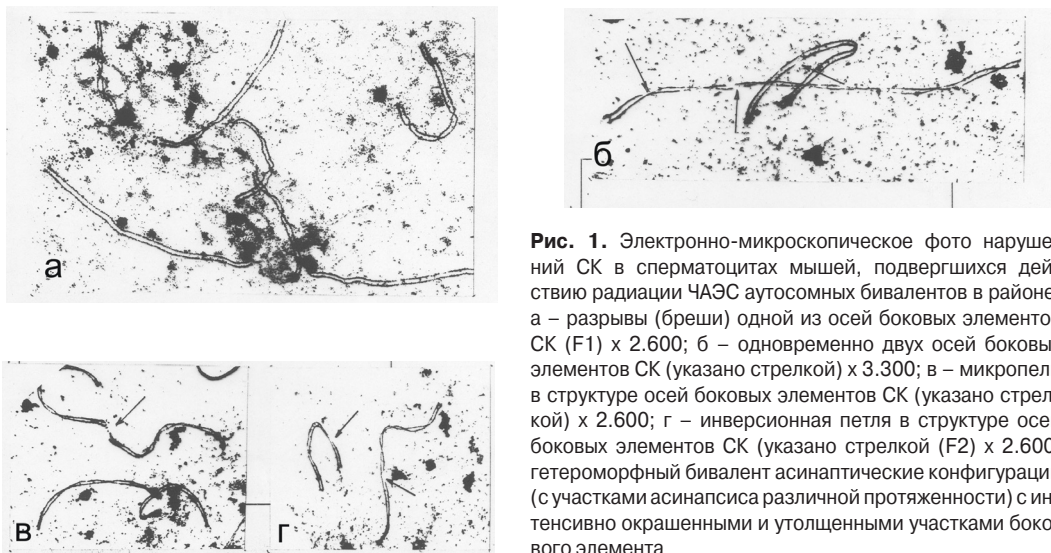
Таким образом, частота обнаруженных разрывов у гибридов первого и второго поколений снижена (P < 0, 05) по сравнению с частотой таких нарушений у самцов-родителей (табл. 2).

У облученных мышшей наблюдались петли в структуре боковых элементов СК в виде расширений отдельных участков различных размеров (12 %) (табл. 2) в клетках от потомства первого поколения (29 %) и значительно снижались в клетках второго поколения до 11 % (табл. 2.). Одна из обнаруженных петель, скорее всего, представляет собой инверсионную петлю (рис. 1 е), что определяет значительное структурное нарушение в данном районе хромосомы. Кроме того, наблюдали асинаптические конфигурации аутосомных бивалентов (гетероморфные биваленты с участками асинапсиса различной протяженности) (рис. 1 г) с интенсивно окрашенными и утолщенными участками бокового элемента.

**Таблица 1.** TRD самцов мышшей T/t и T/+ в скрещиваниях с самками двух линий

Линия самок	Генотип самцов	Испытано самцов	Получено потомства	Расщепление +/t: T/+(+)/(T/+)*	TRD
СВА	T/t6	8	263	212:51	0,71**
В16	T/t6	10	260	139:121	0,53**
СВА	T/t12	8	75	70:5	0,93**
В16	T/t12	9	196	157:39	0,79**
СВА	T/tw5	7	64	63:1	0,96
В16	T/tw5	9	71	63:8	0,88
СВА	T/tw18	6	78	43:35	0,54
В16	T/tw18	8	92	39:53	0,42
СВА	T/+	4	50	25:25	0,50
В16	T/+	4	45	22:23	0,49

Примечания: Для самцов генотипа T/+; \* По Демину и Сафроновой [7], данные эксперименты по изучению TRD у мышшей Rb/t проводились в 1981 – 1983 гг., однако обработка полученных результатов была проведена в 1992 и 1993 г.



**Рис. 1.** Электронно-микроскопическое фото нарушительных СК в сперматоцитах мышей, подвергшихся действию радиации ЧАЭС аутосомных бивалентов в районе: а – разрывы (бреши) одной из осей боковых элементов СК (F1) x 2.600; б – одновременно двух осей боковых элементов СК (указано стрелкой) x 3.300; в – микропели в структуре осей боковых элементов СК (указано стрелкой) x 2.600; г – инверсионная петля в структуре осей боковых элементов СК (указано стрелкой) (F2) x 2.600; гетероморфный бивалент асинхронические конфигурации (с участками асинхронического различия протяженности) с интенсивно окрашенными и утолщенными участками бокового элемента

