

МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИЙ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ, ОБИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА

А. Г. Кудяшева, О. Г. Шевченко, Л. А. Башлыкова, Н. Г. Загорская

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Обобщены результаты исследований популяций мелких млекопитающих, обитающих длительное время в условиях повышенного уровня радиоактивности (с 1981 - 1999 гг. на территории бывшего радиевого промысла Республики Коми и 1986 - 1993 гг. в 30-километровой зоне отчуждения ЧАЭС). Результаты показали существенные изменения популяционных характеристик, морфофизиологических, цитогенетических параметров, а также глубокие нарушения в системе регуляции перекисного окисления липидов и энергетического обмена в разных тканях у животных, обитающих на радиоактивных участках. Полученные данные свидетельствуют о нестабильном состоянии популяций диких грызунов в условиях радиоактивного загрязнения и позволяют сделать вывод о формировании на данных территориях качественно новых субпопуляций мышевидных грызунов.

Чернобыльская катастрофа со всей остротой поставила перед наукой вопрос о биологическом действии ионизирующей радиации в малых дозах. Большую актуальность приобрела проблема общности и различий в механизме действия острого и хронического облучения в малых дозах на живые организмы в природных условиях, когда значительные территории стали зоной повышенного экологического и биологического риска. С позиций классической радиобиологии невозможно дать прогноз отдаленных последствий и оценку риска популяций животных в изменившейся антропогенной среде, и объяснить появление столь неожиданно больших эффектов. Наиболее полная оценка этих последствий возможна только в рамках комплексных исследований. Однако выполнение таких работ связано со сложностью анализа и интерпретации полученных данных, поскольку в природной среде организмы существуют в условиях постоянного изменения разных факторов. Так, сильное модифицирующее влияние оказывают постоянно действующие экологические факторы [1, 2]. Остаются неизученными вопросы, как в отдаленном будущем будут существовать популяции животных, какие возможны генетические изменения, за счет каких процессов может происходить адаптация организмов к повышенному уровню радиации? Проведенный мониторинг популяций мелких млекопитающих, обитающих в условиях повышенного уровня радиоактивности на территории бывшего радиевого промысла в Республике Коми и 30-километровой зоне отчуждения ЧАЭС, позволяет в определенной мере ответить на эти вопросы.

Идеальным объектом для проведения многолетних исследований оказались дикие мышевидные грызуны, постоянно обитающие на радиоактивно загрязненных территориях – в силу их многочисленности, максимального контакта с α -, β - и γ -излучающими радионуклидами почвенного покрова, относительной (по сравнению с растениями, насекомыми и т.п.) близости к человеку. Полученные ранее результаты позволили сделать вывод, что мышевидные грызуны, в частности полевки-экономки, могут быть использованы в качестве тест-объектов для оценки состояния биогеоценозов с повышенным естественным радиационным фоном. Впоследствии было установлено, что этот объект пригоден и для биоиндикации радиоактивного загрязнения техногенного происхождения [3, 4].

Цель работы заключалась в сравнительной оценке состояния популяций мышевидных грызунов при длительном пребывании их в условиях повышенного уровня радиоактивности (стационары в Республике Коми и зоне отчуждения ЧАЭС) на основании комплексного анализа экологических, морфофизиологических, цитогенетических, биохимических и биофизических показателей в тканях животных.

Материал и методы

В среднетаежной подзоне Республики Коми исследования проводили с 1981 по 1999 гг. на наиболее распространенном виде - полевке-экономке на трех участках (радиевом, уран-радиевом и контрольном), где диапазон внешнего γ -фона составлял от 0,1 до 3,0 мР/ч, а в Украинском Полесье с 1986 - 1993 гг. - на пяти видах мышевидных грызунов (полевой мышью, полевке-экономке, рыжей полевке, обыкновенной полевке, желтогорлой мышью) на семи участках (диапазон мощностей доз внешнего γ -фона в 1987 г. составлял от 0,02 до 200 мР/ч). Подробная радиационная обстановка на исследуемых территориях приведена в [4 - 6]. В качестве биологического контроля были использованы животные, отловленные в окрестностях Киева, Сыктывкара и на участках с нормальным γ -фоном в Ухтинском районе Республики Коми. Проанализированы показатели от более 700 полевок-экономок, отловленных на стационарных участках в Республике Коми и от более 1000 животных — из районов аварии ЧАЭС и окрестностей Киева. Для исследований использовали разные ткани и органы грызунов. Анализ проводили с помощью экологических (численность животных, половозрастная структура, продолжительность жизни и размножения, его интенсивность, скорость роста и развития), морфофизиологических (массы тела, печени, селезенки, индексы органов), генетических и цитогенетических (эмбриональная и детская смертность, перестройки хромосом), биохимических (состав фосфолипидов, обобщенные показатели липидного обмена, активность ферментов дегидрирования и антиоксидантной защиты), биофизических (антиокислительная активность липидов, интенсивность процессов ПОЛ) и статистических методов, подробно описанных в работах [4, 5, 7].

