

УДК 599.323.43:574.24:539.16.04:470.13

## ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ПОЛЕВКИ-ЭКОНОМКИ НА ТЕРРИТОРИИ С ПОВЫШЕННЫМ УРОВНЕМ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ

© 2013 А.Г. Кудяшева

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар

Поступила в редакцию 08.04.2013

Долгосрочный (в течение 50 лет) анализ накопления радия в организме полевки-экономки (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающих на радиоактивных участках показал, что с 1990-х годов до настоящего времени наблюдается повышение содержания  $^{226}\text{Ra}$ . В тканях полевки-экономки с радиоактивных участков обнаружены как адаптивные перестройки клеточных систем регуляции, так и значительные изменения процессов энергетического обмена и перекисного окисления липидов в тканях, приводящие к дисбалансу и нарушению коррелятивных связей биохимических показателей, зависящие от фазы популяционного цикла и уровня радиоактивного загрязнения.

Ключевые слова: *естественная радиоактивность, аккумуляция, радионуклиды, энергетический обмен, перекисное окисление липидов*

Важной задачей экологии является изучение реакции биоты и ее представителей на воздействие внешних факторов, к которым можно отнести повышенный уровень естественной радиоактивности, а также выявление механизмов поддержания стабильности популяций в изменившихся условиях окружающей среды. Установлено, что именно мышевидные грызуны в силу своих экологических особенностей относятся к представителям фауны таежных биогеоценозов, наиболее тесно контактирующих с радионуклидами, содержащимися в почвенном покрове, и являются удобными тест-объектами для радиоэкологического мониторинга. В процессах биогенной миграции естественных радионуклидов активно участвуют мышевидные грызуны, которые способны накапливать радионуклиды в своем организме [1]. До сих пор в радиоэкологических исследованиях слабо уделяется внимание такому вопросу как аккумуляция тяжелых естественных радионуклидов в организме. Имеются сведения о многолетней динамике содержания искусственных радионуклидов у разных видов грызунов, обитающих на территориях восточно-уральского радиоактивного следа и в зоне аварии на Чернобыльской АЭС [2, 3]. Процессы накопления и миграции радиоактивных элементов в организме животных по компонентам экосистемы раскрывают экологические особенности мелких млекопитающих в условиях радиоактивного загрязнения. В адаптации организма к условиям, возникающих при воздействии малых доз ионизирующей радиации в среде обитания, самым непосредственным образом участвуют клеточные системы регуляции, играющие ключевую роль в поддержании гомеостаза организма.

**Цель работы:** обобщение многолетних данных аккумуляции  $^{226}\text{Ra}$  организмом полевки-экономки (*Microtus oeconomus* Pall.), обитающей на фоновых и радиоактивных участках и анализа процессов энергетического обмена и перекисного окисления липидов (ПОЛ) в различных органах и тканях этих животных.

**Материал и методы исследования.** Исследования мышевидных грызунов проведены на территории бывшего радиевого производства в Республике Коми, Ухтинском районе в течение 1981-1984, 1993-2009 гг. на контрольном, радиевом и урано-радиевом участках. Радиационная обстановка на контрольном участке во все годы исследований показала, что мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения варьировала в пределах от 0,1 до 0,15 мкЗв/ч. На радиевом участке в 1960-е гг. мощность экспозиционной дозы варьировала от 5 до 40 мкЗв/ч и к 2002-2009 гг. составляла в среднем 1,4 мкЗв/ч. На урано-радиевом участке в 1960-е гг. мощность экспозиционной дозы варьировала от 2 до 40 мкЗв/ч, в 2002-2009 гг. средняя мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения составляла 4,5 мкЗв/ч, что было выше в 3,2 раза, чем на радиевом участке [4]. Проанализировано по биохимическим и экологическим показателям за весь период исследований более 800 полевок разного возраста и пола. Выбор участков отлова грызунов, их полная радиоэкологическая характеристика, используемые экологические и биохимические параметры представлены ранее в работах [4, 5].

**Результаты и обсуждение.** В исследованиях ещё в 1970-е гг. установлено, что мышевидные грызуны аккумулируют около 90% урана, радия и тория от общего количества радионуклидов, накапливаемых всеми позвоночными животными таежных биогеоценозов [1]. Наши данные показали, что начиная с 1990-х годов до настоящего времени

Кудяшева Алевтина Григорьевна, доктор биологических наук, заведующая лабораторией радиоэкологии животных отдела радиоэкологии. E-mail: kud@ib.komisc.ru

