

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСА МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

© 2019 А.Г. Кудяшева

Институт биологии Федерального исследовательского центра
Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар

Статья поступила в редакцию 25.01.2019

Изучена изменчивость и гетерогенность показателей антиоксидантного статуса в печени разных видов мышевидных грызунов, обитающих на территориях в условиях нормального и повышенного уровня техногенного радиоактивного загрязнения (Республика Коми, 30-км зона отчуждения Чернобыльской АЭС). Ионизирующая радиация в малых дозах в организме млекопитающих может развивать реакцию, инициирующую развитие общего адаптационного синдрома. У мелких грызунов из зоны аварии ЧАЭС установлено увеличение масштаба изменчивости и гетерогенности антиокислительной активности и состава фосфолипидов печени, чем у полевых-экономок Ухтинского стационара, что указывает о более сильном дисбалансе клеточных систем регуляции у животных из зоны аварии, особенно отмеченное в первые три года после аварии. Высокую вариабельность и гетерогенность биохимических показателей наблюдали в печени у животных, выловленных из районов с низким и средним уровнем радиоактивного загрязнения. Масштаб изменений антиоксидантного статуса в печени у зверьков в зоне Чернобыльской катастрофы зависит от вида, возраста грызунов и времени, прошедшего после аварии. Полученные данные свидетельствуют о различной степени повреждения системы антиоксидантной защиты в клетках печени у этих животных. При высокой вариабельности количественного состава фосфолипидов в печени грызунов из зоны аварии обнаружено увеличение гетерогенности самих показателей, у животных, отловленных с одного и того же участка. Через 21 год после аварии у полевых мышей с радиоактивного участка в зоне аварии зарегистрирован более стабильный состав фосфолипидов печени, который свидетельствует об относительном устойчивом состоянии мембран клеток печени. Увеличение гетерогенности ответных реакций и высокая вариабельность значений исследуемых показателей в печени грызунов природных популяций из районов с повышенным уровнем радиации, является одной из особенностей действия малых доз ионизирующей радиации и способствуют расширению потенциальных возможностей и адаптации организмов на клеточном уровне к существованию в новых условиях техногенного радиоактивного загрязнения среды обитания.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, Республика Коми, 30-км зона аварии Чернобыльской АЭС, адаптация, грызуны, печень, антиоксидантный статус, антиокислительная активность липидов, состав фосфолипидов, изменчивость, гетерогенность

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии
Федерального исследовательского центра Коми научного центра УрО РАН
«Механизмы биогенной миграции радионуклидов и закономерности возникновения
отдаленных последствий индуцированных у растений и животных в условиях
хронического радиационного и химического воздействия», № ГР АААА-А18-118011190102-7.*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из механизмов адаптационных процессов организма млекопитающих к радиоактивному загрязнению являются структурно-функциональные изменения, характеризующие метаболический гомеостаз организма, к которым следует отнести процесс перекисного окисления липидов (ПОЛ). ПОЛ и его регуляция, играет ведущую роль в модификации структуры и функции биологических мембран как в процессах нормальной жизнедеятельности, так при действии факторов физической и химической

природы [1,2,3], в том числе и ионизирующей радиации [4, 5]. Изменчивость и гетерогенность ответных реакций различных биологических систем на действие факторов низкой интенсивности являются одними из типичных ответов, ее способности к самоорганизации, адаптации [6]. Стационарность процесса ПОЛ в норме обеспечивается физико-химической системой регуляции окислительных реакций в липидах мембран, параметрами которой являются антиокислительная активность (АОА) и состав фосфолипидов (ФЛ), что ранее было изучено у лабораторных животных при действии факторов разной природы [1-5]. ПОЛ и его продукты в эволюционном плане представляют один из наиболее ранних регуляторных механизмов и высту-

Кудяшева Алевтина Григорьевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории радиэкологии животных. E-mail: kud@ib.komisc.ru

пают в роли «первичного медиатора» стресса и модификация его лежит в основе устойчивости и адаптационных возможностей организма [7]. Изучение изменчивости антиоксидантного статуса в тканях мышевидных грызунов, обитающих в условиях повышенного уровня радиации, позволят более полно оценить процессы адаптации или степень повреждений у мелких млекопитающих и судить об изменении всей системы клеточного метаболизма организма в условиях техногенного радиоактивного загрязнения среды.