Результаты и обсуждение

Как известно, популяции животных представляют сложные саморегулирующие системы открытого типа и они способны приспосабливаться к антропогенной среде. Однако такие популяции зверьков существенно отличаются от тех, которые обитают на фоновых территориях, что проявляется в изменении их чувствительности к действию факторов различной природы [8]. В Коми эти популяции обитают уже более 50 лет и количество поколений, сменившихся за эти годы, существенно выше, поэтому на радиоактивных участках сложились свои субпопуляции полевок-экономок. Это подтверждается как нарушением закономерного изменения самих фаз популяционного цикла, так и повышением спонтанного уровня мутационной изменчивости и изменением репродуктивного поведения у потомков зверьков с радиоактивных участков [9, 10].

Так, на северном стационаре в Коми все фазы популяционного цикла (депрессия, подъем, пик и спад) у полевок контрольного и радиевого участков совпадали, лишь на уран-радиевом участке наблюдали длительные периоды низкой численности (рис. 1А) [5, 10]. В 30-километровой зоне ЧАЭС наблюдали отсутствие закономерных фаз численности, асинхронность изменения численности на разных участках, длительные периоды спада численности, связанные с резким изменением радиационной обстановки, которая вызвала повышенную смертность отдельных возрастных групп наиболее радиочувствительных видов. Эти данные свидетельствуют о том, что популяции животных (особенно характерно для полевки-экономки) находятся в пессимальных условиях, сходных с условиями обитания на границе ареала этого вида (см. рис. 1 Б) [9].

У полевок из Коми обнаружены также существенные изменения взаимосвязанности между массой тела и массой печени и/или селезенки зверьков, отловленных на радиевом и уран-радиевом участках, по сравнению с аналогичными закономерностями у полевок с контрольного стационара в зависимости от фазы популяционного цикла [5, 10]. Следует обратить внимание на отсутствие для большинства из исследованных морфофизиологических показателей линейной зависимости между масштабом их изменения и уровнем внешнего γ -фона на радиевом и уран-радиевом участках отлова, а также более выраженному влиянию пола зверьков из природных популяций при оценке биологических последствий

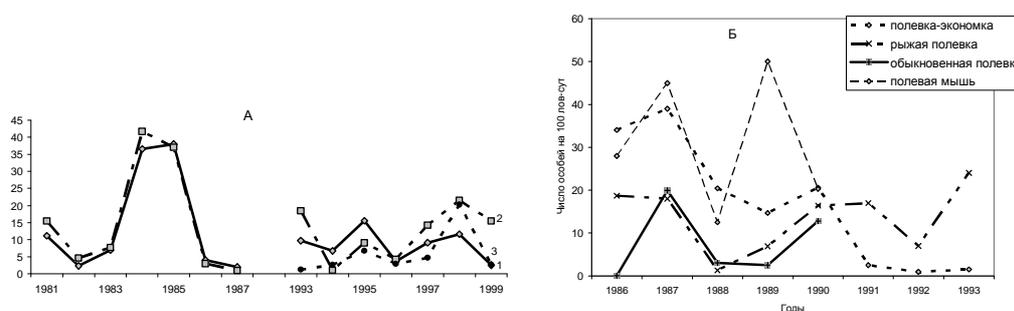


Рис. 1. Численность мышевидных грызунов (А - полевков-экономок на стационарах в Республике Коми: 1 – контрольный, 2 – радиевый, 3 – уран-радиевый участки; Б - некоторых видов грызунов в 30-километровой зоне ЧАЭС).