наблюдается возрастание накопления  $^{226}\text{Ra}$  в организме полевок. За 50 лет исследований у полевок с радиового стационара содержание  $^{226}\text{Ra}$  в среднем увеличилось в 13-23 раза, с урано-радиового участка — в 17-29 раз, у животных с контрольного участка — в среднем в 100 раз (рис. 1). Возрастание накопления  $^{226}\text{Ra}$  в организме полевок можно объяснить перераспределением радионуклидов мышевидными грызунами в результате их роющей деятельности и выносом их из почвы растительностью, произрастающей на радиоактивных участках. Ранее показано, что только двумя видами (полевкой водяной и полевкой-экономкой) в течение года вовлекается в дальнейшее перераспределение до 15-20% общего количества радионуклидов, выносимых травянистой растительностью из почвы [1]. В результате их роющей деятельности в течение года на площади 1 га они могут переместить около 6 т грунта и вовлечь в процесс перераспределения до 5 мг радия, около 50 г урана и более 60 г тория. Через трофические связи полевок происходит дальнейшее перераспределение радионуклидов, выносимых растениями из почвы [1]. В настоящее время наблюдаются вторичные признаки загрязнения территорий, связанных с миграцией радия из мест захоронений, и проявляющиеся в повышении радиоактивности грунта за их пределами. Немаловажную роль в миграции радионуклидов играют растения, которые способны выносить их на поверхность почвы. В современный период содержание  $^{226}\text{Ra}$  в растениях увеличивается: на контрольном участке в среднем в 4,4-6 раз, на радиовом участке 9-13,4 раз, на урано-радиовом участке в 12 раз по сравнению с данными, полученными в 1960-е годы [6]. Несмотря на давность загрязнений и малоподвижную форму нахождения в почвах  $^{226}\text{Ra}$ , он активно перераспределяется по компонентам нарушенных экосистем: почва — растительность — животные.

Таким образом, мышевидные грызуны оказывают активное воздействие на процессы миграции естественных радионуклидов и на изменение радиационной обстановки в процессе длительного их обитания на этих территориях.

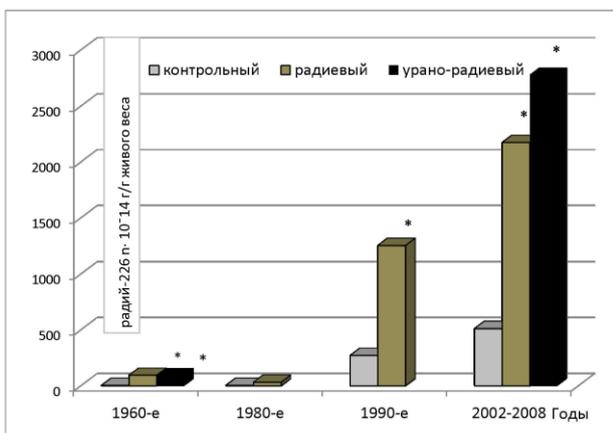


Рис. 1. Аккумуляция  $^{226}\text{Ra}$  организмом полевок в разные периоды

Известно, что поддержание гомеостаза живыми организмами осуществляется, как правило, на основе мультисистемной регуляции. Адаптационные перестройки в организме происходят за счет несколько альтернативных механизмов регуляции. Одним из возможных регуляторных механизмов и самым лабильным, быстродействующим является механизм усиления процесса ПОЛ, который является основным в формировании перестройки энергетического обмена на уровне организма [7]. Наши исследования показали модифицирующее влияние фазы популяционного цикла, возраста, исследуемого органа животных, уровня радиационного воздействия на направленность и степень выраженности биохимических эффектов у грызунов природных популяций [4]. В тканях грызунов с радиового и урано-радиового участков наблюдали уменьшение обеспеченности липидов тканей антиоксидантами и содержания фосфолипидов (ФЛ) в составе общих липидов, рост доли лизоформ ФЛ, снижение количества основных фракций ФЛ, активацию каталазы, увеличение вторичных продуктов ПОЛ [4]. У полевок радиового участка, как правило, в фазах пика и спада численности зверьков вариабельность показателей состава ФЛ достоверно выше, чем у зверьков с контрольного участка. Увеличение изменчивости параметров клеточных систем регуляции, отмеченное как в 1990-е, так и 2000-е годы, способствует расширению возможностей приспособления организмов к существованию в условиях повышенного уровня радиационного фона. Уровень функционирования важнейших систем регуляции ПОЛ и энергетического обмена можно рассматривать как разные стадии адаптивных реакций организма диких грызунов к радиоактивному загрязнению среды. У полевок с радиоактивных участков установлен иной уровень регуляции ПОЛ и энергетического обмена по сравнению с животными с контрольного участка.