Цель исследований – сравнить изменчивость антиокислительной активности и состава фосфолипидов в печени у мышевидных грызунов при обитании их на территориях в условиях техногенного радиоактивного загрязнения в Республике Коми и 30-км зоне отчуждения на Чернобыльской АЭС.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В Республике Коми объектом изучения был наиболее распространенный и доминирующий вид – полевка-экономка (*Alexandromys oeconomus* Pallas) [8], обитающий на стационарных участках в Ухтинском районе на территории бывшего радиового производства. Исследования на радиовом и урано-радиовом участках, дублировали на условно контрольных участках с аналогичными экологическими условиями, но с нормальным радиационным фоном и кларковым (фоновым) содержанием радионуклидов в почве и растениях. Радиационный γ -фон на контрольных участках варьировал в пределах от 0.08 до 0.10 мкЗв/ч, на радиовом участке – в среднем от 1.4 мкЗв/ч до 1.8 мкЗв/ч, на урано-радиовом участке от 0.5 до 38 мкЗв/ч [9]. В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) исследования проводили на семи участках, отличающихся по мощности дозы внешнего γ -излучения друг от друга на четыре порядка от 0.02-0.2 мкЗв/ч и 200 мР/ч-2000 мкЗв/ч. В зоне аварии исследовали пять видов мышевидных грызунов: полевку-экономку (*Alexandromys oeconomus* Pall.), полевую мышшь (*Apodemus agrarius* Pall.), европейскую рыжую полевку (*Cletrionomys glareolus* Schreb.), обыкновенную полевку (*Microtus arvalis* Pall.), желтогорлую мышшь (*Apodemus flavicollis* Melchior). В первый год после аварии в 30-км зоне ЧАЭС были отобраны семь участков. По уровню внешнего γ -излучения участки разделены на сильнозагрязненный: 1 участок, среднезагрязненные: 2-4 участки, слабозагрязненные: 5-7 участки. Выбор участков и их подробная радиоэкологическая характеристика и дозовые нагрузки на организм животных на этих территориях приведены в работе [10]. Участки в зоне аварии на ЧАЭС отличались от радиового и ура-

но-радиового стационаров в Республике Коми не только генезисом, но и широким многообразием состава радионуклидов разной природы, высокой мощностью экспозиционной дозы, особенно в первый поставарийный период (1986-1989гг.), что по данным [11] соответствует острому радиационному воздействию. Длительность воздействия радиационного фактора на территории бывшего радиового производства в Республике Коми в отличие от техногенного загрязнения в зоне аварии ЧАЭС, продолжается уже более 50 лет. В анализе использованы зверьки обоего пола трех возрастных групп: неполовозрелые, половозрелые сеголетки, перезимовавшие зверьки (более 700 особей) в зоне аварии ЧАЭС и в Республики Коми (более 160 особей). Обобщение показателей антиоксидантного статуса полевок-экономок с территории с повышенным уровнем радиации в Республике Коми проведен по результатам 1990-х гг. (1991-1993 гг.), в 30-км зоне аварии на ЧАЭС на фоновых (контрольных) участках в окрестностях г. Киева и на участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения - с 1987 по 1993 гг. и спустя 21 год после аварии. Анализ антиокислительной активности липидов (АОА), состава фосфолипидов (ФЛ), обобщенных показателей липидного обмена проводили в печени, в центральном органе липогенеза, которому принадлежит важная роль в поддержании гомеостаза как в норме, так и при различных патологических процессах. Липиды из печени выделяли по методу Фолча в модификации Кейтса [12]. Величину АОА липидов печени определяли на метилолеатной окислительной модели [4,7]. Результаты всех анализов по АОА приводили к стандартным значениям. Разделение ФЛ на отдельные фракции осуществляли методом тонкослойной хроматографии с использованием силикагеля типа Н (по Шталю или Woelm) [13]. Данные исследований обработаны общепринятыми методами вариационной статистики [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ величин АОА липидов печени, отловленных на контрольных участках в Республике Коми и в пригородах Киева, показывают, что значения этого показателя существенно различаются в зависимости от возраста, вида грызунов, а также года и сезона их отлова. По уменьшению величин АОА липидов печени грызунов коми (северной) и киевской (южной) популяций виды животных располагаются в следующий ряд: желтогорлые мышши > рыжие полевки > полевые мышши > полевки-экономки. Масштаб изменения и значения АОА липидов печени у сравниваемых популяций грызунов (северной и южной) сопоставим. Отметим, что величины