воздействия различных неблагоприятных экологических факторов. Эти выводы согласуются с результатами наших работ, полученными на животных из зоны аварии [4] и подтверждаются исследованиями изменчивости массы селезенки и печени полевков-экономок разного возраста и пола в зависимости от мощности дозы на индивидуальных участках отлова зверьков на радиевом стационаре, обнаруженные еще 1970-е годы. При этом увеличивается вариабельность половозрастной структуры популяций, повышается эмбриональная и постнатальная смертность особей. Заметим, что компенсация эмбриональных потерь и поддержание численности грызунов изучаемых популяций происходит за счет стимуляции полового созревания и процесса размножения зверьков, отловленных на радиоактивных участках [5, 7]. Тем не менее, наряду с увеличением интенсивности размножения у данных животных проявляются признаки преждевременного старения и тенденция к сокращению продолжительности жизни в условиях вивария; у зверьков, отловленных на радиевом стационаре, обнаружена высокая эмбриональная и детская смертность [5, 9].

Как показал хромосомный анализ клеток костного мозга полевков-экономок с радиевого и уран-радиевого стационаров в Республике Коми количество структурных aberrаций хромосом у них выше в 3 - 3,5 раза, чем в контроле (табл. 1). Более 70 % от всех структурных aberrаций составляют хромосомные aberrации. На радиоактивных участках обнаружены животные с хромосомными несимметричными транслокациями типа дицентриков и колец, являющимися маркерами радиационного поражения хромосом. Последние особенно многочисленны у зверьков с уран-радиевого участка. Уровень хроматидных aberrаций у полевков с радиоактивных участков значительно выше, чем у животных контрольного участка. Частота гиподиплоидных и гипердиплоидных клеток у этих зверьков достоверно превышает таковую для контрольной популяции [5, 7, 9].

Таблица 1. Результаты цитогенетического анализа клеток костного мозга полевков-экономок из Республики Коми, %

Показатель	Участки		
	контрольный	радиевый	уран-радиевый
Число животных	12	7	14
Исследовано метафаз	1750	560	1296
Структурные aberrации	0,7	2,5	2,0
Хроматидные	0,2	0,7	0,63
в т.ч. обмены	0	0,18	0
Хромосомные	0,5	1,8	1,5
в т.ч. обмены	0	0,18	0,42
Геномные aberrации			
Гиподиплоидные	7,4	8,5	8,3
Гипердиплоидные	0,06	0,53	0,42
Полиплоидные	1,9	2,5	1,4

В популяции полевков-экономок с уран-радиевого участка обнаружена мутация кариотипа ($2n = 31$ вместо $2n = 30$). Она характеризуется тем, что в кариотипе произошло разделение одной метацентрической хромосомы (из 12-й пары) на две аacroцентрические хромосомы, которые относят к хромосомным мутациям по типу робертсоновских перестроек У полевков-экономок из 30-километровой зоне ЧАЭС (сильно- и среднезагрязненные участки – 1, 2) отмечали значительное (в 3 - 5 раз) повышение частоты структурных aberrаций хромосом по сравнению с контролем (табл. 2). Обнаружены повреждения хромосом — обмены (дицентрики, кольца), клетки с множественными aberrациями (до 9). Повреждения хромосом были более существенные на участке с меньшим уровнем радиоактивного загрязнения.

Таблица 2. Хромосомный анализ полевки-экономки из района аварии на ЧАЭС, %

Показатель	Участки						
	Контроль- ный	1-й участок			2-й участок		
		1983 г.	1986 г.	1987 г.	1988 г.	1986 г.	1987 г.
Число животных	12	12	7	4	11	19	6
Исследовано метафаз	1750	1217	597	404	987	1859	609
Структурные aberrации	0,7	2,6	2,5	3,7	2,9	3,5	2,6
хроматидные	0,2	1,0	1,0	1,5	1,2	1,1	0,7
хромосомные	0,5	1,6	1,5	2,2	1,7	2,1	1,9
в т.ч. обмены	0	0,3	0	0,3	0,1	0,3	0,2
Полиплоидные	1,9	1,6	1,7	2,2	0,7	1,5	0,8
в т.ч. бп, 8 n	0	0,5	0	0	0	0	0