Обнаружены изменения порядка расположения органов по величине антиокислительной активности липидов, активности сукцинат-, пируват- и лактатдегидрогеназ, показано существенное изменение доли не только минорных, но и основных фракций фосфолипидов в селезенке, печени и головном мозге у полевок с радиоактивных участков [4]. О нарушении клеточных систем регуляции у полевок радиового и особенно урано-радиового участков свидетельствует изменение масштаба и характера взаимосвязей между отдельными показателями состава фосфолипидов печени полевок (табл. 1), отмеченные еще в 1990-е годы. Эти данные подтверждаются результатами, полученными в 2005-2006-е годы. Так, рост коэффициента корреляции между ФХ-ЛФХ по мере загрязненности участка происходит одновременно с ростом коэффициента линейной регрессии, что указывает на активное образование лизоформ фосфолипидов из фосфатидилхолина, что особенно было выражено у полевок на спаде численности животных (табл. 2). В результате активации отдельных звеньев ПОЛ в тканях полевок с радиоактивных участков по сравнению с данными животных контрольного участка

был отмечен также дисбаланс процессов энергетического обмена, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции между сравниваемыми активностями ферментов цикла Кребса и гликолиза (табл. 3). Подобные нарушения взаимосвязей показателей ПОЛ и энергетического обмена были обнаружены и у полевок-экономок, отловленных в зоне аварии на ЧАЭС [8, 9]. Наблюдаемые нарушения клеточных систем регуляции в тканях мышевидных грызунов в условиях повышенного уровня естественной радиоактивности могут являться одними из показателей риска развития патологических изменений, происходящих на

функциональном уровне в организме животных. Совокупность многолетних данных свидетельствует об активации свободнорадикальных процессов при воздействии ионизирующего излучения в малых дозах в тканях полевки-экономки в условиях радиоактивного загрязнения территорий, что подтверждается биохимическими исследованиями, проведенными не только на зверьках природных популяций и их поколениях, но и на лабораторных животных в экспериментах при действии одного хронического низкоинтенсивного излучения, а также при совместном действии физических и химических факторов разной природы [4, 10, 11].

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции между среднегрупповым содержанием отдельных фракций фосфолипидов в печени полевок-экономок с контрольных и радиоактивных участков [4]

Фракции	Участки		
	контрольный	радиевый	урано-радиевый
ЛФХ-ФХ	-0,92±0,05	-0,76±0,13	-0,13±0,31
ФХ-ФЭ	0,95±0,03	0,39±0,26	0,04±0,32
(ФС+ФИ)-ФХ	-0,91±0,05	-0,67±0,16	-0,02±0,31

Примечание: ЛФХ – лизофосфатидилхолин, ФХ – фосфатидилхолин, ФЭ – фосфатидилэтаноламин, ФС – фосфатидилсерин, ФИ – фосфатидилинозит

**Таблица 2.** Коэффициенты корреляции R и линейной регрессии Y между содержанием отдельных фракций фосфолипидов ФХ-ЛФХ в печени полевок-экономок (самцы, самки) в разные фазы популяционного цикла в 2005-2006 гг.

Фаза цикла	Контрольный		Радиевый		Урано-радиевый	
	R	Y	R	Y	R	Y
пик	-0,69±0,20**	-0,68 (15)	-0,74±0,20**	-0,51(13)	-0,91±0,41	-1,19(3)
спад	-0,43±0,45	-0,78 (6)	-0,76±0,29*	1,51 (7)	—	—

Примечание: в скобках количество проанализированных животных, уровень значимости коэффициента корреляции \* — при  $p < 0,05$ , \*\* — при  $p < 0,01$ .

**Таблица 3.** Коэффициенты линейной корреляции r между сравниваемыми активностями дегидрогеназ у полевок контрольного и радиевого участков (объединенные данные за 4 года)

Орган	Контрольный участок			Радиевый участок		
	ПДГ-СДГ	ПДГ-ЛДГ	СДГ-ЛДГ	ПДГ-СДГ	ПДГ-ЛДГ	СДГ-ЛДГ
неполовозрелые сеголетки (самцы и самки)						
сердечная мышца	0,972*	0,942*	0,758*	0,409	0,409	0,398
печень	0,943*	0,815*	0,650*	0,838*	0,223	0,288
головной мозг	0,987*	0,850*	0,884*	0,921*	0,387	0,633*
половозрелые сеголетки (самцы и самки)						
сердечная мышца	0,678*	0,503	0,775*	-0,179	0,353	0,395
печень	0,950*	0,915*	0,795*	0,780*	0,444	0,062
головной мозг	0,988*	0,723*	0,664*	0,423	0,837*	0,934*

Примечание: ПДГ – пируватдегидрогеназа, СДГ – сукцинатдегидрогеназа, ЛДГ – лактатдегидрогеназа, \* – достоверные различия между сравниваемыми активностями ферментов при  $P \leq 0,05$ .