АОА липидов органов диких грызунов в целом ниже, чем соответствующие показатели у лабораторных животных, а во многих случаях их липиды обладают прооксидантными свойствами. Прооксидантная активность липидов, помимо обеднения их антиоксидантами, обусловлена и высокой степенью их ненасыщенности, что способствует адаптации животных к длительному пребыванию в условиях низких температур в среде обитания. Вариабельность АОА липидов печени в 15-25 раз выше у диких грызунов, обитающих в природных условиях, чем у лабораторных животных [9, 10].

Анализ изменчивости данного показателя у мышевидных грызунов на участках с повышенным уровнем естественной радиоактивности и в зоне аварии на ЧАЭС показал однотипные сдвиги, которые определяются видом, возрастом грызунов, сезоном отлова и стадией численности животных [15]. Однако у мышевидных грызунов из зоны аварии отмечали различия в зависимости от времени, прошедшего после аварии. Наиболее радиочувствительные полевки-экономки имели самую низкую АОА липидов по сравнению с более радиорезистентными рыжими полевками, полевыми мышами и обыкновенными полевками, что характерно для зверьков, отловленных на участках со средним уровнем радиоактивного загрязнения. Самый высокий размах колебаний АОА липидов печени отмечен у полевок-экономки. С одной стороны, наблюдали самые высокие показатели АОА (9010 ± 2040 ч·мл/г, $n=18$ животных), с другой стороны, у этого же вида животных - самое сильное обеднение липидов печени антиоксидантами, о чем указывают отрицательные значения показателя, наблюдаемые во второй год после аварии (-800 ± 125 ч·мл/г, $n=55$ животных). Вариабельность данного показателя у других видов была относительно высокой: у полевых мышей она была в пределах от -260 до 5889 ч·мл/г, у рыжих полевок: от -980 до 2470 ч·мл/г. Наиболее сильная обедненность липидов печени антиоксидантами обнаружена в первые годы после аварии у полевок-экономок со всех участков отлова по сравнению с другими исследованными видами, что непосредственно связано с радиочувствительностью вида. По возрастанию масштаба изменения этого показателя (в течение пяти лет) виды грызунов всех возрастов можно расположить в следующий ряд: полевки-экономки < полевые мыши < полевки обыкновенные < рыжие полевки. В последующие годы (через пять лет после аварии) низкий уровень АОА липидов печени у полевок-экономок и полевых мышей сменился относительно высокими значениями показателя [10]. Изменчивость АОА липидов печени мелких грызунов из зоны аварии сильнее выражена по сравнению с аналогич-

ными данными у полевок-экономок с радиоактивных участков в республике Коми. Масштаб этих изменений сравним и намного превышает масштаб изменения АОА по сравнению с данными у лабораторных мышей после острого облучения в летальных и сублетальных дозах [4, 5]. Высокая вариабельность значений данного показателя у грызунов из зоны аварии указывает на гетерогенность ответной реакции организма. Это способствует сохранению гомеостаза и адаптации животных к радиоактивному загрязнению среды и свидетельствует о разной степени состояния показателей системы антиоксидантной защиты в тканях диких грызунов при хроническом низкоинтенсивном облучении в природной среде. Полученные данные позволяют считать, что исходный антиоксидантный статус в тканях зверьков играет немаловажную роль при оценке отдаленных последствий низкоинтенсивного облучения, чем при анализе биологических эффектов острого радиационного поражения [10].