Результаты анализа аномальных головок спермиев у мышевидных грызунов из зоны аварии на ЧАЭС свидетельствуют о том, что максимальные уровни нарушений у животных со всех участков наблюдали в первые годы после аварии (1986 - 1987). Генетический эффект был более выражен у животных, отловленных на участках со средним уровнем радиоактивного загрязнения. В 1990 г. у зверьков всех исследованных видов на большинстве участков отмечены наименьшие значения данного показателя, после чего к 1993 г. следовало существенное повышение частоты нарушений. Частота микроядер в клетках костного мозга была повышена в течение трех - пяти лет после аварии до 10 - 24 %, что на порядок выше спонтанного уровня. К 1991 г. у всех исследуемых видов отмечается сокращение частоты микроядер, что может быть объяснено снижением уровня радиационного фона в 5 - 10 раз. Снижение уровня микроядер происходит с запаздыванием на один год по сравнению с уменьшением частоты аномальных головок спермия. Обнаружены различия в чувствительности к радиоактивному загрязнению животных разного возраста [9].

Итак, представленные данные свидетельствуют о неблагоприятном состоянии популяций мышевидных грызунов, обитающих в условиях повышенного радиационного фона. Это подтверждается и результатами биохимических исследований, дополняющих представление о состоянии исследуемых популяций животных. Изучение состава фосфолипидов, интенсивности процессов перекисного окисления липидов, активности ферментов антиоксидантной защиты и ферментов цикла Кребса и гликолиза выявляет особенности функционального состояния тканей диких грызунов.

Если у мышевидных грызунов с контрольных участков изменчивость указанных выше показателей обусловлена их исходным состоянием, сменой фазы популяционного цикла, а их вариабельность зависит от физиологического состояния, пола и возраста зверьков [2, 11], то для животных с радиоактивных участков существенные биохимические изменения в разных тканях имеют явно выраженную радиационную природу. Обнаружено сходство хрониче-

ского действия радиации низкой интенсивности в природной среде как в Коми, так и на Украине по сравнению с действием острого облучения, которое выражается в следующем: обеднении липидов антиоксидантами (рис.2 и 3); значительных колебаниях в содержании основных и минорных фракций фосфолипидов, доли фосфолипидов в составе общих липидов в органах; соотношениях суммарных показателей легко- и трудноокисляемых фракций фосфолипидов; в соотношениях основных фракций фосфолипидов; высоком относительном содержании лизофосфатидилхолина в составе фосфолипидов; длительно

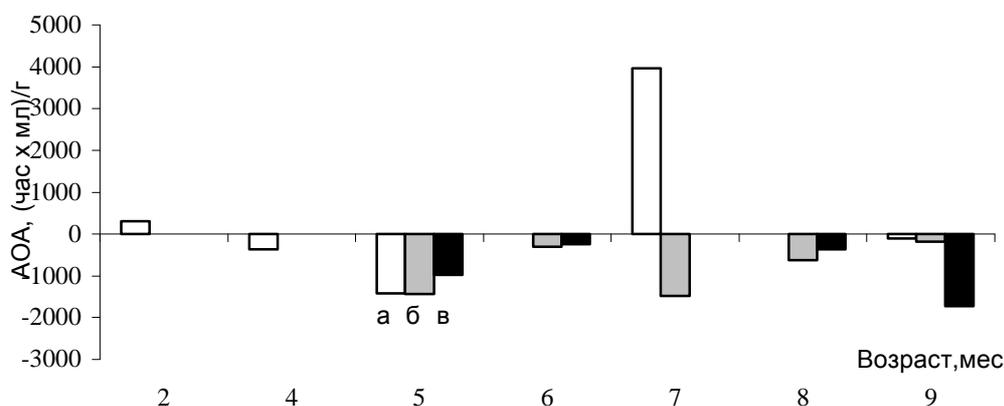


Рис. 2. Уровень антиокислительной активности липидов (АОА, в час x мл/г) в печени полевок-экономок из Республики Коми (*а* – контрольного участка, *б* – радиового участка, самцы, *в* – радиового участка, самки) в зависимости от возраста животных.