**Выводы:** полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод об определяющем вкладе процессов ПОЛ в механизм формирования биологических последствий для популяций мышевидных грызунов, длительное время оби-

тающих на территориях с повышенным радиационным фоном. Применяемые в работе биохимические параметры можно рекомендовать для тестирования биологических последствий радиоактивного загрязнения представителей биоты. При пла-

нировании и проведении реабилитационных мероприятий по уменьшению радиоактивного загрязнения на территориях с повышенным уровнем радиоактивности различного происхождения необходимо учитывать экологические особенности обитающих видов мышевидных грызунов на радиоактивных участках и близлежащих территориях в миграции радионуклидов по компонентам экосистемы: почва – растительность – животные.

Работа частично поддержана грантом по Программе Президиума РАН «Молекулярно-клеточная биология», П12-П-4-1021.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Маслов, В.И. Влияние жизнедеятельности мышевидных грызунов на перераспределение нуклидов урана, тория и радия в биогеоценозах повышенной радиоактивности // Миграция и биологическое действие естественных радионуклидов в условиях северных биогеоценозов. – Сыктывкар, 1980. С. 25-42.
2. Маклюк, Ю.А. Оценка параметров выведения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  из организма диких и лабораторных мелких млекопитающих *in vivo*, после их естественного загрязнения в Чернобыльской зоне / Ю.А. Маклюк, С.П. Гацак, А.М. Максименко и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47, № 5. С. 530-541.
3. Мартюшов, В.З. Экологические последствия длительного радиационного загрязнения на Южном Урале // Биоиндикация радиоактивных загрязнений / В.З. Мартюшов, Д.А. Кривоулицкий, О.В. Смирнов и др. – М.: Наука, 1999. С. 49-72.
4. Кудяшева, А.Г. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов / А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шишкина, О.Г. Шевченко и др. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 214 с.
5. Кудяшева, А.Г. Динамика численности популяций полевки-экономки и накопления животными естественных радионуклидов на территории с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения // Радиационная биология. Радиоэкология. 2009. Т. 49, № 2. С. 172-178.
6. Носкова, Л.М. Долговременная динамика радиационной обстановки на территории бывшего радиового производства / Л.М. Носкова, И.И. Шуктомова // Экология. 2009. № 1. С. 73-76.
7. Тимочко, М.Ф. Метаболические аспекты формирования клеточного гомеостаза в экспериментальных состояниях / М.Ф. Тимочко, О.П. Елисеева, Л.Л. Кобылинская и др. – Львов, 1998. 56 с.
8. Кудяшева, А.Г. Биохимические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов / А.Г. Кудяшева, Л.Н. Шишкина, Н.Г. Загорская и др. – СПб.: Наука, 1997. 156 с.
9. Shishkina, L.N. Participation of the Lipid Peroxidation Processes in the Mechanism of Wild Rodent Adaptation to Radioactive Contamination of Chernobyl NPP Zone / L.N. Shishkina, A.G. Kudyasheva, N.G. Zagorskaya et al. // The Lessons of Chernobyl: 25 Years Later / Eds. E.B. Burlakova and V.I. Naidich. – New York, Nova Science Publishers, 2012. P. 187-208.
10. Кудяшева, А.Г. Ранние эффекты раздельного и совместного действия нитрата свинца и облучения в малых дозах на морфо-физиологические и биохимические показатели мышей / А.Г. Кудяшева, О.Г. Шевченко, Н.Г. Загорская // Вестн. Поморского ун-та. Сер. Естест. и точн. Науки. 2007. № 1. С. 56-65.
11. Кудяшева, А.Г. Адаптивные реакции процессов дегидрирования у полевки-экономки при дополнительных воздействиях физической природы / А.Г. Кудяшева, А.И. Таскаев // Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51, № 5. С. 549-558.

## ECOLOGICAL-BIOCHEMICAL ANALYSIS OF *MICROTUS OECONOMUS* POPULATIONS STATE IN THE TERRITORY WITH INCREASED LEVEL OF NATURAL RADIOACTIVITY

© 2013 A.G. Kudyasheva

Institute of Biology Komi Scientific Center UrB RAS, Syktyvkar

Long-term (within 50 years) analysis of radium accumulation in the organism of *Microtus oeconomus* Pall., living on radioactive zones showed that from 1990-th years for the present time an increase of  $^{226}\text{Ra}$  content is observed. In tissue of *Microtus oeconomus* Pall. from radioactive zones are found both adaptive reorganizations of cellular systems of regulation, and considerable changes of processes of power exchange and lipids peroxidation in tissues, bringing to imbalance and violation of correlative communications of the biochemical indicators, depending on a phase of population cycle and level of radioactive pollution.

Key words: *natural radioactivity, accumulation, radionuclides, power exchange, lipids peroxidation*