Поскольку изменения скорости окисления в липидах органов тесно связаны с уменьшением количества биоантиоксидантов и изменениями в составе фосфолипидов был проведен анализ изменчивости липидов печени у мелких грызунов, играющих важную роль в процессах адаптации клеток к окружающим условиям. К особенностям качественного состава фосфолипидов в тканях диких грызунов, в отличие от лабораторных мышей, следует отнести значительное содержание минорных фракций кардиолипина и фосфатидной кислоты (КЛ+ФК), фосфатидилинозита с фосфатидной кислотой (ФИ+ФС), высокую вариабельность относительного содержания лизо- и фосфатидилхолина (ЛФХ, ФХ) в составе общих липидов. Известно, что повышенное содержание минорных фракций ФЛ, способствует развитию адаптивных реакций на клеточном уровне: так содержание фосфатидной кислоты в клетках увеличивается при различных стрессах [16], а кардиолипиды в клетках животных играют важную роль в окислительном фосфорилировании и продукции АТФ [17] а также в развитии апоптоза в клетках [18]. У полевок-экономок с радиоактивных участков в республике Коми наблюдали тенденцию к снижению доли основных фракций ФЛ, повышенное содержание минорной фракции ЛФХ в среднем в 1.5- 2 раза ($p < 0,05$) по сравнению с величинами у полевок с контрольного участка, увеличение размаха колебаний основных обобщенных показателей липидного обмена (ФХ/ФЭ и $\sum_{\text{лофл/тофл}}$) и, как правило, изменение масштаба взаимосвязи между данными показателями. Среднегрупповые значения ФХ/ФЭ в различные годы у полевок контрольного участка варьируют от 1,40 до 2,2 на радиовом и урано-радиовом участках от 0,8 до 2,8 относительных единиц.

У полевок с урано-радиевого участка отмечали значительное варьирование по большинству показателей, появляются особи как с чрезвычайно низкими, так и с очень высоким значениями [15].

Обращает внимание, что масштаб вариативности значений состава фосфолипидов печени и обобщенных показателей липидного обмена у разных видов грызунов из зоны аварии на ЧАЭС может быть не одинаковым. В первый год после аварии из 10 анализируемых показателей состава ФЛ у полевки-экономки (табл. 1) отмечены наиболее значительные изменения как по всем фракциям состава ФЛ, так и по обобщенным показателям липидного обмена. По одним показателям наблюдали как самые низкие значения (по основным фракциям – ФХ, ФЭ и минорным фракциям – ЛФХ, ФИ, ФС), так и самые высокие (по минорным фракциям – СМ, КЛ+ФК). Масштаб изменений по таким показателям как по ФХ и ФС сильно варьировал от 4,1 до 62.5 раз (табл. 1). В первый год после аварии у полевки-экономки в отличие от других видов грызунов зафиксирована значительная изменчивость по обобщенным показателям липидного обмена, а самая низкая - у рыжей полевки. Содержание минорной фракции ЛФХ в печени полевок-экономок достигало уровня значений основной фракции ФХ. Значения минорной фракции КЛ+ФК, которой обычно в клетках печени у лабораторных животных и диких грызунов с фоновых участков составляет в среднем 5-7%, у полевки-экономки и полевой мыши они были более 30%. Размах колебаний значений минорных фракций ФЛ возрастал от 4 до 14 раз (табл. 1). Изменения такой направленности отмечали в эти же сроки исследований по обобщенным показателям липидного обмена. С одной стороны, обнаружено снижение содержания доли ФЛ в составе общих липидов до самых низких значений минорных фракций (5,3%), с другой стороны, размах колебаний значений данного показателя у полевых мышей увеличивается более чем в 6 раз. Такую же направленность вариативности значений отмечали по обобщенному показателю: отношение фосфатидилхолина к фосфатидилэтаноамину ($\Sigma_{\text{доФЛ}}/\Sigma_{\text{тоФЛ}}$), отражающее структурное состояние мембранной системы органа. Размах вариативности значений этого показателя также высок - в 4.5 раза, который сохраняется в течение 7 лет и лишь спустя 21 год после аварии он уменьшается в среднем в 1.4 раза. В первые годы после аварии у мелких грызунов такой показатель как отношение легкоокисляемых фракций к трудноокисляемым фракциям фосфолипидов ($\Sigma_{\text{доФЛ}}/\Sigma_{\text{тоФЛ}}$), характеризующее способность липидов к окислению, не достигает единицы, что свидетельствует о высокой жесткости клеточной мембраны печени мышей. Через 5-7 лет после аварии