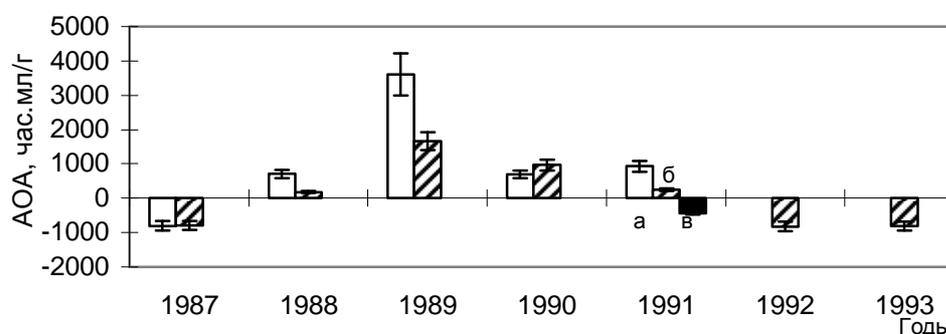


Рис. 3. Уровень антиокислительной активности липидов (АОА, час x мл/г) в печени половозрелых полевок-экономок из зоны аварии на ЧАЭС (*а* – участок 6, слабозагрязненный, *б* – участок 4, среднезагрязненный, *в* – участок 1, сильнозагрязненный).

сохраняющихся нарушениях процессов дегидрирования и активности ферментов антиоксидантной защиты (снижение активности сукцинат-, пируват- и лактатдегидрогеназ, разнонаправленный характер изменений активности каталазы, пероксидазы, супероксиддисмутазы и дискоординация катализируемых ими ферментативных процессов), изменения интенсивности перекисного окисления липидов в зависимости от радиочувствительности органа и характера радиоактивного загрязнения участка. Масштаб и направленность этих изменений определяется исходным уровнем перечисленных выше параметров, видом, полом, физиологическим состоянием зверьков и фазой популяционного цикла [4,5].

Хотя радиоэкологическая характеристика участков в районе аварии на ЧАЭС и территорий с повышенным радиационным фоном в Республике Коми существенно различаются по химическому составу радионуклидов и времени действия радиационного фактора, обнаружены однотипные биохимические изменения в органах и тканях у мышевидных грызунов природных популяций, в то время как глубина и масштаб этих изменений и нарушений существенно выше у грызунов из зоны аварии (рис.4 и 5). Особенно необходимо отметить длительность сохранения измененного антиоксидантного статуса, энергетической обеспеченности в органах и тканях и нарушение барьера нескрещиваемости у потомства полевков, полученных от зверьков с радиоактивных участков по сравнению с показателями у потомков полевков с контрольного участка. В зоне аварии ЧАЭС наблюдающиеся метаболические изменения в течение исследуемого периода времени (8 - 10 лет после аварии), очевидно, не позволяют рассматривать как адаптационные. В целом полученные данные свидетельствуют, что полного восстановления процессов регуляции в тканях и органах животных из зоны аварии не произошло. Столь существенные изменения показателей состояния организма животных на участках с повышенным радиационным фоном как в зоне аварии, так и в Республике Коми могут привести к увеличению неспецифической реакции организма, повышению или понижению индивидуальной чувствительности животных как к

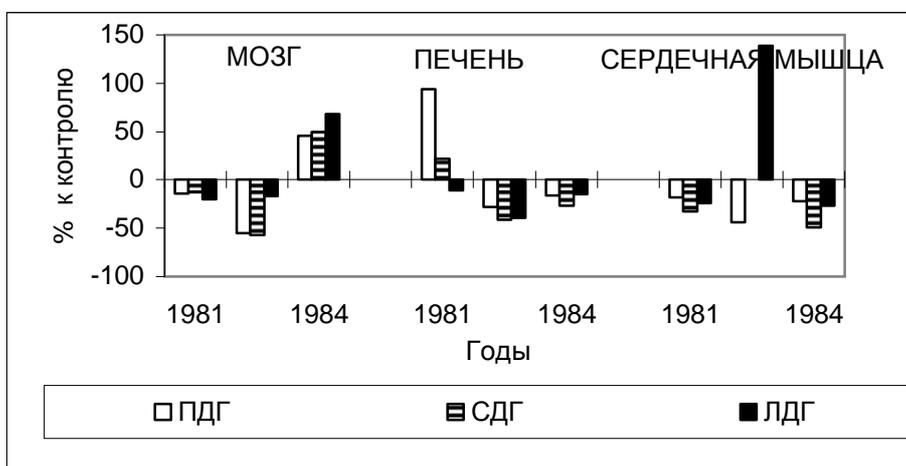


Рис.4. Активность ферментов энергетического обмена (СДГ – сукцинатдегидрогеназа, ПДГ – пируватдегидрогеназа, ЛДГ – лактатдегидрогеназа) в различных тканях полевок-экономок радиевого участка.

