

ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

А. Г. Кудяшева¹, Л. Н. Шишкина², Н. Г. Загорская¹

¹ Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, РФ,
kud@ib.komisc.ru

² Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН, Москва, РФ

Многолетние исследования состояния клеточных систем регуляции – перекисного окисления липидов, энергетического обмена в тканях различных видов диких грызунов, обитающих в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, – показали, что радиоактивное загрязнение вызывает качественные изменения состояния самих популяций и процесс адаптации мышевидных грызунов в зоне аварии обусловлен переходом клеточных систем на новый уровень функционирования.

Ключевые слова: 30-км зона, Чернобыльская АЭС, грызуны, перекисное окисление липидов, энергетический обмен

Авария на Чернобыльской АЭС показала возможные масштабы действия радиационного фактора на окружающую среду. Один из основных выводов, который должен быть сделан из уроков этой аварии – необходимость детальной научно обоснованной оценки влияния ионизирующих излучений на природную среду, определение критериев радиационного повреждения для различных представителей биоты [1]. Исследования биологических эффектов в популяциях животных и растений, населяющих территории, контрастные по уровню и спектру дозообразующих радионуклидов, играют уникальную роль в развитии и обосновании принципов экологического нормирования [2]. Изучение в данном направлении невозможно без проведения комплексных исследований. Для оценки интенсивности нарушений, произошедших в экосистемах при техногенном радиоактивном загрязнении, используются мелкие грызуны, которые находясь в тесном контакте с почвой, оказались в сфере наиболее интенсивного внешнего и внутреннего облучения ионизирующей радиацией, а также действия других химических ингредиентов, образующихся после аварии. Мышевидные грызуны являются одним из наиболее удобных тест-объектов наземных животных для радиоэкологического мониторинга и во многом соответствуют представлениям о надежных биоиндикаторах, что важно при объективной оценке состояния организма мелких млекопитающих, попавших в зону радиоактивного загрязнения. Опираясь на опыт исследований в биогеоценозах с повышенной естественной радиоактивностью в Республике Коми, в Чернобыльской зоне отчуждения (ЧЗО) АЭС в периоды 1987–1993 и 2007 г. проведен эколого-биохимический анализ клеточных систем регуляции – процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и энергетического обмена – у разных видов мышевидных грызунов.

Исследования проводили в августе-сентябре в ЧЗО АЭС на мышевидных грызунах пяти видов, отловленных на семи участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения, а также в пригородах г. Киева на территориях с нормальным радиационным фоном. Для сравнения были использованы многолетние данные, полученные на полевках-экономках, обитающих на территориях с повышенным уровнем (в 50–300 раз выше нормы) естественной радиоактивности в Республике Коми. Выбранные стационарные участки в ЧЗО по мощности дозы внешнего γ -излучения отличались друг от друга на четыре порядка: 0,05 до 200,00 мР/ч (в сентябре 1986 г) соответственно и условно разделены на участки сильного (участок 1, Янов), среднего (участки 2, Чистоголовка; 3,

Шепеличи; 4, Изумрудное) и слабого (участки 5, Стечанка; 6 Разъезда; 7 Купавотое) загрязнения. Наиболее представительными животными на исследуемых участках были растительноядные виды грызунов: полёвки (рыжая европейская – *Clethrionomys glareolus* Schreb., обыкновенная – *Microtus arvalis* Pall. и экономка – *Microtus oeconomus* Pall.) и мыши (полевая – *Apodemus agrarius* Pall., желтогорлая – *Apodemus flavicollis* Melchior). Обследовано более 4000 животных трех возрастных групп (неполовозрелые, половозрелые сеголетки, перезимовавшие животные). Оценка состояния организма проведена с использованием экологических, морфофизиологических, биохимических, биофизических методов [3].