это отношение наоборот увеличивается до 2.3 относительных единиц. В целом, изменчивость значений отдельных фракций состава ФЛ и обобщенных показателей липидного обмена в печени у полевых мышей через 21 год после аварии уменьшается [19]. Однако по таким минорным фракциям как содержание ЛФХ и ФИ+ФС остается достаточно лабильным, сохраняется размах колебаний у мышей пределах 6.6-9 раз (табл. 1). Эти данные свидетельствуют о достаточно высокой пластичности показателей состава фосфолипидов, характеризующих уровень адаптивных реакций на клеточном уровне у диких грызунов к изменяющимся условиям обитания.

В первые годы после аварии при высокой вариативности показателей состава фосфолипидов у грызунов наблюдали возрастание гетерогенности самих показателей. В печени самок полевок-экономок у двух возрастных групп, отловленных с одного и того же участка (среднезагрязненный участок 4) в 1987 г. установлены ответные реакции разной направленности (табл. 2). Для первой группы неполовозрелых самок характерно высокое содержание минорных фракций: ЛФХ-32,55% и КЛ+ФК-18,37% и относительно низкое содержание основной фракции ФЭ-7,4%. Вторая группа самок с того же участка отличалась значимым снижением не только содержания ЛФХ в 3 раза ($p \leq 0,01$), но и основных фракций ФХ и ФЭ, имеющих самые минимальные значения - 9.34% и 1.18% ($p \leq 0,01$; $p \leq 0,05$). При этом содержание минорной фракции фосфатидной кислоты (ФК) в липидах печени молодых самок второй группы превышало 70% ($p \leq 0,01$). По обобщенным показателям липидного обмена были выявлены значимые разнонаправленные сдвиги: у первой группы молодых особей отношение ФХ/ФЭ, характеризующей жесткость мембраны, доходило до 4 относительных единиц, у второй группы полевок этот показатель был увеличен до 8 единиц ($p \leq 0,01$), что связано, в первую очередь, с низким содержанием основной фракции ФЭ. У сравниваемых групп мышей, отловленных с одного и того же участка, значения обобщенного показателя: отношение суммы легкоокисляемых фракций к сумме трудноокисляемых фракций липидов ($\Sigma_{\text{доФЛ}}/\Sigma_{\text{тоФЛ}}$) друг от друга отличались в 7,6 раза ($p \leq 0,001$), что свидетельствует о разной степени окисляемости клеточной мембраны печени у этих групп полевок. Такие же разнонаправленные сдвиги в составе фосфолипидов установлены у перезимовавших полевок-экономок с этого же участка. В некоторых случаях различия между сравниваемыми группами полевок становятся еще более значимыми ($p \leq 0,001$) и у старых животных сильнее увеличена жесткость мембраны, которая достигает 13 относительных единиц, что свидетельствует о самой низкой

Таблица 1. Вариабельность значений состава фосфолипидов (%), обобщенных показателей липидного обмена в печени (отн. ед.) у мышевидных грызунов (данные объединены по возрасту и полу животных), отловленных на участках в 30-км зоне Чернобыльской АЭС