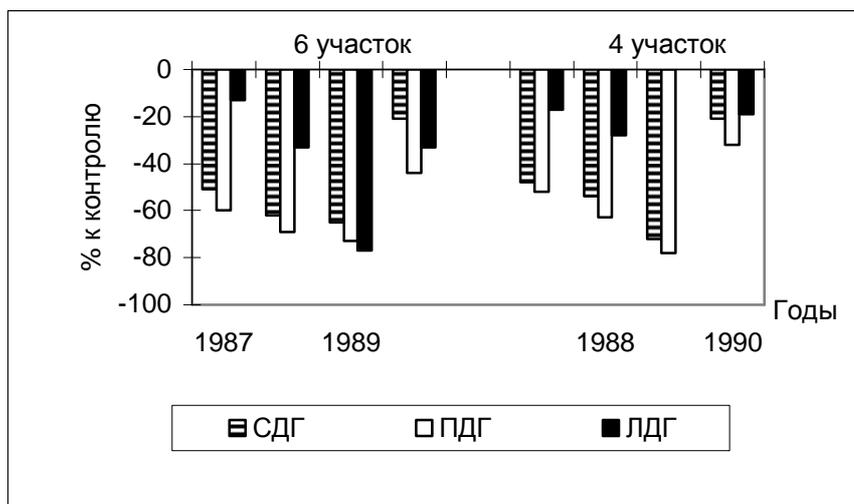


Рис. 5. Динамика активности ферментов (условные обозначения такие же, как на рис. 4) в головном мозге полевок-экономок из 30-километровой зоны аварии на ЧАЭС.

радиационному, так и к другим воздействиям, что было показано нами в экспериментах на полевках с дополнительным острым и хроническим облучением в малых дозах [4, 5, 9, 11].

Необходимо отметить, что в условиях радиоактивного загрязнения среды обитания глубина нарушений липидного обмена, обеспеченности тканей энергией и генетические последствия для природных популяций грызунов оказались значительно больше, чем в лабораторных экспериментах с хроническим внешним γ -облучением животных. Эти данные свидетельствуют, что при прогнозировании биологических последствий воздействия неблагоприятных факторов на биоту следует учитывать действие всего комплекса факторов среды радиационной и нерадиационной природы, что может привести к синергическим эффектам ответных реакций организмов природных популяций.