Колебания относительной численности грызунов, отловленных на всех участках в ЧЗО, существенно зависели от вида животных. В первые годы после аварии в ЧЗО наблюдали отсутствие закономерных фаз численности зверьков, асинхронность изменения численности на разных участках, длительные периоды спада численности, связанные с резким изменением радиационной обстановки, которая вызвала повышенную смертность в отдельных возрастных группах наиболее радиочувствительных видов [3]. Эти данные свидетельствуют о том, что популяции животных (особенно характерно для полёвки-экономки) находились в пессимальных условиях, сходных с условиями обитания на периферии ареала [4]. Комплексное изучение состояния систем клеточной регуляции в органах грызунов в ЧЗО обнаружило сложную картину нарушений в отдельных звеньях процессов ПОЛ и энергетического обмена. Установлено, что у зверьков происходят фазные изменения уровня антиокислительной активности (АОА) липидов, времена наступления экстремумов и минимумов значений, которых зависят от вида животных, времени анализа после аварии, участка их обитания и в ряде случаев от возраста и пола животных [3]. Обнаружены обедненность липидов антиоксидантами и прооксидантная активность липидов в исследуемых тканях, что обусловлено высокой степенью их ненасыщенности и в первую очередь связано с адаптацией грызунов к постоянному обитанию их в условиях низких температур. Установлена зависимость уровня АОА липидов от радиочувствительности исследуемого органа и вида зверьков. Наиболее радиочувствительной оказалась селезенка, а из пяти исследуемых видов - полёвка-экономка. Выявлены два временных отрезка в динамике АОА липидов: первые два года после аварии отмечали высокую обедненность липидов органов антиоксидантами у полёвок-экономок со всех участков отлова [3]. У остальных исследуемых видов грызунов установлен довольно значимый уровень АОА липидов печени и мозга, независимо от возраста зверьков и участка обитания, который обычно не встречается у интактных лабораторных животных. В последующие годы низкий уровень АОА липидов печени у полёвок-экономок и полевых мышей с участков со слабым и средним уровнем загрязнения, сменился относительно высоким. Липиды мозга всех исследуемых видов мышевидных грызунов из аварийной зоны обладают прооксидантными свойствами, о чем свидетельствуют низкие уровни АОА липидов в течение всего периода анализа, которые сопоставимы с данными показателями у полёвок, обитающих в условиях более слабого радиоактивного загрязнения в Республике Коми. Масштаб изменений АОА липидов печени и мозга превосходит или сопоставим с изменениями этого показателя в органах лабораторных мышей как после острого облучения в летальных и сублетальных дозах, так и после воздействия радиации низкой мощности [5]. В тканях диких грызунов из ЧЗО найдены значительные изменения в содержании фосфолипидов (ФЛ) в составе общих липидов, а также в количественном соотношении отдельных фракций ФЛ [6]. Для диких грызунов характерна высокая вариабельность в содержании отдель-

ных фракций ФЛ по сравнению с лабораторными животными. Состав ФЛ печени грызунов из зоны аварии характеризуется большим масштабом изменений как основных, так и минорных фракций ФЛ, значительной вариабельностью и гетерогенностью значений отдельных фракций ФЛ, существенные различия которых выявлены особенно в первые годы после аварии. При всех уровнях загрязнения на исследуемых участках обнаружено низкое содержание ФЛ в составе общих липидов, особенно у перезимовавших полёвок-экономок и неполовозрелых полевых мышей с участка 4 и рыжих полевок с участка 6. Высокие отношения значений ФХ/ФЭ и низкая доля более легкоокисляемых фракций в составе ФЛ печени грызунов из зоны аварии преимущественно обусловлены более резким падением количества основной фракции – ФЭ, содержание которого в ФЛ печени всех групп полевок-экономок осенью 1987 г. колеблется в пределах 1,2–11,3 %, что гораздо ниже, чем у полевок с относительно чистых территорий. Спустя 4–8 лет после аварии в составе ФЛ печени полёвок-экономок и полевых мышей с участков № 4–7 происходит некоторая стабилизация относительного содержания основных фракций ФЛ печени, тем не менее, полной нормализации состава ФЛ по многим показателям у обследованных групп грызунов в указанные сроки не обнаружено, о чем свидетельствует дисбаланс корреляционных связей между отдельными показателями липидного обмена. Сохранение нарушений в липидном обмене в печени грызунов длительное время, обуславливают состояние паренхимы, при котором гистоморфологическая картина печени полевок из аварийной зоны, напоминала картину интенсивно облучающейся ткани [6]. Таким образом, в исследованных тканях (селезенка, печень, мозг) мелких грызунов, обнаружена высокая чувствительность состава липидов к хроническому низкоинтенсивному облучению. Установлено отсутствие единообразных, монотонных зависимостей его изменения от мощности внешнего облучения на участках отлова, а также фазные изменения относительного содержания отдельных фракций ФЛ, обобщенных показателей липидного обмена, динамика которых имеет тканевую и видовую специфичность и различается в зависимости от степени радиоактивного загрязнения участка отлова. Сохранение измененного состава липидов в тканях мышечных грызунов из аварийной зоны в течение 8 лет и даже 21 год спустя после аварии подтверждает предположение о повреждающем действии радиоактивного загрязнения на процессы ПОЛ в мембранах клеток, что приводит к функциональным нарушениям в тканях этих животных. Динамика изменений и характер сдвигов активности ферментов энергетического обмена (сукцинат-, пируват- и лактатдегидрогеназ) в исследуемых тканях (печень, сердечная мышца, головной мозг) у грызунов из зоны аварии в период 1987–1990 гг. свидетельствуют о наличии общих закономерностей, отмеченных ранее у полевок в зоне слабого радиоактивного загрязнения (Республика Коми). Отмечены также фазные изменения, которые имели неодинаковую глубину сдвигов в зависимости от состояния численности популяции грызунов, исследуемого органа, возраста, вида животных, уровня радиоактивного загрязнения и времени, прошедшего после аварии. Сдвиги активности ферментов совпадали с изменениями параметров ПОЛ, выявленных у животных из зоны аварии. Наиболее существенные отклонения от нормы отмечали у полёвок-экономок и полевых мышей всех возрастных групп, что приводило к дисбалансу процессов дегидрирования, значительной вариабельности показателей, высокой гетерогенности ответных реакций зверьков, косвенно свидетельствующих о наличии структурных нарушений в тканях. Обнаруженные фазные реакции, дисбаланс процессов дегидрирования и отдельных звеньев ПОЛ можно рассматривать как проявление