30 км зона Чернобыльской АЭС							
Показатели	Полевка-экономка 1987 г.	Полевая мышь 1987 г.	Рыжая полевка 1987 г.	Полевка обыкновенная 1987 г.	Полевка-экономка 1990-1993 гг.	Полевая мышь, 1990-1993 гг.	Полевая мышь, 2007 г.
Фракции фосфолипидов							
ЛФХ	10,8-45,5	16,7-38,1	37-37,5	23,6-42,7	7,3-25,1	4,8-26,2	2,3-15,6
СМ	3,0-26,2	4,7-19	9,0-12,2	6,6-7	3,0-26,6	4,6-13,7	3,0-6,0
ФХ	9,3-38,5	23,4-40,8	32,2-34,4	31,6-42,6	17,8-45,5	27,7-45,5	39,6-53,2
ФИ	0,5 - 7,4	0,9-17,5 ^a	3,0-5,9	1,3-5,3	2,8-15,4	2,2-22,8 ^a	1,7-15,3 ^a
ФС	0,08-5,1	0,9-17,5 ^a	2-3	1,1-2,7	-	2,2-22,8 ^a	1,7-15,3 ^a
ФЭ	1,2-11,3	5,6-21,8	7,2-7,6	9,9-17,4	11,6-28,4	11,9-25,8	23,6-31,6
КЛ+ФК	5-34,3	4,6-30,7	6,5-7,6	2,4-13	2,4-18,3	5,2-15,0	2,8-7,0
Обобщенные показатели липидного обмена							
% ФЛ	5-27,8	6,5-42,9	5,3-15,7	24,4-26,7	12,8-65,7	6,8-37,6	19,7-59,2
ФХ/ФЭ	2,5-13,1	1,8-8,1	4,2-4,9	2,6-3,2	0,9 - 1,7	1,3-4,0	1,4-1,9
$\Sigma_{\text{ЛФХ/ФЭ}}$	0,15-3,3	0,3-0,8	0,2-0,3	0,2-0,5	0,2-1,2	0,6-2,3	0,6-1,0

Примечание здесь и далее в табл.: фракции состава фосфолипидов: ЛФХ- лизофосфатидилхолин, СМ - сфингомиелин, ФХ - фосфатидилхолин, ФИ+ФС - фосфатидилинозит+фосфатидилсерин, ФЭ - фосфатидилхолин, КЛ+ФК - кардиолипин+фосфатидная кислота; обобщенные показатели липидного обмена: % ФЛ - доля фосфолипидов в составе общих липидов, ФХ/ФЭ - отношение фосфатидилхолина к фосфатидилэтаноламину, $\Sigma_{\text{ЛФХ/ФЭ}}$ - отношение легкоокисляемых фракций к трудноокисляемым фракциям фосфолипидов

Таблица 2. Гетерогенность изменения состава фосфолипидов печени неполовозрелых и перезимовавших полевок-экономок со среднезагрязненного участка в зоне аварии на ЧАЭС (данные осени 1987 г.)

Показатель	Неполовозрелые животные		Перезимовавшие животные	
	1 группа: самки, 25 шт. n=13	2 группа: самки, 7 шт. n=7	1 группа: самки, 6 шт. n=4	2 группа: самки, 7 шт. n=7
	Фракции фосфолипидов			
ЛФХ	32,55±2,03	10,76±0,72**	27,17 ±2,51	45,46±3,07*
СМ	8,35 ± 0,76	3,01±0,25**	26,18 ±5,10	10,82±0,52*
ФХ	28,80 ± 1,34	9,34±0,44**	15,48 ±1,48	30,96±1,81*
ФИ	3,07 ± 0,53	0,52±0,19***	2,16 ±0,79	2,28±0,25
ФС	1,48 ± 0,46	0,08±0,04***	4,79 ±1,85	1,90±0,71*
ФЭ	7,40 ± 1,19	1,18±0,22*	5,70 ±1,67	2,45±0,51*
КЛ+ФК	18,37 ± 1,80	КЛ 0,86±0,41 ФК 74,25±1,68**	18,52±3,47	КЛ 0,87±0,24 ФК 5,23±0,64**
	Обобщенные показатели липидного обмена			
%ФЛ	12,79±2,16 n=17	17,66±1,75 n=19	5,0±0,46 n=17	17,31±1,60** n=19
ФХ/ФЭ	3,98±0,30	8,14±0,1**	2,2±0,41	13,1±1,28***
Σ _{ЛФФЛ} /Σ _{ЛФФЛ}	0,44±0,03	3,34±0,10***	0,46±0,05	0,15±0,01**

Примечание: n – число повторностей (дорожек). Различия достоверны между сравниваемыми группами при P<0.05-*, P<0.01-**, P<0.001-***.