Таким образом, представленные данные позволяют сделать вывод, что за исследуемый период произошли качественные изменения популяций мышевидных грызунов, обитающих в условиях повышенного радиационного фона, которые показали нестабильность популяций животных в условиях радиоактивного загрязнения. Очевидно, процесс адаптации к хроническому низкоинтенсивному радиационному воздействию в естественных условиях обитания диких грызунов обусловлен переходом клеточных систем регуляции на новый уровень функционирования и направлен на выживание популяций и поддержание гомеостаза в изменившихся радиоэкологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернявский Ф.Б., Ткачев А.В. Популяционные циклы леммингов в Арктике. Экологические и эндокринные аспекты. - М.: Наука, 1982. - 164 с.
2. Шевченко О.Г., Шишкина Л.Н., Кудяшева А.Г. Влияние популяционных факторов на состав фосфолипидов различных тканей природных популяций полевки-экономки *Microtus oeconomus* // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2002. Т.38, №2. - С. 131 - 135.
3. Соколов В.Е., Кривоуцкий Д.А., Усачев В.Л. Дикие животные в глобальном радиоэкологическом мониторинге. М.: Наука, 1989. - 150 с.
4. Кудяшева А.Г., Шишкина Л.Н., Загорская Н.Г., Таскаев А.И. Биохимические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов. СПб.: Наука, 1997. - 156 с.
5. Кудяшева А.Г., Шишкина Л.Н., Шевченко О.Г., Башлыкова Л.А., Загорская Н.Г. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - 214 с.
6. Маслова К.И., Маслов В.И. Действие ТЕРН на животных (на примере популяции полевки-экономки *Microtus oeconomus* Pall.) // Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы. - М.: Наука, 1990. - С. 234 - 282.
7. Кудяшева А.Г., Шишкина Л.Н., Шевченко О.Г. и др. Мониторинг популяций полевок-экономок (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих в условиях повышенного радиационного фона // Радиационная биология. Радиоэкология. 2004. - Т.44. №3. - С. 262 - 268.
8. Яблоков А.В. Сравнение естественной и техногенной компоненты облучения с микроэволюционной точки зрения // Тез. докл. Междунар. конф. «Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды» (Сыктывкар, 20 - 24 марта 2001 г.). - Сыктывкар, 2001 - С. 256.
9. Башлыкова Л.А. Эколого-генетические процессы в популяциях мышевидных грызунов, обитающих в условиях радиоактивных загрязнений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Сыктывкар, 2000. - 20 с.
10. Загорская Н.Г., Кудяшева А.Г., Башлыкова Л.А. Динамика численности и некоторых морфофизиологических показателей полевок-экономок, обитающих в разных радиоэкологических условиях // Радиоэкология и биология низкоинтенсивных воздействий. - Сыктывкар, 2003. - С. 19 - 34.
11. Шевченко О.Г. Состояние процессов перекисного окисления липидов в тканях мышевидных грызунов из районов с повышенной естественной радиоактивностью: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - М., 2001. - 24 с.

Поступила в редакцию 25.10.04,
после доработки - 17.01.05.

23 МОНІТОРИНГ ПОПУЛЯЦІЙ МИШЕВИДНИХ ГРИЗУНІВ, ЯКІ ЖИВУТЬ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОГО РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ

А. Г. Кудяшева, О. Г. Шевченко, Л. А. Башликова, Н. Г. Загорська

Узагальнено результати досліджень популяцій дрібних ссавців, які живуть тривалий час в умовах підвищеного рівня радіоактивності (з 1981 - 1999 рр. на території колишнього радіевого промисла Республіки Комі і 1986 – 1993 рр. в 30-кілометровій зоні відчуження ЧАЕС). Результати показали істотні зміни популяційних характеристик, морфологічних, цитогенетичних параметрів, а також глибокі порушення в системі перекисного окислення ліпідів і енергетичного обміну у різних тканинах у тварин, які живуть на радіоактивних ділянках. Отримані дані свідчать про нестабільний стан популяцій диких гризунів в умовах радіоактивного забруднення й дають змогу зробити висновок про формування на даних територіях якісно нових субпопуляцій мишовидних гризунів.

23 MONITORING OF WILD RODENTS POPULATION INHABITING AREAS WITH INCREASED RADIATION BACKGROUND

A. G. Kudyasheva, O. G. Shevchenko, L. A. Bashlykova, N. G. Zagorskaya

The data of complex examinations of morphophysiological state of wild rodents, the lipid peroxidation processes and the energy exchange in their organs, the cytogenetic analysis of marrow cells and the process of multiplication in populations inhabiting areas with increased natural radiation and in 30-km zone of the Chernobyl NPS. The data obtained support the existence of qualitative differences of wild rodents subpopulations inhabiting control and radioactive nuclide contaminating areas. They allow to suppose that the process of adaptation to chronic low intensity radiation effect of wild rodents in natural conditions involves the transition of the lipid peroxidation and another regulatory systems to different level of function and is directed on population survival and homeostasis maintenance in changing radioecological conditions.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Кудяшева Алевтина Григорьевна, д.б.н., с.н.с., зав. лабораторией радиэкологии животных и растений, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; тел.: (8212)43-04-78, факс: (8212)43-04-78. E-mail: kud@ib.komisc.ru
2. Шевченко Оксана Георгиевна, к.б.н., н.с., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; тел.: (8212)43-04-78, факс:
3. Башлыкова Людмила Анатольевна, к.б.н., с.н.с., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; тел.: (8212)43-63-01, факс: (8212)43-04-78.
4. Загорская Надежда Гавриловна, н.с., Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; тел.: (8212)43-04-78, факс: (8212) 43-04-78.