**Таблица 2.** Различия в TRD самцов Rb1/t и T/t при скрещивании с самками двух линий

Линия самок	Генотип самцов	Испытано самцов	Получено потомства	Расщепление Rb1/t:Rb1/T(Rb1/+): (Rb1/T)		TRD Rb1/t(Rb1/+)	TRD T/t	Достоверность разницы (x2), P
				реальное	ожидаемое (относительно TRD0 OT/t)			
СВА	Rb1/t6	8	102	69:33	72:30	0,68	0,71*	>0,05
В16		8	104	56:48	55:47	0,54	0,53*	>0,05
СВА	Rb1/t12	8	80	56:24	74:6	0,70	0,93*	<0,001
В16		10	170	122:48	134:36	0,71	0,79*	<0,05
СВА	Rb1/tw5	7	68	50:18	65:3	0,73	0,96	<0,001
В16		8	104	78:26	91:13	0,75	0,88	<0,01
СВА	Rb1/tw18	5	80	14:66	43:37	0,18	0,54	<0,001
В16		6	69	19:50	30:39	0,27	0,42	<0,01
СВА	Rb1/t	4	67	32:35	32:35	0,47	0,50	>0,05
В16		5	62	32:30	31:31	0,51	0,49	>0,05

\* – по Демину, Сафроновой [7].

Частота таких конфигураций аутосомных бивалентов у облученных самцов составила 28 % , у потомков первого поколения – 11 %, а у второго поколения – 7 % (табл.2).

Для половых хромосом характерен высокий уровень нарушения синапсиса –

диссоциация (рис.2 а) и как следствие этого – высокая частота унивалентов (табл.2). Так, у облученных мышей диссоциация составляет 33 %, у гибридов первого поколения – 39 % и второго – 18 %, т. е. сохраняется почти на одном уровне.

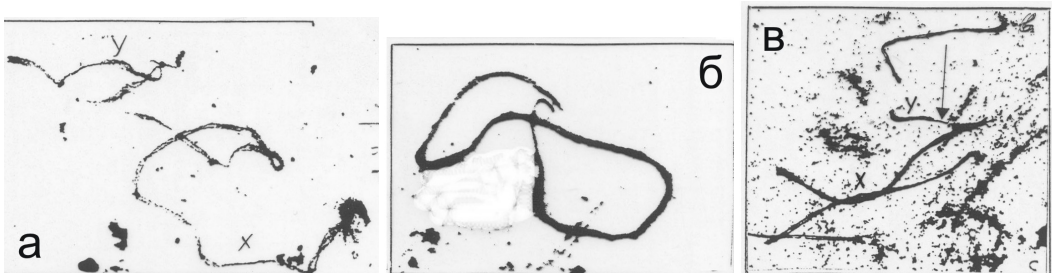
Оси X-Y половых хромосом образовывали замкнутые, преимущественно кольцевые конфигурации (рис.2 б), а также наблюдали разрывы осей половых хромосом (рис.2в, табл.2)

**Статистический анализ.** С использованием критерия Пирсона  $\chi^2$  проводилась статистическая оценка различия по признакам, определяющим нарушения аутосом и половых хромосом (разрывы, асинептические конфигурации), мышей-самцов и их потомства. Получено значимое ( $P < 0,05$ ) уменьшение числа таких нарушений, как разрывы, асинептические конфигурации у 1 поколения  $F_1$  и у мышей-родителей, а также разрывы, асинептические конфигурации, диссоциации, кольца у второго поколения  $F_2$  и у родителей. Было выявлено значимое различие ( $P < 0,05$ ) – уменьшение числа ряда нарушений (разрывы, петли, диссоциации) также у второго поколения по сравнению с первым.

В проведенном исследовании было продемонстрировано влияние радиации (ЧАЭС, 30 км зона) на мейотические хромосомы самцов, несущих различные t-гаплотипы: родителей и их потомков первого и второго поколений). Электронно-микроскопический анализ СК выявил эффект радиации на структуру мейотических хромосом. Были идентифицированы различные типы повреждений как аутосомных, так и половых бивалентов.

Экспонированные самцы имеют большую частоту повреждений аутосомных бивалентов (разрывы, асинептические конфигурации), чем их потомство. Частота унивалентности половых хромосом, которая остается практически одинаковой у родителей и потомства первого поколения  $F_1$ . Потомство от облученных мышей имеет тенденцию к уменьшению частоты всех обнаруженных синептических аномалий, от гибридов первого ко второму.