окисляемости клеточной мембраны печени. Существенные изменения в составе фосфолипидов, суммарных показателей липидного обмена согласуются с данными по активности ферментов энергетического обмена, показавшие аналогичную гетерогенность значений активности ферментов цикла Кребса и гликолиза в печени полевых мышей, отловленных с одного и тоже радиоактивного участка в первые годы после аварии. Как правило, они зарегистрированы у животных, отловленных с участков со слабым и средним уровнем техногенного загрязнения в зоне аварии [10]. Подтверждением нарушений в регуляции клеточного метаболизма в печени мышевидных грызунов в первые годы после аварии, является выявленный дисбаланс между показателями антиоксидантного статуса печени (АОА, состав фосфолипидов) и энергетического обмена (активность сукцинат-, пируват- и лактатдегидрогеназ). Нарушения в процессах регуляции отдельных звеньев ПОЛ и процессов дегидрирования были отмечены ранее у полевок-экономок, отловленных в условиях повышенного уровня радиации в Республике Коми. Однако размах колебаний показателей ПОЛ их дисбаланс в тканях полевок-экономок были менее значительны, чем наблюдаемые в первые годы после аварии у мелких грызунов из зоны отчуждения ЧАЭС [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о возрастании внутрипопуляционной изменчивости показателей антиоксидантного статуса у грызунов, обитающих на территориях в условиях техногенного радиоактивного загрязнения, что особенно выражено у мышевидных грызунов в 30-км зоне аварии на ЧАЭС. Ионизирующая радиация в малых дозах в организме млекопитающих может развивать реакцию, инициирующую развитие общего адаптационного синдрома. У мелких грызунов из зоны аварии ЧАЭС установлена более высокая изменчивость антиоксидантной активности и состава фосфолипидов печени, чем у полевок-экономок Ухтинского стационара, особенно отмеченные в первые три года после аварии. Установленные биохимические изменения зависели от многих условий, в том числе от уровня радиоактивного загрязнения, длительности действия радиационного фактора, возраста и вида животных и фазы численности. По показателям антиоксидантного статуса самыми радиочувствительными оказались полевки-экономки, радиоустойчивыми - полевые и желтогорлые мыши. Наличие разнородных групп животных с разной направленностью биохимических сдвигов, отловленных с одного места обитания, следует рассматривать

как развитие адаптивных реакций у животных природных популяций на стресс-воздействие: техногенное радиоактивное загрязнение и хроническое облучение в малых дозах в среде обитания. Более стабильное состояние мембраны клеток печени по составу фосфолипидов печени у полевых мышей, установленное спустя 21 год после аварии, свидетельствует о адаптации грызунов на клеточном уровне [19]. Увеличение variability и гетерогенности показателей антиоксидантного статуса в печени у мелких грызунов способствует расширению потенциальных возможностей и адаптации организмов к существованию в новых условиях техногенного радиоактивного загрязнения среды обитания, являются особенностями действия малых доз ионизирующей радиации [20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урнышева В.В., Шишкина Л.Н. Влияние химических токсикантов в малых дозах на состав фосфолипидов печени животных // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2004. № 2. С. 163-168.
2. Shishkina L.N., Shevchenko O.G., Zagorskaya N.G. Influence of ecdysteroid-containing compounds on the oxidation processes regulation // Oxidation Communications. 2011. Т. 34. № 3. С. 711-725.
3. Pro-oxidative, genotoxic and cytotoxic properties of uranyl ions. / S.A. Garmash, V.S. Smirnova, O.E. Karp, A.M. Usacheva, V.E. Ivanov, A.V. Chernikov, V.I. Bruskov, S.V. Gudkov, A.V. Berezhnov // J. of Environmental Radioactivity. 2014. V. 127. P. 163-170.
4. Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте / Е.Б. Бурлакова, А.В. Алесенко, Е.М. Молочкина, Н.П. Пальмина, Н.Г. Храпова М.: Наука, 1975. 214 с.
5. Архипова Г.В., Шишкина Л.Н. Изменение антиокислительных свойств и состава липидов мембран при облучении // Информационный бюллетень «Радиобиология». 1975. № 18. С. 124-128.
6. Романовский Ю.М., Степанов Н.В., Черныашев Д.С. Математическая биофизика. М.: Наука. 1984. 304 с.
7. Барабой В.А. Стресс: природа, биологическая роль, механизмы, исходы. Киев: Фитосоциоцентр. 2006. 424 с.
8. Абрамсон Н.И., Лисовский А.А. Отряд Rodentia. // Млекопитающие России: систематико-географический справочник: ред. А. А. Лисовский, И. Я. Павлинов. // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012. Т. 52. С. 142-312.
9. Кудяшева А.Г., Загорская Н.Г. Взаимосвязи между отдельными показателями состава фосфолипидов печени полевки-экономки (*Alexandromys oesopomus* Pall.), обитающей в условиях повышенного уровня естественной радиоактивности // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 75-86.
10. 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, O.G. Shevchenko, A.I. Taskaev // Lessons of Chernobyl, 2012. Nova Science. P.187-208.