функционального напряжения в тканях организма, способствующее длительному сохранению нарушений биохимических процессов [3, 8].

Выводы. 1. Данные биометрического анализа по величинам АОА липидов печени и головного мозга [7] позволяют сделать вывод: в зоне аварии происходят качественные изменения состояния природных популяций мышевидных грызунов. Это подтверждается наблюдающейся в отдаленные сроки после аварии (2007 г.) сменой наиболее распространенных видов мышевидных грызунов в ЧЗО, а также существованием качественно отличных субпопуляций полёвок-экономок, обитающих на загрязненных тяжелыми естественными радионуклидами территориях в Республике Коми по сравнению с полевками с фоновых территорий [4]. **2.** Процесс адаптации мышевидных грызунов к резко изменившимся радиоэкологическим условиям среды их обитания обусловлен переходом клеточных систем регуляции на новый уровень функционирования.

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке проекта Президиума УрО РАН № 15-4-4-20.

1. Алексахин Р. М. Радиоэкология: столетняя история этой области естествознания – уроки эволюции и современные задачи. // Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды: Материалы междунар. конференции (Сыктывкар, 28 сентября – 1 октября 2009г.). – Сыктывкар, 2009. С. 7–9.
2. Гераськин А. С. Хроническое радиационное воздействие на популяции растений // Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды: Материалы междунар. конференции (Сыктывкар, 17-21 марта 2014г.). – Сыктывкар, 2014. С. 45–46.
3. 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.
4. 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.
5. Шишкина Л. Н., Кудяшева А. Г., Загорская Н. Г., Таскаев А. И. Регуляция окислительных процессов в тканях мышевидных грызунов в зоне аварии на ЧАЭС // Радиационная биология, Радиоэкология. 2006, Т. 46. № 2. С. 216–232.
6. Шишкина Л. Н., Материй Л. Д., Кудяшева А. Г. и др. Структурно-функциональные нарушения в печени диких грызунов из районов аварии на Чернобыльской АЭС // Радиобиология, 1992. Т. 32. Вып. 1. С. 19–27.
7. Шишкина Л. Н., Кудяшева А. Г., Загорская Н. Г., Таскаев А. И. Влияние радиоактивного загрязнения на характер распределения диких мышевидных грызунов по величинам антиокислительной активности липидов органов // Радиационная биология. Радиоэкология. 1998, Т. 39. № 6. С. 924–935.
8. Shishkina L. N., Kudyasheva A. G., Zagorskaya N. G., Shevchenko O. G., Taskaev A. I. Participation of the Lipid Peroxidation Processes in the Mechanism of Wild Rodent Adaptation to Radioactive Contamination of the Chernobyl NPP Zone. / The Lessons of Chernobyl: 25 Years Later. "Nuclear Materials and Disaster Research" Editors: Elena B. Burlakova and Valeria I. Naydich. USA. 2011. С. 187–208.

ECOLOGICAL AND BIOCHEMICAL STUDIES OF SMALL MAMMALS IN THE EXCLUSION ZONE OF CHERNOBYL

A. G. Kudyasheva¹, L. N. Shishkina², N. G. Zagorskaya¹

¹ Institute of Biology of Komi Scientific Centre of Ural Branch of RAS, Syktyvkar, RF, kud@ib.komisc.ru

² Emanuel Institute of Biochemical Physics of RAS, Moscow, RF

Long-term studies on the state of cellular regulation systems – lipid peroxidation, energy metabolism in the tissues of various species of wild rodents that live in the zone of the Chernobyl NPP, showed that the radioactive contamination causes a qualitative change in the state own population and the process of adaptation of rodents in the area of the accident due to the transition of cellular systems to a new level of functioning.

Key words: 30-km zone, Chernobyl Nuclear Power Plant, rodents, lipid peroxidation, energy metabolism