Эти наблюдения совпадают с другими исследованиями гамет [7, 8]. При электронно-микроскопическом анализе синептонемных комплексов у лабораторных мышей, экспонированных в период эмбриогенеза в районе ЧАЭС, было выявлено 4 самца с пониженной плодовитостью, у которых обнаружены различные повреждения мейотических хромосом (брешии в структуре СК боковых элементов тетравалентов и оси X-хромосомы и две инверсионные петли [8]. Результаты электронно-микроскопического анализа синептонемных комплексов от 10 самцов-полевок *Microtus arvalis*, пойманных в 1990 году в Белоруссии, показали присутствие гетероморфного бивалента в одном из пяти больших аутосомных бивалентов на стадии ранней пахитены у четырех самцов. В центральном районе этого бивалента, у одного из латеральных элементов синептонемного комплекса, имеется D-петля,



**Рис. 2.** разные типы поведения половых хромосом: а – десинапсис (унивалентность) X-Y хромосом ( x 3.300); б – унивалентны замкнуты в кольца (кольцевая конфигурация ( x 3.300); в – разрыв осей бокового элемента Y-хромосомы (мышей – носителей t-гаплотипов (P) (указано стрелкой) ( x 3.300)



характерная для гетерозигот, несущих инсерцию / делецию [12].

Впервые экспериментальные данные ЭМ анализа СК, как индикатора индуцированных структурных изменений в мейотических хромосомах сперматоцитов были получены Кавуд, Брекон [3]. Подобные результаты были продемонстрированы при электронно микроскопическом анализе синаптомемных комплексов у 30-дневных самцов-мышей после их одноударной экспозиции X-лучами от 5,75 или 10 Gy. Мышей фиксировали в разные сроки после экспозиции: через 24 часа и 1,4,12 и 16 недель. Обнаружены различные изменения СК в сперматоцитах облученных мышей: асинапсис и фрагментация, а также квадριвалентс и мультивалентс; мосты между аутосомными бивалентами, гетеротеломерные ассоциации; половые хромосомы имели аномальную, замкнутую, конфигурацию (кольца и петли) [5].

Также показан эффект ионизирующей радиации на поведение мейотических хромосом с помощью электронно-микроскопического анализа синаптомемных комплексов на самках мышей, которые были экспонированы 2 G1 одноударной дозой на 14,16 и 17 дни беременности [6]. Идентифицированы различные структурные нарушения аутосом: фрагментация, асинаптические конфигурации (частичный асинапсис одного из боковых элементов, неполный терминальный асинапсис боковых элементов с появлением утолщенной осевой структуры бокового элемента и образование мультивалентс), а также десинапсис половых хромосом, в результате которого образуются X и Y унивалентс [6].

Значительные повреждения СК наблюдали в зародышевых клетках на 14 день беременности самок-крыс после облучения X-лучами. Отмечены высокая частота фрагментации и уменьшение количества зародышевых клеток [10]. Авторы описывают три типа фрагментации СК (по числу

образуемых фрагментов), приводящие: к множественным разрывам в разных участках обеих осей СК, разрыву одного бокового элемента оси СК, а также одновременному разрыву обеих осей СК (субтеломерный разрыв) [13].

В основном, повреждения синаптомемных комплексов у облученных мышесамцов, подвергшихся воздействию радиации в зоне ЧАЭС, совпадают по описаниям разных авторов. В наших исследованиях мы наблюдали почти весь спектр поврежденных синаптомемного комплекса, за исключением цепочек мультивалентс и мостов, описанных Масамбуко с соавт [5]. Эти аномалии СК отражают структурные нарушения, которые обусловлены индуцированными хромосомными повреждениями. Возможность выявления таких малых структурных нарушений СКА как петли, которые не выявляются в диакинезе, характеризует чувствительность этого метода [2, 3]. Как отмечено Каликинской с соавт., на стадиях зиготены-пахитены с помощью анализа СК хромосомные перестройки были обнаружены в 63 % сперматоцитов, а в диакинезе 1 у тех же животных перестройки обнаружены только в 32 % клеток, включая одну реципрокную транслокацию (межхромосомные), также внутривхромосомные (хроматидные) аберрации аутосом [7]. Поскольку синаптомемный комплекс формируется в первой мейотической профазе, анализ СК позволяет идентифицировать некоторые аномалии, которые на поздних стадиях могут пройти незамеченными, хотя они могут быть причиной мейотического ареста (остановки сперматогенеза) или гибели клеток после индуцированного воздействия. Необходимо отметить, что данные о количестве структурных нарушений, получаемые на поздних стадиях профазы мейоза (на стадии поздней пахитены), могут быть несколько занижены, поскольку на этой стадии происходит синоптическая коррекция. При

этом в результате негомологического синапсиса, некоторые аномалии морфологии СК нивелируются, что было показано на мутантных линиях мышей [14].