11. Козубов Г.М., Таскаев А.И. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы (1986-2001 гг.). М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2002. 272с.
12. Кейтс М. Техника липидологии. М., 1975. 322 с.
13. Хиггинс Дж.А. Биологические мембраны. Методы. М., 1990. 339 с.
14. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.
15. Кудяшева А.Г. Эколого-биохимический анализ состояния популяций полевки-экономки на территории с повышенным уровнем естественной радиоактивности // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т.15. № 3(3). С.1118-1121.
16. Signaling functions of phosphatidic acid / X. Wang, S.P. Devaiah, W. Zhang, R.Welti // Prog Lipid Res. 2006. V.45. P.250-278.
17. Claypoll S.M., Koehler C.M. The complexity of cardiolipin in health and disease // Trends Biochem. Sci. 2012.V.37. N 1. P.32-41.
18. McMillin J.B., Dowhan W. Cardiolipin and apoptosis // Biochem. Biophys. Acta / 2002.V.1585. P.97-107.
19. Кудяшева А.Г., Башлыкова Л.А., Гудков И.Н. Отдаленные последствия радиационных аварий для мышевидных грызунов в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 4(202). С. 32-40.
20. Булакова Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности // Российский химический журнал. 1999. Т. 43. № 5. С. 3-11.

THE ANTIOXIDANT STATUS VARIABILITY OF SMALL MAMMALS IN CONDITIONS OF TECHNOGENIC RADIOACTIVE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT

© 2019 A.G. Kudyasheva

Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences Institute of Biology, Syktyvkar

We have studied the variability and heterogeneity of the antioxidant status parameters in liver of different mouse-like rodents inhabiting areas of normal and high technogenic radioactive levels (the Komi Republic and the 30km exclusion zone around the Chernobyl nuclear power station, CNPS). In organisms of mammals, the ionizing radiation in small doses can form the reaction initiating development of general adaptation syndrome. Small mammals from the CNPS exclusion zone are identified for the increased variability and heterogeneity of antioxidation activity and composition of liver phospholipids in contrast with the mammals of the Ukhta field station. The obtained data evidence a strong misbalance of cell systems for animals from the accident zone being highly prominent in the first three years after the accident. The high variability and heterogeneity of biochemical liver parameters are fixed for animals inhabiting low- or mean-radioactively polluted areas. The antioxidant status changes in liver of mouse-like rodents within the Chernobyl zone depend on species and age of animals and time gone after the accident. The obtained data respond about different damage degrees of the antioxidant protection system in liver cells of the study animals. Against the high variability of phospholipids' quantitative composition in liver of mouse-like rodents from the accident zone, we respond on the increase in the heterogeneity of parameters for animals caught at the same place. The mouse-like rodents from the radioactive zone demonstrate a relatively stable composition of liver phospholipids in 21 years after the accident evidencing a relatively stable condition of liver cell membranes. The high heterogeneity of response reactions and the high variability of the study liver parameters in organism of rodents from natural populations inhabiting elevated radiation areas specifically produced by low-dose ionizing radiation. These effects enlarge the potency and adaptation of organisms on the cell level to new radioactively polluted environmental conditions.

Keywords: radioactive contamination, Republic of Komi, the 30-km Chernobyl zone, adaptation, rodents, liver, antioxidant status, antioxidant activity of lipids, composition of phospholipids, variability, heterogeneity.