Как отмечает Йоханниссон с соавт., индуцированные аномалии не всегда могут быть статистически значимы, но несмотря на это приводят к снижению фертильности [6].

Итак, в заключении следует отметить, что проведенный электронно-микроскопический анализ СК облученных мышей показал тенденцию к постепенному уменьшению количества структурных нарушений в потомстве. Эта тенденция, вероятно, связана с арестом сперматогенеза, в результате которого нарушается процесс дифференциации мейоцитов, что приводит к потере фертильности самцов и гибели части мейотических клеток, несущих некоторые хромосомные аномалии. Как было показано нами ранее: прямая зависимость плодовитости облученных мышей от величины полученной дозы облучения для каждого t-гаплотипа, подвергшихся воздействию увеличенного радиационного фона в 30 км зоне ЧАЭС [10]. Полученные данные подтверждают роль повреждающего эффекта радиации на структуру мейотических хромосом (СК).

### Выводы

С помощью электронной микроскопии на распластанных сперматоцитах были продемонстрированы изменения в структуре СК, которые отражают различные нарушения синапсиса мейотических хромосом, как результат образования структурных нарушений. Этот ЭМ анализ СК является особенно подходящим для исследования индуцированных нарушений хромосом как физическими, так и химическими агентами, что согласуется с результатами других исследователей [15, 16].

Авторы выражают признательность за помощь в работе М.В. Белоглазову (Ин-

ститут проблем Экологии и Эволюции имени А.Н. Северцова РАН).

### Список литературы

1. Захаров В.М., Крысанов Е.Ю., Пронин А.И. Цитогенетический гомеостаз // Последствия Чернобыльской катастрофы. Здоровье среды. – Москва, 1996. – С. 25–27.
2. Moses M.J. The synaptonemal complex as an indicator of chromosomal damage // Genetics. – 1979. – Vol. 92. – P. 573–582.
3. Cawood A.H., Breckon G. Synaptonema I complexes as indicator of induced structural change in chromosomes after irradiation of spermatogonia // Mutation Res. – 1983. – Vol. 132. – P. 149–154.
4. Cawood A.H., Breckon G. Transmission of three radiation induced translations in the Syrian hamster. 1. Chromosome studies of male meiosis pachytene to metaphase II // Chromosoma. – 1989. – Vol. 98. – P. 331–305.
5. Backer L.C., Sontag M.R., Allen J.W. Stage-specific damage to synaptonemal complexes and metaphase chromosomes induced by X-rays in male mouse germ cells // Radiat. Res. – 1991. – Vol. 235. – P. 187–196.
6. Moses M.G. Meiosis, synaptonemal complex and cytogenetic analysis // Bioregulators of Reproduction (Eds. G. Gagiello and H.G. Vogel.). – New-York: Acad. Press, 1982. – P. 93–113.
7. Коломиец О.Л., Мазурова Т.Ф., Померанцева М.Д., Чехович А.В., Богданов Ю.Ф. Электронно-микроскопический анализ синаптонемных комплексов самцов лабораторных мышей, экспонировавшихся в период эмбриогенеза в районе Чернобыльской АЭС // Генетика. – 1992. – Т. 28, № 9. – С. 4–57.
8. Masumbuko M.B., Freund M.B., Meuer R.D. Synaptonemal complex alteration in X-irradiation and in osterogen-treated mice: a comparative study // Mutation Res. – 1992. – Vol. 282. – P. 3–12.
9. Johannison R., Mormel R., Brandenburg B. Synaptonemal complex damage in fetal mouse oocytes induced by ionizing irradiation // Mutation Research. – 1994. Vol. 311. – P. 319–328.
10. Pujol R., Cusido L., Rubio A., Egozcue J., Garcia M. Effect of X-rays on germ cells in female of *Rattus norvegicus* irradiated at three different times of gestation // Mutation Res. – 1996. – Vol. 356. – P. 247–253.
11. Волгарева Г.М., Сафронова Л.Д. Электронно-микроскопический анализ синаптонемных комплексов у мышей после вакцинации // Генетика. – 1991. – Т. 27, № 8. – С. 1410–1423.
12. Dresser M.E., Moses M.J. Synaptonemal complex karyotyping in spermatocytes of the Chinese

- hamster (*Cricetullus griseus*). IV. Light and electron microscopy of synapsis and nuclear development by silver staining // *Chromosoma*. – 1980. – Vol. 76. – P. 1119–1126.
13. Сафронова Л.Д., Шустрова И.В., Митрофанов В.Г. Влияние повышенного радиационного фона на мышей, несущих летальные t-гаплотипы // *Генетика*. – 1998. – Т. 34, № 5. – С. 682–687.
  14. Borodin P.M., Rodionova M.I., Sablina O.V., Gorlov I.P. Unusual heteromorphous bivalents in the common vole (*Microtus arvalis*) // *Cytogenet. Cell Genet.* – 1992. – Vol.60. – P. 123–127.
  15. Каликинская Е.И., Богданов Ю.Ф., Коломиец О.Л., Шевченко В.А. Анализ хромосомных перестроек на основе синаптонемных комплексов у потомков мышей, облученных гамма-лучами // *Генетика*. – 1986. – Т. 22. – С. 1119–1126.
  16. Davisson M.T., Poorman P.A., Roderick T.H., Moses M.J. A pericentric inversions of the mouse // *Cytogenet. Cell Genet.* – 1981. – Vol. 30. – P. 70–76.
  17. Померанцева М.Д., Рамаи Л.К., Чехович А.В. Генетические последствия аварии на Чернобыльской АС у мышей // *Генетика*. – 1996. – Т. 32, № 2. – С. 298–383.

Представлена В.А. Кунахом  
Поступила 23.11.2011

**ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ  
СИНАПТОНЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ МЕЙОЦИТІВ  
МИШЕЙ, ЩО ЕКСПОНУВАЛИСЯ У ЗОНІ  
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС**

*Л.Д. Сафронова, І.В. Шустрова*

Інститут проблем екології та еволюції ім. А.Н. Се-  
верцова Російської Академії наук  
Росія, 117071, Москва, Ленінський пр., 33  
e-mail: ldsafronova@gmail.com

Вивчено вплив радіації на поведінку мейотичних хромосом у самців *Mus musculus*, що несуть різні t-гаплотипи. Мишей експонували протягом півтора місяці в 30 км зоні Чорнобильської АЕС. За допомогою електронної мікроскопії досліджували структуру синаптонемних комплексів (СК) сперматоцитів у самців та їх нащадків F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>. Показано, що тривале хронічне опромінення суттєво впливає на структуру мейотичних хромосом. Ідентифіковано різні типи походжень аутомних і статевих бівалентів. Для аутомних бівалентів характерні розриви і фрагменти, петлі, асинаптичні конфігурації, тоді як для статевих хромосом спосте-

рігаються уніваленти і кільця. У експонованих мишей частота пошкоджені хромосом за низкою ознак вища, ніж у потомства, і зменшується від першого покоління до другого. Отримані дані підтверджують роль пошкоджуючої дії радіації на структуру мейотичних хромосом, які виявляються за допомогою електронно-мікроскопічного аналізу СК, що узгоджується з результатами інших дослідників.

**Ключові слова:** синаптонемний комплекс, мейотичні хромосоми, мейоцити, t-гаплотипи.

**SUBMICROSCOPIC ANALYSIS OF THE  
SYNAPTONEMAL COMPLEXES IN MICE  
MEIOCYTES EXPOSED IN THE ZONE OF  
CHERNOBYL'SKAYA APP**

*L.D. Safronova, I.V. Shustrova*

A.N. Severtsova Institute of ecology and evolution problems of Russian Academy of Sciences  
Russia, 117071, Moscow, Leninsky av., 33  
e-mail: ldsafronova@gmail.com

The effect of radiation on behavior of meiotic chromosomes in *Mus musculus* males carrying various t-haplotypes has been studied. Mice were exposed for 1.5 months within 30 km zone of Chernobyl'skaya APP. Through submicroscopy evaluated structure of the synaptonemal complexes (SC) in male spermatocytes and their offspring F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> was evaluated. Prolong chronic irradiation was shown to essentially affect the structure of the meiotic chromosomes. Various types of lesions for autosomal and sexual bivalents were identified. The autosomal bivalents are distinguished by breaks and fragments, loops, asynaptic configurations, while sexual chromosomes demonstrate univalents and rings. In exposed mice, the frequency of chromosomal damage in a number of features is higher than in the offspring and decreases from the first generation to second. The obtained data seem to confirm the role of damaging effect of radiation on the structure of the meiotic chromosomes as revealed through submicroscopic analysis of SC that is consistent with other workers.

**Key words:** synaptonemal complex, meiotic chromosomes, meiocytes, t-haplotypes.